

Предлагаются следующие возможные пути преодоления выявленной проблемы.

1. При перевозке не подогреваемых грузов, если позволяет осадка судна при подходах к порту, следованию по фарватеру и при швартовых операциях у причала, если это возможно, набирать заблаговременно часть балласта для уменьшения затрат времени на балластировку в порту.

2. При перевозке подогреваемых грузов (различные виды мазутов, некоторые виды подогреваемых нефтей и т.д.) также, если возможно, набрать некоторое количество балласта заблаговременно, но с учетом портовых требований к осадке судна. В этом случае рекомендуется набирать балласт таким образом, чтобы не касаться холодной балластной водой дна грузовых танков и не остужать груз, так как финансовые затраты на подогрев груза весьма значительны.

В связи с ростом значимости балластных операций, повышенного внимания к ним со стороны экипажей судов и портовых властей, представляется целесообразным использование на морском флоте предложенных выше рекоменда-

ций по оптимизации использования очистных систем типа ERMA FIRST BWTS и других аналогичных систем.

Литература

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года и Кодекс по одобрению систем управления балластными водами (Кодекс СУБВ), – СПб: АО ЦНИИМФ, 2018 г. – 254 с.
2. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МК МАРПОЛ-73/78), Книги I и II, АО "ЦНИИМФ", 2017 г. – 824 с.
3. Equipment Operation & Technical manual –Vol. I ERMA FIRST ESK ENGINEERING SOLUTIONS, 2018, 183 p.

References

1. Mezhdunarodnaya konventsiya o kontrole sudovykh ballastnykh vod i osadkov i upravlenii imi 2004 goda i Kodeks po odobreniyu sistem upravleniya ballastnymi vodami (Kodeks SUBV), – Spb: AO TSNIIMF, 2018 g. –254 s.
2. Mezhdunarodnaya Konventsiya po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov (MK MARPOL-73/78), Knigi I i II, AO "TSNIIMF", 2017 g. – 824 s.
3. Equipment Operation & Technical manual –Vol. I ERMA FIRST ESK ENGINEERING SOLUTIONS, 2018, 183 p

УДК 519.711.3:656.073.28

DOI: 10.34046/aumsuomt105/11

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ КОНЕЧНЫЙ АВТОМАТ ПОИСКА КОНТЕЙНЕРОВ В ШТАБЕЛЕ

Т.Е.Маликова, доктор технических наук, доцент

Е.Е. Соловьёва, старший преподаватель

А.Ж. Радочинская, аспирант

Рассмотрены перспективы применения цифровизации в системе складской грузопереработки, а также влияние современных ИТ технологии на логистику морского контейнерного терминала. В качестве объекта исследования выбран технологический процесс перевалки контейнеров в операционных зонах терминала и формирование вспомогательных штабелей с целью дальнейшей передачи грузов между различными видами транспорта, их временном хранении и преобразовании (из контейнеризированной формы в генеральный груз и обратно), а также осуществлении вспомогательных операций (досмотр, взвешивание и др.). С операционной точки зрения формирование вспомогательного штабеля является трудоемкой технологической операцией, так как она связана с селективным поиском и изъятием из общего штабеля некоторого числа контейнеров, составляющих перемещаемый в соответствующую операционную зону логистический поток груза. Метод исследования – автоматное программирование моделируемого технологического процесса. При этом объект моделирования описывается конечным автоматом, который затем преобразуется в код. Основное предназначение автомата реализация функции управления. В контексте данного исследования управляющие воздействия направлены на перегружатель и программируют последовательность его действий по поиску целевых контейнеров в штабеле. Результатом исследования являются математическая модель поиска и выемки целевых контейнеров из штабеля в зоне хранения терминала посредством компьютеризированной системы управления, а также граф переходов конечного автомата с правилами управления (кодами). Применение указанного математического аппарата в приложении к моделированию технологических процессов позволяет представить единую логику управления процессом престакинга в операционных зонах терминала.

Ключевые слова: Контейнерный терминал, анализ операций, перегрузочное оборудование, штабель контейнеров, математическое моделирование, перемещение контейнеров, порт, логистика

DETERMINISTIC FINITE STATE MACHINE FOR SEARCH OF CONTAINERS IN STACK

T.E. Malikova, E.E. Soloveva, A.Zh. Radochinskaia

This paper considers the prospects of digitalization in the warehouse cargo handling system, as well as the impact of modern IT technologies on the logistics of a sea container terminal. The technological process of container transshipment in the operational areas of the terminal and formation of auxiliary stacks for further transfer of cargo between different transport means, their temporary storage and transformation (from containerized form to general cargo and back), as well as the implementation of secondary operations (checking, weighing, etc.) are the object of research. From an operational point of view, the formation of an auxiliary stack is a time-taking technological operation, as it requires the selective search and withdrawal from the general stack of a certain number of containers that make up the logistic flow of cargo moved to the relevant operational zone. The method of research is automatic programming of the simulated technological process. In this case, the simulation object is described by a finite automaton which is then converted into code. The main purpose of the automaton is to implement the control function. In the context of this research work, the control actions are aimed at the reloader and program the sequence of its actions to find the target containers in the stack. A mathematical model of the search and withdrawal of the target containers from the stack in the terminal storage area by means of a computerized control system, as well as a transition graph of the finite automaton with control rules (codes) are the results of this research. The application of above mathematical facility to modeling of technological processes makes it possible to present a unified logic of management of the prestacking process in operational areas of the terminal.

