

УДК 658.785

Алгоритмизация размещения грузов на поддонах в глубинных складах, оборудованных шаттловыми системами

Н. Г. Янковская¹, М. Е. Дмитренко²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации, Российская Федерация, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий просп., 3

Для цитирования: Янковская Н. Г., Дмитренко М. Е. Алгоритмизация размещения грузов на поддонах в глубинных складах, оборудованных шаттловыми системами // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 4. — С. 160-171. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-4-160-171

Аннотация

Цель: Оптимизация размещения груза в каналах глубинного склада, оборудованного шаттловыми системами, с целью наиболее эффективного использования емкости склада. **Методы:** Логистический анализ. **Результаты:** Разработаны алгоритмы размещения груза в глубинных складах с шаттлами и выгрузки грузов из зоны хранения с учетом возможности размещения в одном канале грузов разных заказов. **Практическая значимость:** Разработанные алгоритмы могут найти применение при создании программного продукта для склада глубинного хранения с шаттлами.

Ключевые слова: Складская логистика, груз на поддонах, глубинный склад, шаттл, алгоритм размещения, алгоритм выгрузки.

В любой логистической системе склад занимает одно из главных мест. Перемещение материальных потоков невозможно без концентрации их на складах и не только для хранения, но и для формирования партий грузов с определенными параметрами. От того, насколько рационально организована работа склада, может зависеть скорость продвижения партий товара по всей логистической цепи.

В настоящее время складская индустрия переживает серьезные изменения — как количественные, так и качественные.

Потребность в складских помещениях в последние годы показывает существенные колебания. Так, во время пандемии спрос на хранение возрос в связи

с резким увеличением онлайн-торговли. При этом спрос на складскую логистику возрос не только в крупных городах, но и в регионах [1].

В последнее время спрос на складскую недвижимость в значительной степени определяется санкциями, которые привели к существенному изменению логистики, что повлияло на работу существующих складов, на планирование компаниями действий по строительству или модернизации и реконструкции складских объектов. Взятый страной в условиях санкций курс на импортозамещение может быть важным фактором для некоторых предприятий, влияющим на потребность в складских объемах. Расширение системы материально-технического снабжения, комплектующих и других компонентов производственного процесса повлечет перестройку системы складской логистики [2], что потребует решения вопроса о расширении площадей и объемов хранения с минимальными затратами, в кратчайшие сроки и наиболее эффективно с точки зрения технологии.

Повысить эффективность работы склада помогают появившиеся в последние годы современные автоматизированные и роботизированные системы, применяемые в том числе и на складах тарно-штучных грузов.

Рассмотрение комплексного принципа размещения тарно-штучной продукции на традиционном стеллажном складе с применением математического аппарата произведено В. Ю. Конотопским [3].

За прошедшие годы развиваются и успешно применяются новые системы хранения, оборудованные современными механизмами и применяющие передовые технологии, на которые стоит обратить внимание при реконструкции и модернизации складов. Одной из таких технологий является использование глубоких стеллажей, оборудованных шатловыми системами.

Глубинные стеллажи, в отличие от традиционных, позволяют размещать на одном уровне единицы хранения методом глубокой загрузки друг за другом. Такая система хранения позволяет оптимально использовать площадь и объем складского помещения [4].

Загрузка и выгрузка единиц хранения в глубокие стеллажи может осуществляться по принципу LiFo (последним пришел — первым ушел) или FiFo (первым пришел — первым ушел). Принцип FiFo можно реализовать при условии, что к каналам хранения имеется доступ с двух сторон.

Размещение груза в каналы глубокого стеллажа и выгрузка из каналов производится при помощи шатла.

Шатл — автономное устройство, которое в автоматическом режиме и без участия оператора перевозит единичные и тарные грузы на поддонах, перемещаясь по специальным рельсам внутри глубокого стеллажа. Устройство представляет собой мобильную платформу на съемных аккумуляторных батареях [5]. Производителями шатлов являются Toyota, итальянский производитель — компания COMITAS и другие. Однако в создавшихся условиях санкционных ограничений надежность работы с такими поставщиками будет сомнительна.

