

THE SELECTION OF THE CONTROL UNIT OPTIMAL SIGNALLING SEQUENCE IN CONTAINERS STACK HANDLING AT SEA PORT TERMINAL

E. E. Soloveva¹, T. E. Malikova²

¹ — Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

² — Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoi,
Vladivostok, Russian Federation

The possibility of increasing the productivity of technological operations performed in the storage area of a container terminal due to the introduction of automation elements into mechanized warehouse cargo handling has been researched. As one of the possible automation options, a method for transporting and storing containers with the implementation of a loader control unit in the form of a deterministic finite automaton is proposed. The sequence of actions of the loader is simulated in the control unit by a line of encoded symbols generated by the transition diagram of the Mealy automaton. In this case, the transition diagram is an automatic programming tool allowed mathematically describing the logic of controlling the actions of the loader when it processes a stack of containers. As a result of generation at the output of the machine, several valid loader control lines are got. Each symbol of the control line corresponds to one action from the loader working cycle. It is required to find the control line that will bring the loader to the state, when the picking up of containers from the stack is completed, in the minimum number of actions. The object of the research is a variable sequence of loader actions during partial disassembly of the stack with its corresponding control line. To reduce the complexity of the task being solved, each control line is divided into sections consisting of symbols responsible for the following actions of the loader: moving when changing the disassembled row, disassembling the row with the picking up and movement of target containers, returning blocking containers to the stacks where they were initially placed. As a result of the comparison of the corresponding symbolic sections of different lines, an algorithm that allows choosing the optimal sequence of signals for the control unit of the technological automaton in terms of the number of symbols is developed.

Keywords: container terminal, technological automaton, production process control, transshipment equipment, automation, mechanized cargo handling.

For citation:

Soloveva, Ekaterina E., and Tatiana E. Malikova. "The selection of the control unit optimal signalling sequence in containers stack handling at sea port terminal." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 426–436. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-426-436.

УДК 004.8:656.073.28

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШТАБЕЛЯ КОНТЕЙНЕРОВ НА МОРСКОМ ТЕРМИНАЛЕ

Е. Е. Соловьева¹, Т. Е. Маликова²

¹ — Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
г. Владивосток, Российская Федерация

² — Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
г. Владивосток, Российская Федерация

Исследована возможность повышения производительности технологических операций, выполняемых в зоне хранения контейнерного терминала за счет внедрения в механизированную складскую грузопереработку элементов автоматизации. В качестве одного из возможных вариантов автоматизации предложен способ транспортирования и складирования контейнеров с реализацией блока управления погрузчиком в виде детерминированного конечного автомата. Последовательность действий погрузчика имитирована в блоке управления строкой кодированных символов, генерируемой посредством диаграммы переходов автомата Мили. В данном исследовании диаграмма переходов, являясь, по своей сути, инструментом автоматного

программирования, математически описывает логику управления действиями погрузчика при обработке им штабеля контейнеров. В результате генерации на выходе автомата получено несколько допустимых строк управления погрузчиком. Каждый символ строки управления соответствует одному действию из рабочего цикла погрузчика. Необходимо найти ту строку управления, которая при выполнении минимального количества действий приведет погрузчик в такое состояние, когда выемка контейнеров из штабеля завершена. Объектом исследования являлась вариативная последовательность действий погрузчика при частичном разборе штабеля с соответствующей ей строкой управления. Для снижения трудоемкости решаемой задачи каждая строка управления была разбита на участки, состоящие из символов, отвечающих за следующие действия погрузчика: перемещение при смене разбираемого ряда, разбор ряда с выемкой и перемещением целевых контейнеров, возврат блокирующих контейнеров в стеки, где они изначально размещались. В результате сравнительного сопоставления соответствующих символьных участков разных строк разработан алгоритм, позволяющий выбирать оптимальную по количеству символов последовательность сигналов для блока управления технологического автомата.

Ключевые слова: контейнерный терминал, технологический автомат, управление производственным процессом, перегрузочное оборудование, автоматизация, механизированная грузопереработка.

Для цитирования:

Соловьева Е. Е. Выбор оптимальной последовательности сигналов блока управления при обработке штабеля контейнеров на морском терминале / Е. Е. Соловьева, Т. Е. Маликова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 426–436. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-426-436.

Введение (Introduction)

Морские контейнерные перевозки являются одним из наиболее удобных и экономически выгодных способов доставки грузов на большие расстояния с перевалкой их на смежные виды транспорта [1]. При этом контейнерные терминалы порта играют решающую роль в качестве интермодальных интерфейсов и действуют не только как связующий узел с другими видами внутреннего транспорта, но и при необходимости оказывают услуги временного хранения импортных грузопотоков, требующих выполнения в отношении них таможенных формальностей [2], [3]. Основными функциями любого терминала морского порта и контейнерного, в частности, являются: передача грузопотоков между различными видами транспорта, преобразование формы грузопотока, согласование размеров партий сопрягаемых видов транспорта, демпфирование неравномерности работы транспорта, коммерческое хранение грузов, логистическая доработка грузов [4]. Исходя из этих функций основная нагрузка перераспределения грузопотоков приходится на зону хранения [5]. С учетом того, что перевалочный потенциал многих российских портов ограничен невозможностью строительства и расширения терминалов и складов, низкой скоростью обслуживания даже незначительного числа судов одновременно, а также пропускной способностью железной дороги количество одновременно хранимых контейнеров будет только увеличиваться. Поэтому решение задачи наращивания перевалочного потенциала контейнерного терминала через повышение производительности технологических операций, выполняемых в зоне хранения, является актуальной для развития наземной инфраструктуры портов и имеет практическую направленность, что подтверждено в том числе современными исследованиями в данной области [6]–[9].