Keywords: container terminal, operation analysis, handling equipment, container stack, mathematical simulation, container handling, port, logistics.

Введение (Introduction)

Моделирование процесса управления контейнерными потоками в складской технологической зоне терминала морского порта наиболее востребовано при переходе к компьютеризированной системе грузопереработки. Традиционно на складах и терминалах применяются две системы: механизированная и автоматизированная. При этом большинство портов используют в своей работе первый вариант из перечисленных выше.

По данным из источников [1, 2] различной степени автоматизации обладают всего лишь тридцать пять контейнерных терминалов в мире, из них полностью автоматизированы пятнадцать. У каждой из систем есть свои достоинства. На частично или полностью автоматизированном терминале производительность оборудования и интенсивность погрузо-разгрузочных работ выше чем на механизированных складских комплексах [2] - [4]. Это достигается за счёт снижения или полного упразднения влияния человеческого фактора на производственные и экономические показатели, а также снижается риск возникновения несчастных и аварийных ситуаций [5]. В свою очередь важным преимуществом механизированных складов является более низкая стоимость используемого оборудования, лучше сбалансирована нагрузка на оборудование всех грузовых фронтов и внутрипортовой транспортировки, более компактное размещение складских зон. Например, ширина причальной зоны механизированного терминала меньше в среднем на 52,4% за счет параллельного расположения штабелей по отноше-

нию к линии кордона, выделения тыловых зон отстоя техники и постоянного участия человека в маневровых операциях терминальных тягачей [2].

Компактность механизированных терминалов, а также более низкая стоимость закупки оборудования два решающих аргумента в пользу применения неавтоматизированной системы грузопереработки в портах нашей страны [6]. Первый аргумент особенно важен для портов, расположенных в городской черте, например, таких как порт Владивосток. Умелое сочетание достоинств механизированных складских комплексов с современными возможностями информационных технологий очень востребовано для морского транспорта, так как в этом случае одновременно достигается уровень управления, соответствующий автоматизированному складу, и не теряется операционная гибкость механизированной системы грузопереработки [7]. Поэтому разработка различных систем управления технологическими процессами с применением компьютерного моделирования очень востребована на морском транспорте [8] - [10].

Вопросам автоматизации логистики статических и динамических контейнерных потоков на терминале морского порта посвящено большое количество научных работ, опубликованных за последнее время [11, 12]. Материал представленный в статьях условно можно разделить по классификационному признаку – зона контейнерного терминала для которой характерен моделируемый технологический процесс (морской грузовой фронт [13], складская технологическая [14] – [16], тыловой грузовой фронт [17] и др.). Отдельно следует выделить работы, связанные с обоснованием

необходимого количества перегрузочного оборудования для выполнения тех или иных технологических операций [18, 19] и модели вспомогательных технологических процессов, таких как, например, поиск и перемещение импортных контейнеров в зоны таможенного осмотра или досмотра [20, 21] и др., формирование вспомогательного штабеля контейнеров для ускорения погрузочных работ (престакинг в зоне хранения) [17]. На первый взгляд, работы в которых решается вопрос поиска сбалансированного числа ричстакеров и автоконтейнеровозов по отношению к складским перегрузателям не имеют прямого отношения к автоматизации технологических процессов, однако, количество и номенклатура перегрузочного оборудования являются входными параметрами в любую модель динамических контейнерных потоков [22].

Операции по перевалке контейнеров в зоне хранения и формирование вспомогательных штабелей на причале для погрузки на прибывающее в порт судно или железнодорожный состав являются объектом моделирования в данной работе как один из часто выполняемых и трудоемких вспомогательных технологических процессов контейнерного терминала [23], и поэтому наиболее перспективный в плане автоматизации.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Входные параметры моделируемого технологического процесса (описание объекта моделирования). Условие размещения штабелей в зоне хранения терминала. По прибытию судна в порт выполняется разгрузка судна с помещением контейнеров в штабели без деления груза по направлениям, т. е. контейнеры размещаются по методу свободных мест (в заранее определенные для них свободные ячейки штабеля).

Вспомогательный технологический процесс – поиск в зоне хранения целевых контейнеров и формирование из них вспомогательных штабелей в адрес прибывающего в ближайшее время под погрузку судна, для погрузки на железнодорожный состав, для проведения таможенных операций в отношении контейнеров с импортным товаром [24], попавших под систему рисков и др. Варианты исполнения в рамках основного технологического процесса – параллельно с иными технологическими операциями или в свободное (например, ночное) время.

Основные правила размещения и хранения контейнеров в штабеле. Штабели в зоне хранения имеют высоту до пяти ярусов (счет ярусов идет сверху вниз, т. е. верхний ярус будет первым и т.

д.). Напомним, что высота штабеля зависит от допустимых нагрузок на складскую площадь в конкретном порту и технических характеристик используемого на терминале оборудования, поэтому в разных портах высота штабеля может быть больше или меньше пяти ярусов. Продольные ряды штабеля считаются по возрастающей слева на право, поперечные справа на лево (рис. 1).