Еще до введения санкций производство шаттлов было начато и налажено в нашей стране. Примером может служить завод АО «ОЗ “Микрон”», производящий стеллажное оборудование, в том числе и шаттлы [6]. На рис. 1 приведен глубокий склад, оборудованный радиоуправляемыми шаттлами.

При выборе компанией технологии хранения груза в глубоких стеллажах с шаттловым оборудованием необходимо рассмотреть возможность максимально рационального использования глубоких стеллажей.

Грузы, которые могут храниться в глубоких складах с шаттлами, — это грузы на поддонах.

До принятия решения об использовании стеллажей с шаттлами следует произвести анализ структуры грузопотока, предполагаемой номенклатуры хранения по количеству позиций и типоразмерам. Это необходимо для определения параметров зоны хранения, а также системы, по которой склад сможет работать (LiFo или FiFo). Особенно это важно при неоднородной структуре грузопотока [7].

Склады, оборудованные шаттловыми системами, предполагают высокий уровень автоматизации, что требует наличия соответствующего программного обеспечения [8, 9].

Разработка любого программного продукта основана на алгоритмах. В данной работе приводятся алгоритмы размещения груза в каналах глубоких стеллажей, оборудованных шаттлами, и выгрузки груза из каналов.



Рис. 1. Глубокий склад с шаттлами

Для работы склада готовой продукции предприятия, отправляющего свою продукцию, скомпонованную на поддонах, заказ A_i характеризуется количеством m_i поддонов (единиц хранения). Это количество может колебаться в больших пределах — от одного до нескольких десятков мест хранения.

При использовании шаттлового оборудования имеется возможность сформировать зону хранения со следующими характеристиками:

B — количество каналов по высоте зоны хранения. Ограничение количества стеллажей по высоте связано с высотой здания склада и параметрами перегрузочного оборудования.

$Ш$ — количество каналов по ширине зоны хранения. Ограничивается геометрическими параметрами площади склада.

n — глубина канала, то есть количество мест хранения по глубине.

Глубина хранения практически не регламентирована и может составлять несколько десятков палет, но она может быть ограничена параметрами других технологических операций. Время перемещения шаттла в канале должно согласовываться со временем цикла погрузчика, который его обслуживает.

Если зона хранения не ограничена с одной стороны конструкцией здания, то доступ к зоне хранения для загрузки канала и выгрузки груза из него имеется с двух сторон.

Потребное количество каналов k_i для размещения заказа A_i :

$$k_i = \left\lceil \frac{m_i}{n} \right\rceil,$$

где d_i — количество мест в заказе A_i , для которых не требуется занимать полный канал. $d_i < n$. $d_i = m_i \bmod n$.

Если $d_i > 0$, то для размещения заказа A_i понадобится $k_i - 1$ каналов, заполненных целиком, и одного канала, заполненного частично. В этом канале останется $n - d_i$ свободных мест, которые можно занять другим заказом.

Данные о заказах и их размещении в каналах хранятся в табл. 1 и 2 базы данных.

В табл. 1 хранятся данные о заказах:

- номер заказа A_i ;
- дата поступления на хранение t_i ;
- предполагаемая дата отгрузки заказа из зоны хранения u_i ;
- количество мест в заказе m_i ;

– потребное количество каналов для заказа $k_i = \left\lceil \frac{m_i}{n} \right\rceil$;

– количество мест в заказе, для которых не требуется полный канал

$d_i = m_i \bmod n$;

– отметка об исполнении заказа.

ТАБЛИЦА 1. Таблица заказов

Номер заказа, A_i	Дата поступления на хранение, t_i	Предполагаемая дата отгрузки заказа из зоны хранения, u_i	Количество мест в заказе, m_i	Потребное количество каналов для заказа, $k_i = \left\lceil \frac{m_i}{n} \right\rceil$	Количество мест в заказе, для которых не требуется полный канал, $d_i = m_i \bmod n$	Отметка об исполнении заказа

ТАБЛИЦА 2. Таблица размещения поддонов в каналах

Номер канала по высоте	Номер канала по ширине	Занятых мест в канале слева	Номер заказа, поддоны которого расположены в канале слева	Занятых мест в канале справа	Номер заказа, поддоны которого расположены в канале справа
h	w	$z^{(1)}$	$A^{(1)}$	$z^{(2)}$	$A^{(2)}$