Известно, что структура общего грузопотока, проходящего через зону хранения контейнерного терминала, сформирована из частных грузопотоков различной природы: груженые и порожние контейнеры, импортные и экспортные, универсальные и специальные, растариваемые и затариваемые тарно-штучные грузы и др. Для каждого из этих грузопотоков является характерным собственный технологический маршрут обработки со своей индивидуальной последовательностью операционных звеньев и задействованного в них оборудования [10], [11]. Однако все эти частные грузопотоки объединяет наличие в любом из технологических маршрутов двух обязательных операций формирования и расформирования штабелей в складской зоне [12]. Ежедневно на терминал поступают заявки на выемку из штабеля контейнеров, предназначенных для различных целей, таких как погрузка на смежное транспортное средство, выдача грузополучателю, таможенный осмотр / досмотр

и т. д. Удовлетворение заявок связано с определенными трудностями, неизбежно возникающими в технологическом звене во время обработки штабеля временного хранения [13]. Во-первых, сложность выемки необходимого контейнера, если он находится не в верхних ярусах штабеля, или размещения в штабеле прибывающих на склад контейнеров в соответствии теми или иными правилами их укладки [14], [15]. Во-вторых, на производительность в этом звене сильное воздействие оказывает человеческий фактор, а именно квалификация диспетчера, формирующего задания, и оператора, выполняющего это задание, при этом возможность принятия человеком алогичных решений в конкретных ситуациях составляет более 75 % [16], [17].

Минимизировать человеческие ошибки можно за счет внедрения в механизированную складскую грузопереработку элементов автоматизации [18] в рамках создания системы управления и мониторинга грузопотоков, проходящих через морской терминал [19], [20]. В качестве одного из возможных вариантов автоматизации предложен способ транспортирования и складирования контейнеров с реализацией блока управления погрузчиком в виде автомата Мили [21]. Результаты моделирования отдельных элементов блока управления погрузчиком (диаграммы переходов и сам процесс управления действиями погрузчика через последовательность кодированных сигналов) опубликованы в работах [22], [23]. Работа автомата Мили при генерации последовательности управляющих сигналов рассмотрена в статье [24]. Следует отметить, что в результате генерации получено несколько альтернативных строк управления (последовательностей управляющих сигналов), которые приводят к правильному выполнению операций по формированию и расформированию штабеля с целевыми контейнерами. При этом возникает вопрос: «Какую из альтернативных строк управления выбрать как окончательный вариант для системы управления погрузчиком?».

Целью данного научного исследования является обоснование понятия «оптимальная работа» для системы автоматического управления.

Методы и материалы (Methods and Materials).

По своей сути каждый символ строки управления соответствует одному движению погрузчика, поэтому в качестве оптимальной необходимо выбрать строку, которая имеет наименьшую длину. Иными словами, поиск множества всех возможных строк управления для конкретного набора целевых контейнеров, подсчет количества символов в каждой из них и выбор минимального числа из полученных, приведет к цели, т. е. к нахождению *оптимальной строки управления*. Не вызывает сомнения, что увеличение количества элементов в наборе целевых контейнеров приводит к добавлению возможных вариантов для строки управления и тем самым усложняет поиск оптимальной строки управления методом простого перебора альтернативных возможностей расформирования штабеля. Для снижения трудоемкости решаемой задачи следует рассмотреть, из каких участков состоит строка управления и на каких из них возможно сокращение длины участка (количества его символов).

Известно, что для оценки трудоемкости выборки контейнеров при различных транспортно-технологических схемах работы терминала использовалось понятие *производительных и непроизводительных* движений погрузчика [25]. Контейнеры, которые должны быть выбраны в определенный момент времени, так называемые *целевые контейнеры*, находятся в одной из ячеек штабеля (на рис. 1 показано серым цветом). Доступ к некоторым из них затруднен контейнерами (блокирующими), расположенными в том же стеке выше целевого контейнера и / или в стеке, находящемся перед стеком с целевым контейнером. За производительное движение для одного контейнера принимается лишь одно движение: выемка из штабеля целевого контейнера, так как только оно оплачивается оператору терминала. Все движения погрузчика в отношении блокирующих контейнеров считаются непроизводительными (оплата за них не поступает). Таким образом, определить трудоемкость выемки одного контейнера из штабеля можно как отношение одного производительного движения к общему количеству движений, в течение которых погрузчик вынимает целевой контейнер из штабеля, т. е. иными словами, селективность контейнера вычисляется по следующей формуле:

$$s = \frac{1}{N_{\text{дв}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{дв}}$ — все движения погрузчика (производительные и непроизводительные).