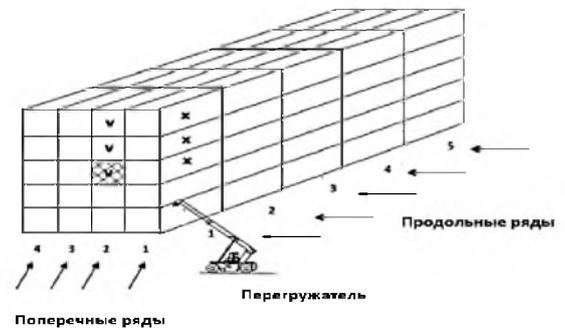


Рисунок 1 - Расположение продольных и поперечных рядов штабеля

Метод исследования – автоматное программирование или «программирование от состояний» моделируемого технологического процесса. При этом объект моделирования описывается конечным автоматом, который затем преобразуется в код. Автоматы в моделировании используют как универсальный подход, который рационально применять, когда исследуемый объект обладает сложным поведением и реагирует по-разному на события в зависимости от состояния, в котором он на данный момент находится. Основное предназначение конечного автомата реализация функции управления. В контексте данного исследования управляющие воздействия направлены на перегрузатель и программируют последовательность его действий по поиску целевых контейнеров в штабеле. Иными словами, автоматное программирование – метод, позволяющий создавать автоматизированные объекты управления, представляющие собой совокупность системы управления с обратными связями (систему взаимодействующих конечных автоматов) и объекта управления, т. е. производить автоматизацию технологических процессов. Более подробно с основными теоретическими положениями и особенностями метода автоматного программирования можно ознакомиться в работе [25].

Практическое применение конечных автоматов в данном случае – технология программирования, направленная на создание системы со сложным поведением, которая реализуется в терминах детерминированных конечных автоматов. В качестве примеров, реализации таких систем можно привести алгоритмы разделения опасных грузов на

транспортном судне [26] и формирования для та-
моженных целей вспомогательного штабеля кон-
тейнеров [27]. Конечные автоматы, представлен-
ные в этих работах, приняты за прототип при раз-
работке системы управления процессом селектив-
ного поиска контейнеров в штабеле.

Следует отметить, что известные конечные
автоматы моделируют процесс поиска [27] или
слежения [26] за целевым контейнером для задачи
в двумерной постановке, т. е. рассматриваются
две координаты местоположения объекта в шта-
беле (i – порядковый номер по длине штабеля, j –
порядковый номер в ярусе штабеля). Однако, для
однозначного определения местоположения целе-
вого контейнера необходимо задавать три коор-
динаты в порядковом номере ($i; j; k$), где i – поряд-
ковый номер продольного ряда штабеля, j – по-
рядковый номер яруса штабеля, k – порядковый

номер поперечного ряда штабеля. Предложенный
в работе конечный автомат отличается от извест-
ных прототипов тем, что осуществляет поиск це-
левого контейнера с учетом трехмерности шта-
беля (длина, высота, ширина).

Математическая модель (Mathematical model)

Детерминированный конечный автомат $A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ (ДКА) поиска и выемки целевого
контейнера задан множеством состояний $Q\{q_1; q_2;$
 $q_3; q_4\}$, множеством входных символов $\Sigma\{\bullet; \times; v; -\}$,
начальным состоянием q_0 и множеством допус-
кающих состояний $F\{f_1; f_2; f_3; f_4\}$. Интерпретация
символов из каждого множества приведена в
табл. 1. Функция переходов δ (диаграмма перехо-
дов ДКА) задана в виде графа, представленного
на рис. 2.

Таблица 1 - Компоненты конечного автомата поиска и выемки контейнера из штабеля в зоне хранения

Множества	Элементы	Интерпретация
Q	q_1	Перемещение перегружателя вдоль рядов штабеля (продольных)
	q_2	Выемка контейнера из яруса продольного ряда штабеля
	q_3	Выемка контейнера из поперечного ряда
	q_4	Вывоз контейнера во вспомогательный штабель
Σ	\bullet	Переместиться на один ряд, вправо
	\times	Снять верхний контейнер в продольном ряду
	v	Снятие контейнера из поперечного ряда
	$-$	Вывести контейнер во вспомогательный штабель
F	q_0	Нахождение перегружателя возле первого левого ряда (автомат – в начальной вер- шине графа q_1)
	f_1	Перемещение перегружателя в заданный ряд
	f_2	Выемка контейнера из заданного яруса продольного ряда штабеля
	f_3	Выемка контейнера из поперечного ряда штабеля
	f_4	Перемещение контейнера по терминалу до вспомогательного штабеля

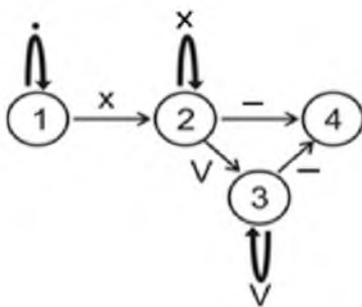


Рисунок 2 – Диаграмма переходов ДКА поиска
и выемки контейнера из штабеля хранения

Обсуждение (Discussion)

Выполним оценку адекватности диа-
граммы переходов ДКА заявленному выше техно-
логическому процессу, т. е. проверим качествен-
ную адекватность – соответствие отображения
(рис. 2) и модели структуры и механизма функци-
онирования исследуемого процесса. Выполнение
теста по вариантам.