ТАБЛИЦА 3. Таблица заказов, пример заполнения

Номер заказа, A_i	Дата поступления на хранение, t_i	Предполагаемая дата отгрузки заказа из зоны хранения, u_i	Количество мест в заказе, m_i	Потребное количество каналов для заказа, $k_i = \left\lceil \frac{m_i}{n} \right\rceil$	Количество мест в заказе, для которых не требуется полный канал, $d_i = m_i \bmod n$	Отметка об исполнении заказа
112	01/09/21	04/09/21	2	1	2	
115	29/08/21	01/12/21	1	1	1	
111	01/09/21	04/09/21	13	2	3	

В табл. 2 заносятся данные о размещении заказа в зоне хранения.

h — номер канала по высоте, $h \leq B$;

w — номер канала по ширине $w \leq \Pi$;

$z^{(1)}$ — количество мест в канале, занятых заказом $A^{(1)}$;

$z^{(2)}$ — количество мест в канале, занятых другим заказом $A^{(2)}$.

Должно выполняться условие $z^{(1)} + z^{(2)} \leq n$.

При полной занятости канала одним заказом $z^{(1)} = n$; $A^{(1)}$ — номер заказа, $z^{(2)} = 0$; $A^{(2)} = 0$.

Если в канале хранятся поддоны двух заказов, то $A^{(1)}$ — номер заказа, поддоны которого хранятся слева, $A^{(2)}$ — номер заказа, поддоны которого хранятся справа.

Когда канал занят только одним заказом частично, то номер заказа хранится либо в $A^{(1)}$ ($A^{(2)} = 0$, $z^{(2)} = 0$), либо в $A^{(2)}$ ($A^{(1)} = 0$, $z^{(1)} = 0$).

Таким образом, номер заказа будет занесен в k_i строк табл. 2.

Пример заполнения таблиц при глубине канала $n = 10$ приведен в табл. 3 и 4.

ТАБЛИЦА 4. Таблица размещения поддонов в каналах, пример заполнения

Номер канала по высоте	Номер канала по ширине	Занятых мест в канале слева	Номер заказа, поддоны которого расположены в канале слева	Занятых мест в канале справа	Номер заказа, поддоны которого расположены в канале справа
h	w	$z^{(1)}$	$A^{(1)}$	$z^{(2)}$	$A^{(2)}$
4	5	2	112	1	115
1	4	10	111	0	
1	3	3	111	0	

Алгоритм разработан исходя из условия, что груз из канала можно забирать с двух сторон, то есть реализуется принцип FiFo, в одном канале хранится груз не более чем двух заказов.