При необходимости изъятия из штабеля n целевых контейнеров селективность их выемки находится по следующей формуле:

$$s = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{пр}} + N_{\text{нпр}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{пр}}$ — количество производительных (оплачиваемых оператору терминала) движений;

$N_{\text{нпр}}$ — количество непроизводительных движений.

Так как количество производительных движений погрузчика равно количеству целевых контейнеров, предложенных в данный момент времени к выемке, увеличить значение параметра селективности (2) можно лишь уменьшив количество непроизводительных движений.

Как отмечалось ранее, непроизводительные движения — это выемка из штабеля блокирующих контейнеров с последующим их возвратом в штабель после перемещения всех целевых контейнеров к месту их назначения (убытие морским, железнодорожным или автомобильным транспортом, выполнение таможенных формальностей и т. п. [26]). Следовательно, можно предположить, что прежде всего необходимо научиться выделять в строке управления участки «выемки блокирующих контейнеров», так как именно в них заложен потенциал сокращения количества символов управляющей строки.

Результаты (Results)

Подтвердим или опровергнем выдвинутую нами гипотезу о возможности сокращения символов строки управления за счет минимизации непроизводительных движений погрузчика при расформировании штабеля на конкретном примере. Предположим, что это утверждение верно для штабеля любой размерности и любого количества целевых контейнеров, предложенных в данный момент времени к выемке.

Рассмотрим частный случай, например, штабель, следующей размерности: девять продольных рядов, шесть поперечных и пять ярусов, с размещением в нем целевых контейнеров, как показано на рис. 1.

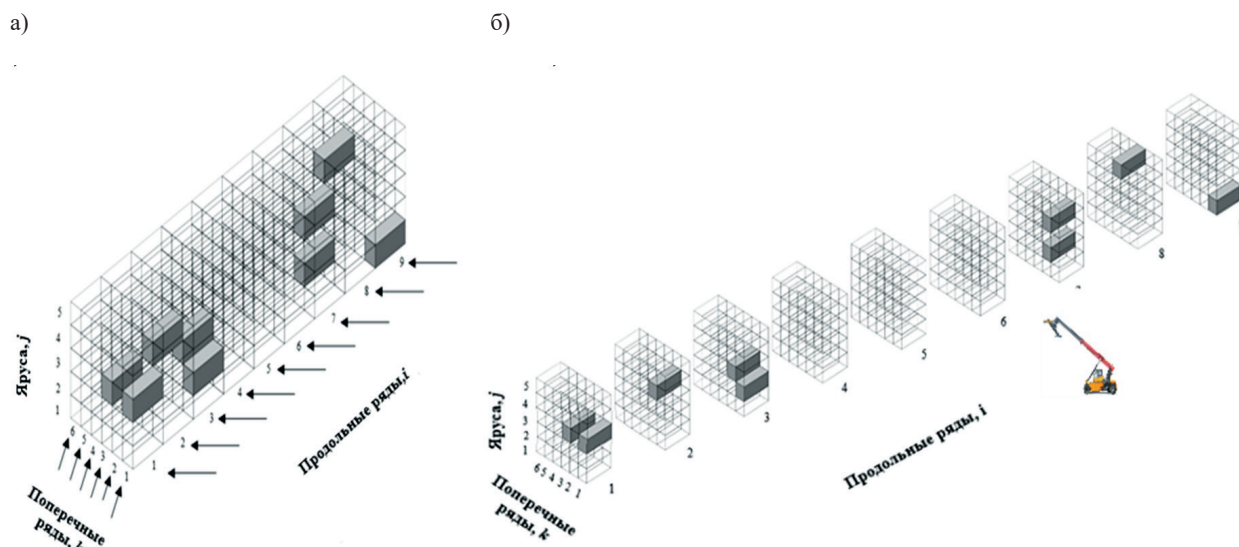


Рис. 1. Контейнерный штабель:
а — размерность и расположение целевых контейнеров;
б — продольные ряды с целевыми контейнерами

Пусть на терминал поступила заявка на выемку девяти целевых контейнеров, местоположение которых в штабеле (показано на рис. 1 серым цветом) задано координатами $(i; j; k)$: $(1; 3; 1)$, $(1; 3; 3)$, $(2; 2; 2)$, $(3; 4; 1)$, $(3; 3; 2)$, $(7; 2; 2)$, $(7; 4; 2)$, $(8; 1; 3)$, $(9; 5; 1)$.

Для выемки целевого контейнера погрузчик выполняет ряд последовательных повторяющихся операций, каждой из которых в строке управления соответствует определенный символ. В табл. 1 приведены используемые в строке символы и соответствующее им действия погрузчика.

Таблица 1

Расшифровка символьных обозначений последовательности операций, выполняемых погрузчиком

Символьное обозначение операции	Выполняемое действие
•	Перемещение вдоль продольного ряда на один шаг вправо
■	Перемещение вдоль продольного ряда на один шаг влево
×	Снятие контейнера в продольном ряду
v	Снятие контейнера из поперечного ряда
-	Вывоз контейнер во вспомогательный штабель
○	Постановка блокирующего контейнера в исходный стек
★	Постановка контейнера в продольный ряд
◇	Перемещение на один стек вглубь штабеля
⊙	Перемещение на один стек назад

Искомые контейнеры расположены в первом – третьем, седьмом – девятом продольных рядах (рис. 1, б). Рассмотрим те участки строки, которые содержат сигналы (коды) управления действиями погрузчика при выемке блокирующих и целевых контейнеров с последующим возвратом блокирующих контейнеров обратно в соответствующие им стеки (табл. 2).