В автомат подается последовательность
входных символов a_1, a_2, \dots, a_n . Обозначим эту по-

следовательность как строку S_{ijk} , где i -й индекс со-
ответствует порядковому номеру продольного
ряда ($i = \overline{1; n}$), j -й индекс – порядковому номеру
яруса штабеля ($j = \overline{1; 5}$), k -й индекс – порядковому
номеру поперечного ряда ($k = \overline{1; 2}$).

Первый вариант исполнения теста – опера-
ция выемки из глубины штабеля, перемещение
перегружателя вдоль первого продольного ряда
не предусмотрено. Выберем случайным образом
в штабеле (рис. 1) любой контейнер, расположен-
ный во втором поперечном ряду – целевой кон-
тейнер. Пусть это будет контейнер из ячейки с ко-
ординатами ($i; j; k$) – первый продольный ряд, тре-
тий ярус, второй поперечный ряд штабеля соот-
ветственно.

Операции технологического процесса (ме-
ханизм функционирования). Целевой контейнер
необходимо вынуть из штабеля и переместить его
во вспомогательный штабель (например, штабель
контейнеров в адрес железнодорожного состава,
который будет подан под погрузку в ближайшее
время). Операция выемки затруднена наличием в

штабеле контейнеров, блокирующих целевой, т. е. требуется выполнение непроизводительной операции по разблокировке целевого. В итоге местоположение целевого однозначно определяет наличие в данном варианте размещения пяти блокирующих контейнеров, причем размещение последних в штабеле также определено. На рисунке

Рисунок 3 – Строка управления S_{132} , составленная из элементов множества входных символов Σ конечного автомата

Для того, чтобы перегружатель мог снять целевой контейнер из второго поперечного ряда, необходимо сначала убрать блокирующие контейнера. Начальное состояние автомата q_0 определено как «нахождение перегружателя возле первого продольного ряда (автомат – в начальной вершине графа q_1)», т. е. в первой вершине графа (рис. 2). После обработки первого символа $a_1 = \times$ строки управления S_{132} , перегружатель произведет выемку верхнего контейнера в первом продольном ряду, а автомат перейдет по ребру во вторую вершину графа (элемент q_2 из табл. 1). Обработав символ строки $a_2 = \times$, автомат выполнит проход по петле и останется во второй вершине, а перегружатель снимет второй сверху контейнер в первом ряду. Третий символ $a_3 = \times$, автомат совершит проход по петле и останется по-прежнему во второй вершине, а перегружатель снимет третий по счету блокирующий контейнер в продольном ряду. В результате выполненных операций будет открыт доступ к контейнерам, находящимся во втором поперечном ряду штабеля.

Четвертый символ управляющей строки $a_4 = v$, заставляет автомат совершить переход по ребру в третью вершину графа (элемент q_4 из табл. 1), т. е. перегружатель произведет выемку верхнего контейнера из второго поперечного ряда, обработав символ строки $a_5 = v$, автомат выполнит

Рисунок 4 – Строка управления S_{312} , составленная из элементов множества входных символов Σ конечного автомата

Автомат находится в начальном состоянии q_0 , т. е. в первой вершине графа (рис. 2), а перегружатель – возле первого продольного ряда штабеля. Последовательная обработка двух первых символов строки S_{312} (рис. 4), заставляет автомат два раза пройти по первой петле графа переходов и в результате остаться в первой вершине.

За один проход автомата по первой петле перегружатель перемещается на один ряд вправо, таким образом, за два прохода – перегружатель будет находиться возле третьего продольного ряда штабеля. Третий символ заставит автомат переместиться по ребру во вторую вершину графа, пере-

грузатель снимет верхний блокирующий контейнер в продольном ряду. Доступ к целевому контейнеру – открыт. Четвертый символ строки S_{312} , заставит автомат переместиться по ребру в третью вершину, и перегружатель снимет целевой контейнер из второго поперечного ряда.

Последний символ управляющей строки, даст автомату команду перейти по ребру в четвертую вершину графа, что равносильно выполнению операции вывоза целевого контейнера во вспомогательный штабель.

Вывод. Диаграмма переходов ДКА (рис. 2) и последовательности входных символов

проход по петле и останется в третьей вершине, а перегружатель снимет второй сверху контейнер. Шестой символ управляющей строки снова v , следовательно, автомат совершит проход по петле и останется по-прежнему в третьей вершине, а перегружатель снимет третий по счету – целевой контейнер. При считывании последнего символа строки S_{132} (рис. 3) – выполняется операция перемещения контейнера по терминалу до вспомогательного штабеля. Рассмотрим вариант выемки целевого контейнера из глубины штабеля, с перемещением перегружателя относительно первого продольного ряда (второй вариант исполнения теста). Выберем вновь случайным образом в штабеле в качестве целевого любой контейнер, расположенный во втором поперечном ряду. Пусть это будет контейнер из ячейки – третий продольный ряд, первый ярус, второй поперечный ряд. Перечень операций технологического процесса (механизма функционирования) аналогичен первому варианту исполнения теста. Операция выемки в данном случае затруднена наличием в штабеле одного блокирующего контейнера, расположенного в ячейке с координатами – третий продольный ряд, первый ярус, первый поперечный ряд штабеля. В автомат будет подана управляющая строка S_{312} , со следующей последовательностью элементов (рис. 4).