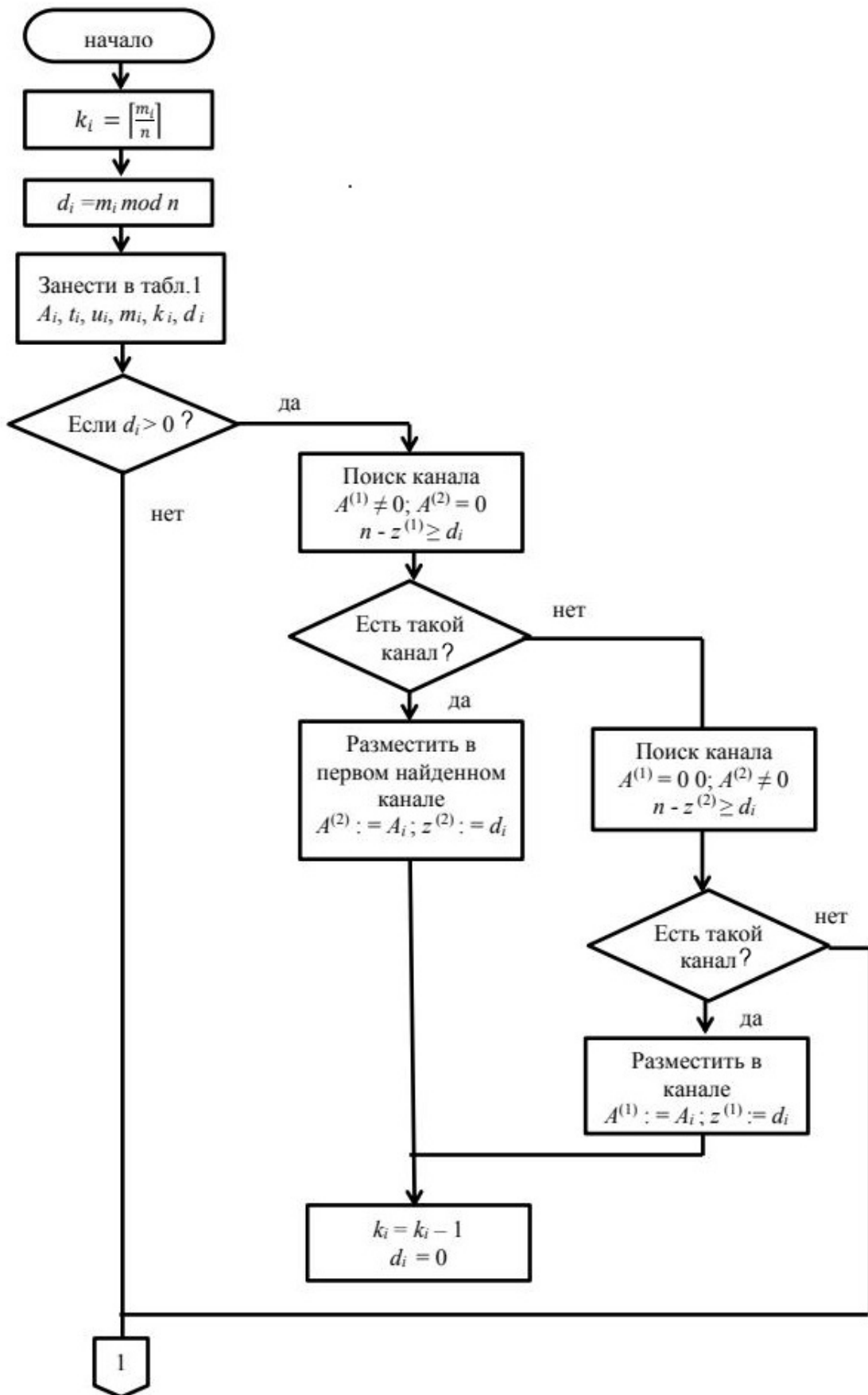
Разработка алгоритмов размещения груза в зоне хранения и выгрузки груза для отправки клиенту выполнена на основе общих принципов, применяемых для подобных задач [10, 11].

На начальном этапе для подготовки отгрузки производится сортировка всех заявок на отгрузку на данный день, затем устанавливается очередность по времени отгрузки в течение дня. Время отгрузки определяется по согласованию с заказчиком, если груз забирается транспортом заказчика. Вывоз транспортом предприятия определяется наличием свободных машин и графиком их подачи. После установки очередности отгрузки система определяет места нахождения груза и выдает данные о месте нахождения груза для отгрузки заказа, в том числе и каналы, занятые совместно с другим заказом. После освобождения каналов, в том числе частично занятых, информация поступает в систему и каналы с данными атрибутами могут быть сразу использованы для размещения грузов нового заказа согласно алгоритму на рис. 2. Алгоритм отгрузки груза приведен на рис. 3.

Результат работы алгоритма показан на примере заполнения табл. 3 и 4 при глубине канала $n = 10$. Заказ 111 занимает два канала: один полностью, а в другом занято 3 места слева. Полностью занятый одним заказом 111 канал показывается как занятый слева, поэтому $z^{(2)} = 0$ (строка 2 табл. 4). Заказы 112 и 115 находятся в одном канале: заказ 112 занимает 2 места слева, заказ 115 одно место справа.

Данные алгоритмы рассмотрены применительно к ситуации, когда неполный канал занят только двумя заказами. В случае большего количества заказов с малыми значениями d_i в канале с числом ячеек n может быть помещено три и более заказов. В этой ситуации необходим другой алгоритм заполнения каналов, учитывающий очередность отгрузки заказов.