Таблица 2

Участки строки управления, отвечающие за выемку целевых контейнеров из штабеля

Порядковый номер, разбираемого ряда / S_i участок строки	Координаты $(i; j; k)$ целевых контейнеров, находящихся в i -м продольном ряду	Последовательность управляющих сигналов:			Длина S_i участка
		Выемка первого целевого контейнера	Выемка второго целевого контейнера	Возврат блокирующих контейнеров на прежнее место	
1-й продольный ряд / S_1	$(1; 3; 1)$, $(1; 3; 3)$	xxx -	xx ◇ v v v v v ◇ v v v -	oo ⊙ooooo ⊙ ★★★★★	30
2-й продольный ряд / S_2	$(2; 2; 2)$	xxxxx ◇ v v -	-	o ⊙ ★★★★★	16
3-й продольный ряд / S_3	$(3; 4; 1)$, $(3; 3; 2)$	xxxxx -	x ◇ v v v -	oo ⊙ ★★★★★	18
7-й продольный ряд / S_7	$(7; 2; 2)$, $(7; 4; 2)$	xxxxx ◇ v v -	v v -	oo ⊙ ★★★★★	20
8-й продольный ряд / S_8	$(8; 1; 3)$	xxxxx ◇ v v v v v ◇ v -	-	⊙ooooo ⊙ ★★★★★	26
9-й продольный ряд / S_9	$(9; 5; 1)$	xxxxx -	-	★★★★★	10
Сумма					120

В строке управления последовательности из двух символов вида (× -) и (v -) указывают на выполнение операции выемки целевого контейнера из штабеля (выемка из продольного или поперечного ряда соответственно). В табл. 2 они выделены серым цветом. Количество таких последовательностей (в данном примере их девять) равно количеству производительных операций. Остальные символы строки управления отвечают за непроизводительные операции. Поскольку местоположение целевых и блокирующих их контейнеров в штабеле неизменно в момент его расформирования, количество производительных движений, как и непроизводительных (выемка блокирующих контейнеров), при любой последовательности разбора продольных рядов штабеля не меняется, т. е. уменьшить количество символов на рассмотренных участках строки управления не представляется возможным.

Попробуем уменьшить количество символов в строке управления за счет изменения последовательности (очередности) разбора продольных рядов штабеля. Предположим, что на момент поступления заявки на вывоз контейнеров погрузчик (ричстакер) находится у шестого продольного ряда. Если бы в этом ряду находились целевые контейнеры (рис. 1, б), ряд был бы разобран, но так как их там нет, то погрузчик должен быть перемещен влево или вправо до совмещения с рядом, в котором эти контейнеры находятся. Варианты возможных перемещений погрузчика вдоль поперечного ряда с последовательностью разбора продольных рядов и соответствующая строка управления приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Структура строки управления в зависимости
от последовательности разбора продольных рядов**

№ п/п.	Варианты последовательности разбора продольных рядов	Участок строки, ответственный за перемещение погрузчика вдоль первого поперечного ряда вправо или влево / участок строки, разбирающий <i>i</i> -й продольный ряд /	Длина строки управления		
			Суммарная длина участков перемещения	Суммарная длина участков выемки	Сумма
1	1-й, 2-й, 3-й, 7-й, 8-й, 9-й ряды	■■■■■ / $S_1/\bullet / S_2/\bullet / S_3/\bullet \dots \bullet /$ $S_7/\bullet / S_8/\bullet / S_9/$	13	120	133
2	3-й, 2-й, 1-й, 7-й, 8-й, 9-й ряды	■■■ / $S_3/\bullet / S_2/\bullet / S_1/\bullet \dots \bullet /$ $S_7/\bullet / S_8/\bullet / S_9/$	13	120	133
3	1-й, 2-й, 3-й, 9-й, 8-й, 7-й ряды	■■■■■ / $S_1/\bullet / S_2/\bullet / S_3/\bullet \dots \bullet /$ $S_9/\bullet / S_8/\bullet / S_7/$	15	120	135
4	7-й, 8-й, 9-й, 1-й, 2-й, 3-й ряды	$\bullet / S_7/\bullet / S_8/\bullet / S_9/\bullet \dots \bullet /$ $S_1/\bullet / S_2/\bullet / S_3/$	13	120	133
5	8-й, 7-й, 9-й, 3-й, 2-й, 1-й ряды	$\bullet \bullet / S_8/\bullet / S_7/\bullet \bullet / S_9/\bullet \dots \bullet /$ $S_3/\bullet / S_2/\bullet / S_1/$	13	120	133
6	3-й, 7-й, 2-й, 8-й, 1-й, 9-й ряды	■■■ / $S_3/\bullet \dots \bullet / S_7/\bullet \dots \bullet / S_2/\bullet$ $\bullet \dots \bullet / S_8/\bullet \dots \bullet / S_1/\bullet \dots \bullet$ $\bullet \dots \bullet / S_9/$	33	120	153
7	7-й, 3-й, 8-й, 2-й, 9-й, 1-й ряды	$\bullet / S_7/\bullet \dots \bullet / S_3/\bullet \dots \bullet / S_8/$ $\bullet \dots \bullet / S_2/\bullet \dots \bullet / S_9/$ $\bullet \dots \bullet / S_1/$	31	120	151
8	7-й, 8-й, 9-й, 3-й, 2-й, 1-й ряды	$\bullet / S_7/\bullet / S_8/\bullet / S_9/\bullet \dots \bullet / S_3/$ $\bullet \bullet / S_2/\bullet / S_1/$	12	120	132
9	2-й, 3-й, 1-й, 7-й, 8-й, 9-й ряды	■■■■■ / $S_2/\bullet / S_3/\bullet / S_1/\bullet \dots \bullet /$ $S_7/\bullet / S_8/\bullet / S_9/$	15	120	135
10	8-й, 9-й, 7-й, 3-й, 2-й, 1-й ряды	$\bullet \bullet / S_8/\bullet / S_9/\bullet \dots \bullet / S_7/\bullet \dots \bullet / S_3/$ $S_2/\bullet / S_1/$	11	120	131