переход по петле и останется в третьей вершине, а перегружатель снимет третий по счету – целевой контейнер. При считывании последнего символа строки S_{132} (рис. 3) – выполняется операция перемещения контейнера по терминалу до вспомогательного штабеля.

Рассмотрим вариант выемки целевого контейнера из глубины штабеля, с перемещением перегружателя относительно первого продольного ряда (второй вариант исполнения теста). Выберем вновь случайным образом в штабеле в качестве целевого любой контейнер, расположенный во втором поперечном ряду. Пусть это будет контейнер из ячейки – третий продольный ряд, первый ярус, второй поперечный ряд. Перечень операций технологического процесса (механизма функционирования) аналогичен первому варианту исполнения теста. Операция выемки в данном случае затруднена наличием в штабеле одного блокирующего контейнера, расположенного в ячейке с координатами – третий продольный ряд, первый ярус, первый поперечный ряд штабеля. В автомат будет подана управляющая строка S_{312} , со следующей последовательностью элементов (рис. 4).

Вывод. Диаграмма переходов ДКА (рис. 2) и последовательности входных символов

$\Sigma = \{•; \times; v; -\}$ (табл. 2) однозначно описывают работу перегружателя в процессе поиска, выемки и транспортировки заявленных контейнеров из штабеля хранения, т. е. по своей сути является математической моделью этого технологического процесса. Иными словами, доказано наличие соответствия между отображением и структурой и механизмом функционирования технологического процесса.

Однако, во входных параметрах моделируемого технологического процесса было сформулировано дополнительное условие – разгрузка судна с размещением контейнеров в зоне хранения по методу свободных мест. Данный способ хранения требует соблюдения правила возврата,

т. е. контейнера, которые блокировали доступ перегружателя к целевому контейнеру, должны быть возвращены на те же места в штабеле хранения, на которых они находились до выполнения операции выемки целевого контейнера. Несоблюдение этого правила в дальнейшем затрудняет в техническом аспекте процесс организации селективного поиска контейнеров в адрес грузополучателей.

С целью соблюдения правила возврата в математической модели (в ДКА) были расширены множества состояний Q , входных символов Σ и допускающих состояний F (табл. 2), кодирующими операции возврата в штабель хранения блокирующих контейнеров элементами, а также – диаграмма переходов δ (на рис. 5).

Таблица 2 – Компоненты конечного автомата выемки целевого контейнера и возврата блокирующих контейнеров

Множества	Элементы	Интерпретация
Q	q_1	Перемещение перегружателя вдоль рядов штабеля (продольных)
	q_2	Выемка контейнера из яруса продольного ряда штабеля
	q_3	Выемка контейнера из поперечного ряда
	q_4	Вывоз контейнера во вспомогательный штабель
	q_5	Возврат контейнера в поперечном ряду
	q_6	Возврат контейнера в продольном ряду
Σ	\bullet	Переместиться на один ряд вправо
	\times	Снять верхний контейнер в продольном ряду
	v	Снятие контейнера из поперечного ряда
	$-$	Вывести контейнер во вспомогательный штабель
	\circ	Поставить контейнер в поперечный ряд
	\star	Поставить контейнер в продольный ряд
F	f_1	Нахождение перегружателя возле первого левого ряда (автомат – в начальной вершине графа q_1)
	f_2	Перемещение перегружателя в заданный ряд
	f_3	Выемка контейнера из заданного яруса продольного ряда штабеля
	f_4	Выемка контейнера из поперечного ряда штабеля
	f_5	Перемещение контейнера по терминалу до вспомогательного штабеля
	f_6	Возврат контейнера в поперечный ряд штабеля

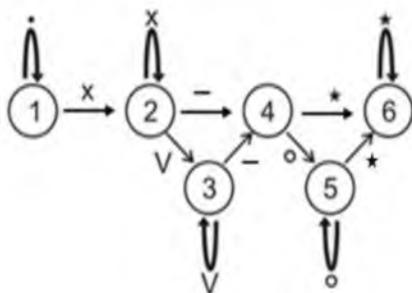


Рисунок 5 – Диаграмма переходов ДКА поиска целевого контейнера, дополненного операциями возврата в штабель блокирующих контейнеров

Третий вариант исполнения теста – на диаграмме переходов, представленной на рисунке 5, с возвратом блокирующих контейнеров назад в штабель. Выберем случайным образом в штабеле

любой контейнер, расположенный во втором поперечном ряду – целевой контейнер. Пусть это будет контейнер – первый продольный ряд, второй ярус, второй поперечный ряд штабеля. Операция выемки в данном варианте затруднена наличием в штабеле трех контейнеров, блокирующих целевой (рис. 6).