Получается, что у строки управления 10 наименьшая длина (131 символ) среди всех рассмотренных в табл. 3 вариантов. Суммарная длина участков, управляющих расформированием штабеля с последующим возвратом в него блокирующих контейнеров, для всех вариантов очередности разбора продольных рядов одинаковая (120 символов). Изменяется суммарная длина участков, управляющих перемещением погрузчика влево или вправо вдоль первого поперечного ряда. Диапазон изменений — от 33 символов до 11 (наименьшее значение соответствует управляющей строке № 10).

Промежуточные выводы:

1. Оптимальной строкой управления для рассмотренного примера является строка 10, соответствующая ей последовательность разбора продольных рядов — 8, 9, 7, 3, 2, 1.

2. Выдвинутая гипотеза о возможности сокращения символов строки управления за счет минимизации непроизводительных движений погрузчика при расформировании штабеля неверна, так как количество управляющих символов сокращается на участках, управляющих перемещениями погрузчика к следующему разбираемому ряду.

Обсуждение (Discussion)

Понятие оптимизации технологических процессов связано с вопросами: «*Что в конкретном случае понимать под термином «оптимальный процесс?»*» и «*Как оценить степень оптимальности технологического процесса?»*». В методах оптимизации существует понятие *критерия оптимальности* как доказательной базы, свидетельствующее о том, что наилучшее решение (оптимальный план) найдено и дальнейшее улучшение технологического процесса невозможно. В качестве критериев оптимальности традиционно используются: максимальная производительность, максимальный (минимальные) доход (расходы), минимальное время, потраченное на выполнение комплекса операций, минимальное расстояние, которое проходит техника в процессе выполнения складских операций.

В данном исследовании первоначально поиск оптимальной строки управления (минимальной длины) осуществлялся через минимизацию количества непроизводительных движений погрузчика селективным выбором контейнеров из штабеля. Иными словами, стремились увеличить производительность технологического процесса (максимизация производительности погрузчика). Доказали, что повышение производительности для рассмотренного технологического процесса не равно минимизации количества непроизводительных движений погрузчика, так как показатель селективности (1) для этого процесса всегда равен константе. Далее была выполнена попытка поиска оптимальной строки управления изменением последовательности очередности разбора продольных рядов с целевыми контейнерами. Изменение этой последовательности заставляет погрузчик каждый раз проходить разное расстояние при разборе штабеля, т. е. в качестве критерия оптимальности использовалось расстояние, измеряемое в количествах перемещений (количество шагов) влево и вправо вдоль первого поперечного ряда. За одно перемещение (один шаг) принимали смещение погрузчика на один ряд, т. е. длину одного контейнера. Следовательно, согласно общепринятой классификации (теории оптимизации), был применен *критерий минимизации расстояния*. Было доказано, что при изменении последовательности в очередности разбора продольных рядов можно добиться уменьшения количества управляющих символов в строке. Напомним, что каждый символ строки управления равен одной операции, которую выполняет погрузчик (см. табл. 1), т. е. с уменьшением количества символов уменьшается количество операций, выполняемых погрузчиком, и, как следствие, повышается производительность последнего. В данном случае расстояние может быть принято за меру оптимальности рассматриваемого технологического процесса, но это не точная оценка.

Поясним данный вывод. Критерий минимального расстояния широко применяется в складской грузопереработке и методика его использования представлена, например, в [18]). Вернемся к примеру, приведенному на рис. 1. Погрузчик находится у шестого продольного ряда. Ближайший продольный ряд с целевыми контейнерами к шестому по критерию расстояния седьмой, следовательно, он будет разбираться первым. После выполнения операций по выемке целевых контейнеров из седьмого ряда ближайшим к погрузчику по критерию расстояния окажется восьмой,

затем девятый, третий, второй и первый ряды (рис. 1, б). Получили «оптимальную» последовательность разбора продольных рядов по критерию расстояния {7, 8, 9, 3, 2, 1}. Этой последовательности соответствует 8-я строка табл. 3 с управляющей строкой, состоящей из 132 символов (на один символ больше, чем у управляющей строки для последовательности {8, 9, 7, 3, 2, 1}). Нашли строку, у которой длина меньше, чем у управляющей строки соответствующей последовательности {7, 8, 9, 3, 2, 1}. Следовательно, доказано, что принцип каждый раз перемещать погрузчик к ближайшему от его месторасположения ряду с целевыми контейнерами не всегда приводит к желаемому результату, т. е. минимальному пробегу перегрузочного оборудования.

Выводы (Summary)

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выбор оптимальной последовательности сигналов блока управления при обработке штабеля контейнеров требует количественного анализа не всей последовательности символов (кодов) управляющей строки, а сравнительно коротких ее участков.

2. Строка управления состоит из следующих участков: перемещение погрузчика вправо / влево вдоль первого поперечного ряда штабеля; разблокировка целевого контейнера (выемка из стека блокирующих контейнеров); выемка целевого контейнера с последующим вывозом к новому месту его размещения на терминале (например, возле железнодорожных путей); возврат блокирующих контейнеров в стеки, в которых они ранее находились. В принятых обозначениях (см. табл. 1) повторение символа • или символа ■■ либо только один из этих символов указывает на участок «перемещение погрузчика вправо / влево». На участок «разблокировка целевого контейнера» указывает последовательность символов ×. Если в строке управления встречается сочетание двух символов «×-» подряд, то выполняется «выемка целевого контейнера». Для участков «возврат блокирующих контейнеров в стеки» характерно чередование символов {○, ⊙, ⊙, ★★}.

3. Если минимизация количества символов в строке управления возможна лишь на участках «перемещение погрузчика вправо / влево», то необходимо организовать поиск последовательностей, состоящих только из символов • и ■■, а также подсчет количества этих символов. Та строка, в которой количество таких символов будет наименьшим, является оптимальной строкой управления. Поиск оптимальной строки в блоке управления погрузчиком как технологическим автоматом легко реализовать, используя для этого математический аппарат теории автоматов, языков и вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галин А. В. Контейнеризация как очередной этап развития транспортных систем / А. В. Галин, Е. А. Давыденко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 6. — С. 996–1003. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-996-1003.

2. Янченко А. А. Алгоритм оформления судна в порту по технологии предварительного информирования таможенных органов в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, А. В. Кузьмин // Территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации и свободный порт Владивосток: сб. науч. тр. X Регион. науч. конф., посв. 25-летию ФТС России. — Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. — С. 257–262.

3. Маликова Т. Е. Организация таможенного контроля на контейнерных терминалах в морских пунктах пропуска / Т. Е. Маликова // Проблемы транспорта Дальнего Востока: FERBAT-13: материалы юбилейной десятой международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию адмирала Г. И. Невельского. — Владивосток: Российская академия транспорта, Дальневосточное отделение, 2013. — С. 81–83.

4. Валькова С. С. Изменение роли грузового склада морского порта в современных транспортно-логистических сетях товаропродвижения / С. С. Валькова // Транспортное дело России. — 2018. — № 3. — С. 110–113.

5. Валькова С. С. Предпосылки создания новых методов расчета параметров обобщенного склада морского порта / С. С. Валькова // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: Материалы

IV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. — С. 257–263.

6. Эглит Я. Я. Анализ логистических процессов в порту / Я. Я. Эглит, К. Я. Эглите, Ю. А. Соломатина, Е. П. Мыльникова // Эксплуатация морского транспорта. — 2021. — № 4 (101). — С. 3–6.

7. Янченко А. А. Дискретно — событийная модель в задачах эксплуатации контейнерных терминалов / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. — 2017. — № 4 (85). — С. 25–31.

8. Тэк Е. Л. Имитационное моделирование и оценка перерабатывающей способности элементов транспортного узла Пусан / Е. Л. Тэк, Р. Г. Король // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2022. — № 3 (75). — С. 171–180. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.3(75).171–180.

9. Коробкова М. Н. Оценка влияния технологии выполнения портовых операций на качество услуг морских портов / М. Н. Коробкова // Экономика и предпринимательство. — 2022. — № 2 (139). — С. 1227–1230. DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.245.

10. Кузнецов А. Л. Математическое описание задачи анализа пропускной способности морских портов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, Р. В. Кузнецов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 327–335. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-327-335.

11. Антонова Е. И. Использование системы планирования перегрузочных процессов в работе контейнерного терминала / Е. И. Антонова, И. А. Васильев // Эксплуатация морского транспорта. — 2019. — № 2 (91). — С. 3–8. DOI: 10.34046/aumsuomt91/1.

12. Kurniawan F. Container Movement Evaluation Using System Dynamics Simulation / F. Kurniawan, S. N. Musa, N. H. Moin // 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). — IEEE, 2020. — Pp. 37–42. DOI: 10.1109/IEEM45057.2020.9309883.

13. Соловьева Е. Е. Исследование подходов в разработке алгоритмов управления автоматизированной системой организации поиска и выемки контейнеров / Е. Е. Соловьева // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития / Материалы Пятой международной научно-технической конференции. — Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2022. — С. 70–74.