Рисунок 6 – Процесс выемки и возврата контейнеров в штабель хранения

Управляющая строка будет иметь вид, показанный на рисунке 7. Покажем, во-первых, что эта строка является кодом операции выемки выбранного целевого контейнера с возвратом сня-

5 1 2 2 1 2 x x v v - ★ ○ ○

Рисунок 7 – Пример строки управления для расширенного ДКА

После обработки первого символа $a_1 = \times$ строки управления, перегружатель произведет выемку верхнего контейнера в первом продольном ряду, а автомат перейдет по ребру во вторую вершину графа. Обработав символ строки $a_2 = \times$, автомат выполнит проход по петле и останется во второй вершине, а перегружатель снимет второй сверху контейнер в первом ряду. Третий символ $a_3 = v$, автомат выполнит переход по ребру в третью вершину, а перегружатель снимет последний блокирующий контейнер, находящийся в первом ярусе второго поперечного ряда. Доступ к целевому контейнеру открыт. Четвертый символ заставит автомат выполнить переход по петле и оставит его в третьей вершине графа переходов. Перегружатель снимет целевой контейнер из второго яруса. Считав пятый символ, перегружатель переместит целевой контейнер во вспомогательный штабель.

Шестой символ заставит автомат выполнить переход по ребру в пятую вершину. Перегружатель поставит блокирующий контейнер во второй ярус, второго поперечного ряда. Седьмой символ управляющей строки переведет автомат в шестую вершину, перегружатель произведет возврат в штабель снятого контейнера из продольного ряда.

Последний символ заставит автомат пройти по петле и остаться в шестой вершине, а перегружатель вернет на место последний контейнер т. е. выполнит непроизводительную операцию возврата блокирующего контейнера на место хранения.

Выводы (Conclusion)

В результате проведенного исследования:

– сформулированы аргументы в пользу применения механизированной системы грузопереработки на контейнерных терминалах отечественных портов;

– рассмотрены возможности перехода к автоматизированной системе управления технологическими операциями на механизированном складе, т. е. реализация функций управления с использованием компьютерного моделирования;

– выявлено, что при внедрении компьютеризированной системы грузопереработки на морском терминале существует проблема отсутствия

тых (блокирующих) контейнеров обратно в штабель. Во-вторых, ДКА принимает данную строку, а перегружатель соблюдает технологическую последовательность действий.

математических моделей, описывающих локальные технологические процессы в технологической и тыловой зонах;

– обоснован выбор математического аппарата автоматное программирование, как метода создания автоматизированного объекта управления, представляющего собой совокупность системы управления с обратными связями (система взаимодействующих конечных автоматов) и объекта управления (перегрузочного оборудования терминала), т. е. производить автоматизацию технологических процессов.

– разработана математическая модель селективного поиска и выемки контейнеров из штабеля в зоне хранения терминала на языке детерминированных конечных автоматов.

Математическая модель, реализованная в виде конечно-автоматного графа функционирования складывающего оборудования, позволяет разработать алгоритм автоматического управления процессом престакинга в технологической зоне контейнерного терминала. Адекватность работы конечно-автоматного графа проверена на последовательностях (строки управления ДКА) выполняемых операций поиска и выемки контейнеров из штабеля с учетом трехмерной постановки задачи.

Литература

1. UNCTAD Review of Maritime Transport 2018 // United Nations publication. — 2018. — 116 p. ISBN 978-92-1-112928-1.
2. Кузнецов, А. Л. Сравнительный анализ показателей эффективности автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин, В. Н. Щербак-Слосаренко, Г. Б. Попов // Морские интеллектуальные технологии. — 2021. — № 1-1(51). — С. 76-83. — DOI 10.37220/МИТ.2021.51.1.011. — EDN PТOKRM.
3. Kutin N. Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis / N. Kutin, T. T. Nguyen, T. Vallée // The Asian Journal of Shipping and Logistics. — 2017. — Vol. 33. — Is. 2. — Pp. 67–77.
4. Wiegman B. Benchmarking deep-sea port performance in the Hamburg-Le Havre range / B. Wiegman, S. Dekker // Benchmarking: An International Journal. — 2016. — Vol. 23. — Is. 1. — Pp. 96–112. DOI: 10.1108/BIJ-04-2013-0050.

5. 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, Владивосток, 02–04 октября 2015 года / Дальневосточное отделение Российской Академии транспорта, Администрация Приморского края, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского. – Владивосток: Дальневосточное отделение Российской Академии транспорта, 2015. – С. 50-52. – EDN ESXLXL.
6. Эглит, Я.Я. Выбор схемы организации работы контейнерного терминала / Я. Я. Эглит, К. Я. Эглите, М. А. Шаповалова, К. А. Кириносков // Транспортное дело России. – 2021. – № 6. – С. 144-147. – DOI 10.52375/20728689_2021_6_144. – EDN WLROVF.
7. Деружинский, В. Е. Актуальные аспекты автоматизации и роботизации погрузо-разгрузочных и транспортно-складских операций / В. Е. Деружинский, А. П. Шрамко, Н. Е. Мальцева // Эксплуатация морского транспорта. – 2016. – № 4(81). – С. 13-29. – EDN XRQDOV.
8. Кузнецов, А. Л. Методика расчета технологических параметров склада морского порта методами имитационного моделирования / А.Л. Кузнецов, С. С. Валькова // Транспортное дело России. – 2019. – № 2. – С. 98-101. – EDN LPERAW.
9. 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. – EDN VZZVZG.
10. Эглит, Я. Я. Цифровизация контейнерных перевозок и их влияние на логистику / Я.Я. Эглит, О. Ю. Огальцова, А.В. Андорская, М.А. Шаповалова // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 4(22). – С. 40-46. – EDN AXPJLE.
11. Янченко, А.А. Методика анализа технологического процесса обработки груза на контейнерном терминале / А.А. Янченко, Т.Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 2(95). – С. 20-26. – DOI 10.34046/aumsuomt95/3. – EDN OTCLEF.
12. 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. – EDN KESZAG.
13. Кушцов, Н. В. Разработка модели вероятностной оценки пропускной способности морского грузового фронта экспортного угольного терминала / Н.В. Кушцов, А.Л. Кузнецов, А.В. Шатилин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 1. – С. 17-34. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34. – EDN OCQYWM.
14. Радочинская, А. Ж. Моделирование процесса обработки импортного грузопотока на контейнерном терминале в среде MATLAB / А. Ж. Радочинская, А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Сборник докладов Второй Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 14–22 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. – С. 144-149. – DOI 10.31799/978-5-8088-1554-4-2021-2-144-149. – EDN LWCDQG.
15. Антонова, Е.И. Модель перегрузочных процессов при организации грузовых работ на контейнерном терминале / Е.И. Антонова, И.А. Васильев // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 59. – С. 149-157. – EDN CBSBQX.
16. Кинжалиева, А.Р. Имитационное моделирование процесса управления складским комплексом / А.Р. Кинжалиева, И.О. Бондарева, А.А. Ханова // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей по итогам восьмой международной научной конференции, Казань, 30-31 августа 2020 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2020. – С. 158-160. – EDN TFKFUO.
17. Кузнецов, А. Л. Планирование работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов методами имитационного моделирования / А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 2. – С. 243-253. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253. – EDN TAUEUL.
18. Зуб, И. В. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта / И.В. Зуб, Ю.Е. Ежов, Н.Н. Стенин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 6. – С. 1016-1028. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028. – EDN GTLQDP.
19. Кузнецов, А.Л. Методика анализа технологических операций / А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.В. Галин, А.Д. Семенов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 3. – С. 23-27. – DOI 10.24143/2073-1574-2018-3-23-27. – EDN XVFFJFZ.
20. 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: сборник научных трудов X Региональной научной конференции, посвященной 25-летию ФТС России, Владивосток, 05–06 октября 2016 года. – Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. – С. 257-262. – EDN YGMSNB.
21. 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, 02–04 октября 2013 года. – Владивосток: Российская академия транспорта, Дальневосточное отделение, 2013. – С. 81-83. – EDN FGJNBA.
 22. Кузнецов, А.Л. Влияние технических ограничений перегрузочного оборудования на производительность операций / А.Л. Кузнецов, А.Д. Семенов, В. П. Левченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 3. – С. 417-429. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-3-417-429. – EDN EHMUST.
 23. Кузнецов, А. Л. Стратегия управления штабелем контейнерного терминала / А.Л. Кузнецов, А. З. Боревиц, А. А. Радченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 853-860. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860. – EDN IMDHTM.
 24. Маликова, Т. Е. Анализ процесса формирования таможенного логистического потока на контейнерном терминале / Т.Е. Маликова, Ю.В. Грипина // Проблемы транспорта Дальнего Востока : FERBAT-13: материалы юбилейной десятой международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, 02–04 октября 2013 года. – Владивосток: Российская академия транспорта, Дальневосточное отделение, 2013. – С. 217-218. – EDN CVJNOP.
 25. Шальго, А.А. Применение динамического программирования при решении задач на конечных автоматах / А.А. Шальго, С.А. Оршанский // Компьютерные инструменты в образовании. – 2006. – № 4. – С. 26-35. – EDN MVWDDD.
 26. 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 2021 - Conference Proceedings, Saint-Petersburg, 31 мая – 04 2021 года. – Saint-Petersburg, 2021. – P. 9470722. – DOI 10.1109/WECONF51603.2021.9470722. – EDN XSPZSH.
 27. 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. – DOI 10.34046/aumsuomt99/10. – EDN TVKABH.

References

1. “Review of Maritime Transport 2018.” UNCTAD. United Nations publication (2018): 116 p. ISBN 978-92-1-112928-1.
2. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Galin, Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko, and German B. Popov. “Benchmarking analysis for automated and non-automated container terminals.” *Marine intellectual technologies* 1.1 (2021): 76–83. DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.011.
3. Kutin N., T. T. Nguyen and T. Vallée. “Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis.” *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 33.2 (2017): 67–77.
4. Wiegmans B., S. Dekker. “Benchmarking deep-sea port performance in the Hamburg-Le Havre range.” *Benchmarking: An International Journal* 23.1 (2016): 96–112. DOI: 10.1108/BIJ-04-2013-0050.4.
5. Filippova A.I., T.E. Malikova, A. Zh. Radochinskaya. Chelovecheskii faktor kak odna iz osnovnykh prichin avariinosti Rossiiskogo torgovogo flota.” V sbornike: Problemy transporta Dalnego Vostoka. Materialy odinnadsatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: FEBRAT-2015. Dalnevostochnoe otdelenie Rossiiskoi Akademii transporta, Administratsiya Primorskogo kraia, Morskoi gosudarstvennyi universitet imeni admirala G. I. Nevelskogo (2015): 50–52.
6. Eglit Y., K. Eglite, M. Shapovalova, K. Kimosov. “Selection of the container terminal operational scheme.” *Transport business in Russi* 6 (2021) : 144–147. DOI: 10.52375/20728689_2021_6_144.
7. Deruzhinsky, V.E., A.P. Shramko, Deruzhinsky, V.E., A.P. Shramko, N.E. Maltseva. “Actual aspects of automation and robotization of loading and unloading, transport and storage operations.” *Eksploatsiya morskogo transporta* 4 (81)(2016): 13–29.
8. Kuznetsov, A. L., S. S. Valkova. “Method of calculation of technological parameters of the sea port warehouse methods of imitation modeling.” *Transport business in Russi* 2 (2019) : 98–101.
9. Malikova, T. E., A. I. Filippova. “Development of tracking flow of import goods, cleared through advance notification technology at a sea border entry point.” *MarineIntellectualTechnologiesT2.4(34)* (2016): 32–36.
10. Eglit Y. Y., O. Yu. Ogaltcova, A. V. Andorskaya, M. A. Shapovalova. “Digitalization of container transportation and its impact on logistics.” *Sistemnyi analiz i logistika* 4 (22)(2019) : 40–46.
11. Yanchenko A.A., T.E. Malikova “The method for