14. Кузнецов А. Л. Моделирование погрузоразгрузочных работ на контейнерном терминале / А. Л. Кузнецов, Е. А. Давыденко // Транспортное дело России. — 2022. — № 2. — С. 205–207. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_205.

15. Lersteau C. Solving the problem of stacking goods: mathematical model, heuristics and a case study in container stacking in ports / C. Lersteau, T. T. Nguyen, T. T. Le, H. N. Nguyen, W. Shen // IEEE Access. — 2021. — Vol. 9. — Pp. 25330–25343. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3052945.

16. Филиппова А. И. Человеческий фактор как одна из основных причин аварийности российского торгового флота / А. И. Филиппова, Т. Е. Маликова, А. Ж. Радочинская // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы одиннадцатой Международной научно-практической конференции: FEBRAT-2015; Дальневосточное отд. Российской Академии транспорта, Администрация Приморского края, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского. — Владивосток: Дальневосточное отд. Российской Академии транспорта, 2015. — С. 50–52.

17. Ганнесен В. В. Человеческий фактор как одна из основных причин аварийности / В. В. Ганнесен, Е. Е. Соловьева // Научные труды Дальрыбвтуза. — 2022. — Т. 61. — № 3. — С. 64–69.

18. Маликова Т. Е. Склады и складская логистика / Т. Е. Маликова. — М.: ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2021. — 157 с.

19. Маликова Т. Е. Разработка системы слежения за импортными грузопотоками, оформляемыми по технологии предварительного информирования в морском пункте пропуска / Т. Е. Маликова, А. И. Филиппова // Морские интеллектуальные технологии. — 2016. — № 4–2 (34). — С. 32–36.

20. Филиппова А. И. Разработка системы мониторинга состояния скоропортящегося груза при морских контейнерных перевозках / А. И. Филиппова, Е. Б. Осокина, А. Ж. Радочинская // Эксплуатация морского транспорта. — 2017. — № 4 (85). — С. 31–35.

21. Заявка на патент 2023106450/11(014007) Российская Федерация, МПК B65G 60/00, B65G 59/02. Способ транспортирования и складирования контейнеров / Т. Е. Маликова, Е. Е. Соловьева, В. В. Миханов; заяв. и патентообл. Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; заявл. 20.03.2023. — 25 с.

22. Маликова Т. Е. Детерминированный конечный автомат поиска контейнеров в штабеле / Т. Е. Маликова, Е. Е. Соловьева, А. Ж. Радочинская // Эксплуатация морского транспорта. — 2022. — № 4 (105). — С. 91–100.

23. Радочинская А. Ж. Модель формирования для таможенных целей вспомогательного штабеля контейнеров на языке конечных автоматов / А. Ж. Радочинская, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. — 2021. — № 2 (99). — С. 59–66.

24. Radochinskaia A. Z. Provability of dangerous goods segregation algorithm description using finite state-machine description language / A. Z. Radochinskaia, T. E. Malikova, A. Y. Strelkov // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). — IEEE, 2021. — Pp. 1–4. DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470722.

25. Кузнецов А. Л. Селективность контейнеров в различных транспортно-технологических схемах / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, А. А. Радченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 672–682. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-672-682.

26. Соловьева Е. Е. Оптимизация работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов: технологический аспект / Е. Е. Соловьева // Актуальные проблемы развития судоходства и транспорта: Материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2022. — С. 146–153.

REFERENCES

1. Galin, Aleksandr V., and Evgeny A. Davydenko. “Containerization as the next stage in the development of transport systems.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.6 (2020): 996–1003. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-996-1003.

2. Yanchenko, A.A., T.E. Malikova, and A. V. Kuzmin. “The algorithm for ship clearance at port according to the technology of preliminary informing customs authorities under the conditions of the free port of Vladivostok.” *Territorii operezhayushchego social'no-ekonomicheskogo razvitiya v Rossijskoj Federacii i svobodnyj port Vladivostok: sbornik nauchnyh trudov X Regional'noj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 25-letiyu FTS Rossii*. Vladivostok: Vladivostokskij filial Rossijskoj tamozhennoj akademii, 2016. 257–262.

3. Malikova, T.E. “Organizatsiya tamozhennogo kontrolya na konteinernykh terminalakh v morskikh punktakh propuska.” *Problemy transporta Dal'nego Vostoka. Doklady desyatoi yubileinoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Vladivostok: DVO RAT, 2013. 81–83.

4. Valkova, S. “Change of the sea port storage’s role in modern logistic supply chain environment.” *Transport business of Russia* 3 (2018): 110–113.

5. Valkova, S.S. “Preconditions for creating new methods of calculation parameters of the generalized warehouse of the sea port.” *Kompleksnye issledovaniya v rybohozyajstvennoj otrasli: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh*. Vladivostok: Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij rybohozyajstvennyj universitet, 2018. 257–263.

6. Eglit, Ya. Ya., K. Ya. Eglite, Yu. A. Solomatina, and E. P. Mylnikova. “Analysis of logistic processes in port.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(101) (2021): 3–6.

7. Yanchenko, A.A., and T. E. Malikova. “A discrete-event model for operations in container terminals.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(85) (2017): 25–31.

8. Lee, Taek Young, and R. G. Korol'. “Simulation modeling and evaluation of processing capacity of Busan transport hub elements.” *Modern technologies. System analysis. Modeling* 3(75) (2022): 171–180. DOI: 10.26731/1813–9108.2022.3(75).171–180

9. Korobkova, M.N. “Estimation of the impact of port operations technology on the quality of seaport services.” *Ekonomika i predprinimatel'stvo* 2(139) (2022): 1227–1230. DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.245.

10. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Roman V. Kuznetsov. “Mathematical description of the sea ports throughput assessment.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 14.3 (2022): 327–335. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-327-335.

11. Antonova, E., and Ilya Vasilev. “Planning cargo operations on cargo management branch of container terminal.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(91) (2019): 3–8. DOI: 10.34046/aumsuomt91/1.

12. Kurniawan, Fajar, Siti Nurmaya Musa, and Noor Hasnah Moin. “Container Movement Evaluation Using System Dynamics Simulation.” *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. IEEE, 2020. DOI: 10.1109/IEEM45057.2020.9309883.

13. Soloveva, E.E. “Research of approaches in the algorithms development for managing an automated system for organizing the search and seizure of containers.” *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya vodnogo transporta: problemy*

i puti razvitiya: Materialy Pyatoy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Petropavlovsk-Kamchatskij: Kamchatskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022. 70–74.

14. Kuznetsov, A., and E. Davydenko. “Simulation of ship handling operations at container terminal.” *Transport business of Russia* 2 (2022): 205–207. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_205.

15. Lersteau, Charly, Trung Thanh Nguyen, Tri Thanh Le, Ha Nam Nguyen, and Weiming Shen. “Solving the problem of stacking goods: mathematical model, heuristics and a case study in container stacking in ports.” *IEEE Access* 9 (2021): 25330–25343. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3052945.

16. Filippova, A. I., T. E. Malikova, and A. Zh. Radochinskaya. “Chelovecheskii faktor kak odna iz osnovnykh prichin avariinosti Rossiiskogo torgovogo flota.” *Problemy transporta Dalnego Vostoka. Materialy odinnadtsatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: FEBRAT2015.* Dalnevostochnoe otделение Rossiiskoi Akademii transporta, 2015. 50–52.

17. Gannesen, Vitalii V., and Ekaterina E. Soloveva. “The human factor as one of the main causes of accidents.” *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University* 61.3 (2022): 64–69.

18. Malikova, T. E. *Sklady i skladskaya logistika.* M.: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu “Izdatel'stvo YuRAIT”, 2021.

19. Malikova, T. E., and A. I. Filippova. “Razrabotka sistemy slezheniya za importnymi gruzopotokami, oformlyаемymi po tekhnologii predvaritel'nogo informirovaniya v morskoy punkte propuska.” *Marine Intellectual Technologies* 4–2(34) (2016): 32–36.

20. Filippova, A. I., E. B. Osokina, and A. J. Radochinskaya. “The development of a monitoring system the condition of perishable cargo for sea container traffic.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(85) (2017): 31–35.

21. Malikova, T. E., E. E. Solov'eva, and V. V. Mikhlanoshin. RU 2023106450/11(014007), IPC B65G 60/00, B65G 59/02. Sposob transportirovaniya i skladirovaniya konteynerov. Russian Federation, assignee.

22. Malikova, T. E., E. E. Soloveva, and A. Zh. Radochinskaya. “Deterministic finite state machine for search of containers in stack.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(105) (2022): 91–100.

23. Radochinskaya, A. Zh., and T. E. Malikova. “The model of a subsidiary container stack formation for customs purposes using finite-state machine description language.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(99) (2021): 59–66.

24. Radochinskaya, A. Zh., T. E. Malikova, and A. Yu Strelkov. “Provability of Dangerous Goods Segregation Algorithm Description Using Finite State-machine Description Language.” *2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF).* IEEE, 2021. DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470722.

25. Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Anna A. Radchenko. “Box selectivity in different container cargo-handling systems.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 672–682. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-672-682.

26. Solovyova, Ekaterina E. “Optimization of operation of rear cargo fronts of sea container terminals: technological aspect.” *Aktual'nye problemy razvitiya sudohodstva i transporta: Materialy Nacional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* Vladivostok: Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij rybohozyajstvennyj universitet, 2022. 146–153.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соловьёва Екатерина Евгеньевна —
старший преподаватель
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
690087, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Луговая, д. 52-Б
e-mail: pillers@mail.ru

Маликова Татьяна Егоровна —
доктор технических наук, доцент
Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,
Верхнепортовая, 50а
e-mail: Malikova@msun.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Soloveva, Ekaterina E. —
Senior Lecturer
Far Eastern State Technical
Fisheries University
52-B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087,
Russian Federation
e-mail: pillers@mail.ru

Malikova, Tatiana E. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Maritime State University
named after Admiral G. I. Nevelskoi
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation
e-mail: Malikova@msun.ru

Статья поступила в редакцию 10 апреля 2023 г.

Received: April 10, 2023.