- analyzing the technological process of cargo handling at the container terminal.” *Eksploatatsiya morskogo transporta* 2 (95) (2020): 20-26.
12. Antonova, Elena I, Ilya A Vasilev. “Planning cargo operations on cargo management branch of container terminal.” *Eksploatatsiya morskogo transporta* 2 (91) (2019): 3-8.
 13. Kuptsov, Nikolay V., Aleksandr L. Kuznetsov, Andrey V. Shatilin. “Development of a model for the probabilistic assessment of annual throughput of the marine loading complex of the export coal terminal.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.1 (2020): 17–34. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34.
 14. Radochinskaia A.Zh., A.A. Yanchenko, T.E. Malikova “Simulation of the Import Bound Cargo Traffic Processing at a Container Terminal in MATLAB Environment.” V sbornike: *Aehrokosmicheskoe priborostroenie i ehkspluatatsionnye tekhnologii. Sbor-nik dokladov Vtoroj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. Sankt-Peterburg, 2021: 144-149.*
 15. Antonova, Elena I, Ilya A Vasilev. “Cargo shipping process modeling for cargo planning activities on container terminal.” *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 59 (2019): 149-157.
 16. Kinzhaliyeva A.R., I. O. Bondareva, A.A. Xanova. “Imitacionnoe modelirovanie processa upravleniya skladskim kompleksom.” V sbornike: *Prioritetny`e napravleniya innovacionnoj deyatel`nosti v promy`shlennosti. Sbornik nauchny`x statej po itogam vos`moj mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii* (2020): 158-160.
 17. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, Anton D. Semenov. “Application the simulation modeling methods for planning a container terminal internal operations.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 243–253. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253.
 18. Zub, Igor V., Yuri E. Ezhov, Nikolay N. Stenin. “Model for selecting the port cargo handling equipment on the basis of modeling the port technological line.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.6 (2020): 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
 19. Kuznecov A. L., V. Kirichenko, A. V. Galin, A. D. Semenov. “Principles of technological operation analysis.” *Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: morskaya texnika i texnologiya* 3 (2018): 23–27. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-3-23-27.
 20. Yanchenko, A.A., T.E. Malikova, and A.V.Kuzmin. “The Algorithm for Clearance at Port According to the Technology of Preliminary Informing Customs Authorities under the Conditions of the Free Port of Vladivostok.” *The Territory of Advanced Social and Economic Development in the Russian Federation and the Free Port of Vladivostok: the Proceedings of the X Regional Scientific Conference Dedicated to the 25th Anniversary of the Federal Customs Service of Russia. Vladivostok: Editing and Publishing Office of the Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy, 2016: 257–262.*
 21. Malikova, T. E. “Organization of customs control in container terminals at maritime crossing points.” V sbornike: *Problemy transporta Dalnego Vostoka. FEBRAT-2013: materialy yubileinoi desyatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchenoi 200-letiyu admirala G.I. Nevelskogo. Vladivostok, 2013: 81–83.*
 22. Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Veronika P. Levchenko. “The influence of container handling equipment technical limitations on the operations productivity.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 417–429. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-417-429.
 23. Kuznetsov, Aleksandr L., Albert Z. Borevich, Anna A. Radchenko. “Container terminal stack management strategy.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 853–860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860.
 24. Malikova, T.E., Iu.V. Grishina. “Customs logistic flow procedure analysis in a container terminal.” V sbornike: *Problemy transporta Dalnego Vostoka. FEBRAT-2013: materialy yubileinoi desyatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchenoi 200-letiyu admirala G.I. Nevelskogo. Vladivostok, 2013: 217–218.*
 25. Shalyto, A.A., S. A. Orshansky. “Primenenie dinamicheskogo programmirovania pri reshenii zadach na konechnyh avtomatah.” *Computer tools in education* 4 (2006): 26–35.
 26. Radochinskaia A.Z., T.E. Malikova, A. Y. Strelkov “Provability of dangerous goods segregation algorithm description using finite state-machine description language.” V sbornike: *2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECNF 2021 – Conference Proceedings. 2021. C. 9470722.*
 27. Radochinskaia A.Zh., T.E. Malikova “The model of a subsidiary container stack formation for customs purposes using finite-state machine description language.” *Eksploatatsiya morskogo transporta* 2 (99) (2021): 59-66.