Приведенные алгоритмы могут быть реализованы при разработке программного обеспечения автоматизированной системы работы склада, отгружающего продукцию на поддонах.



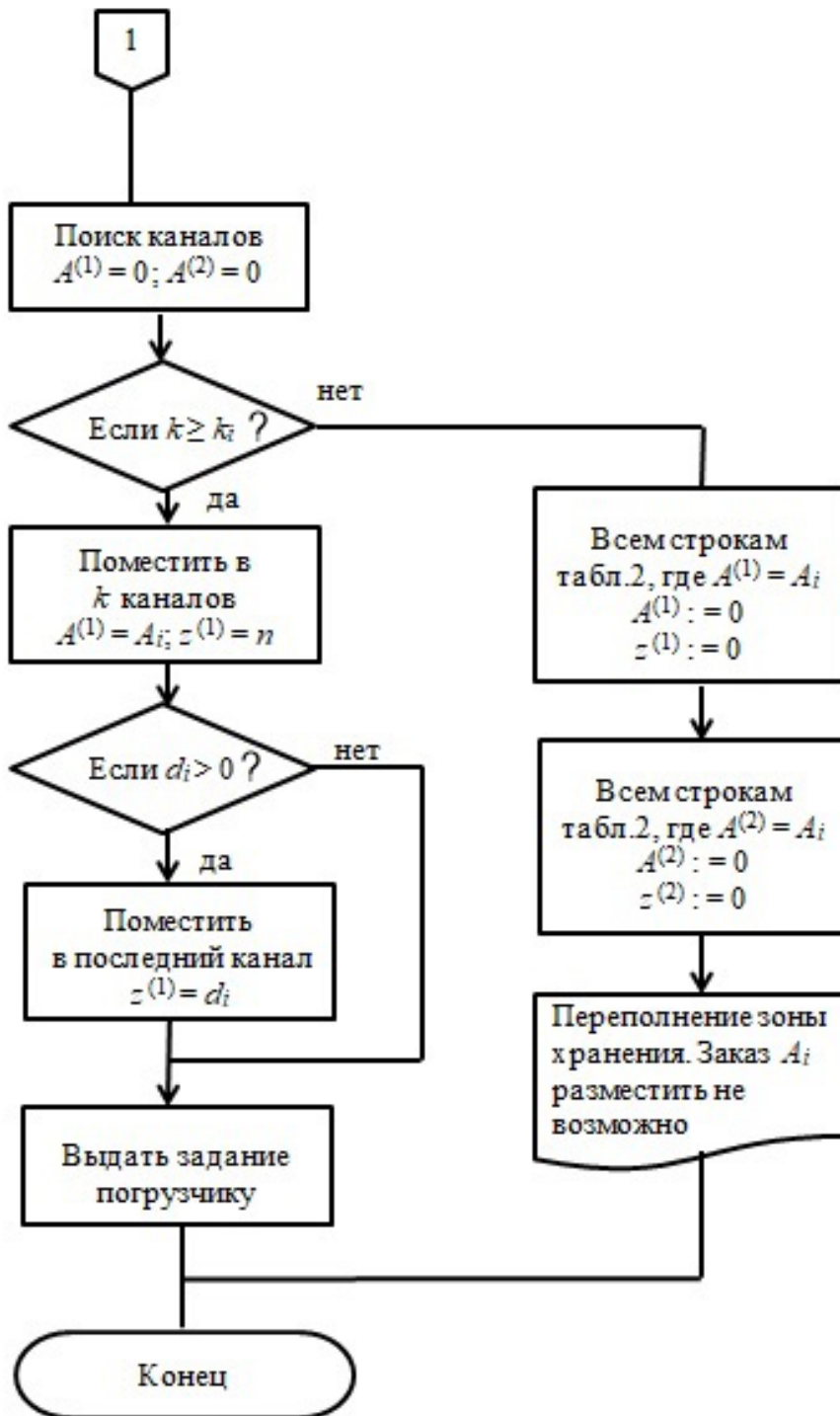


Рис. 2. Алгоритм размещения грузов в каналах зоны хранения

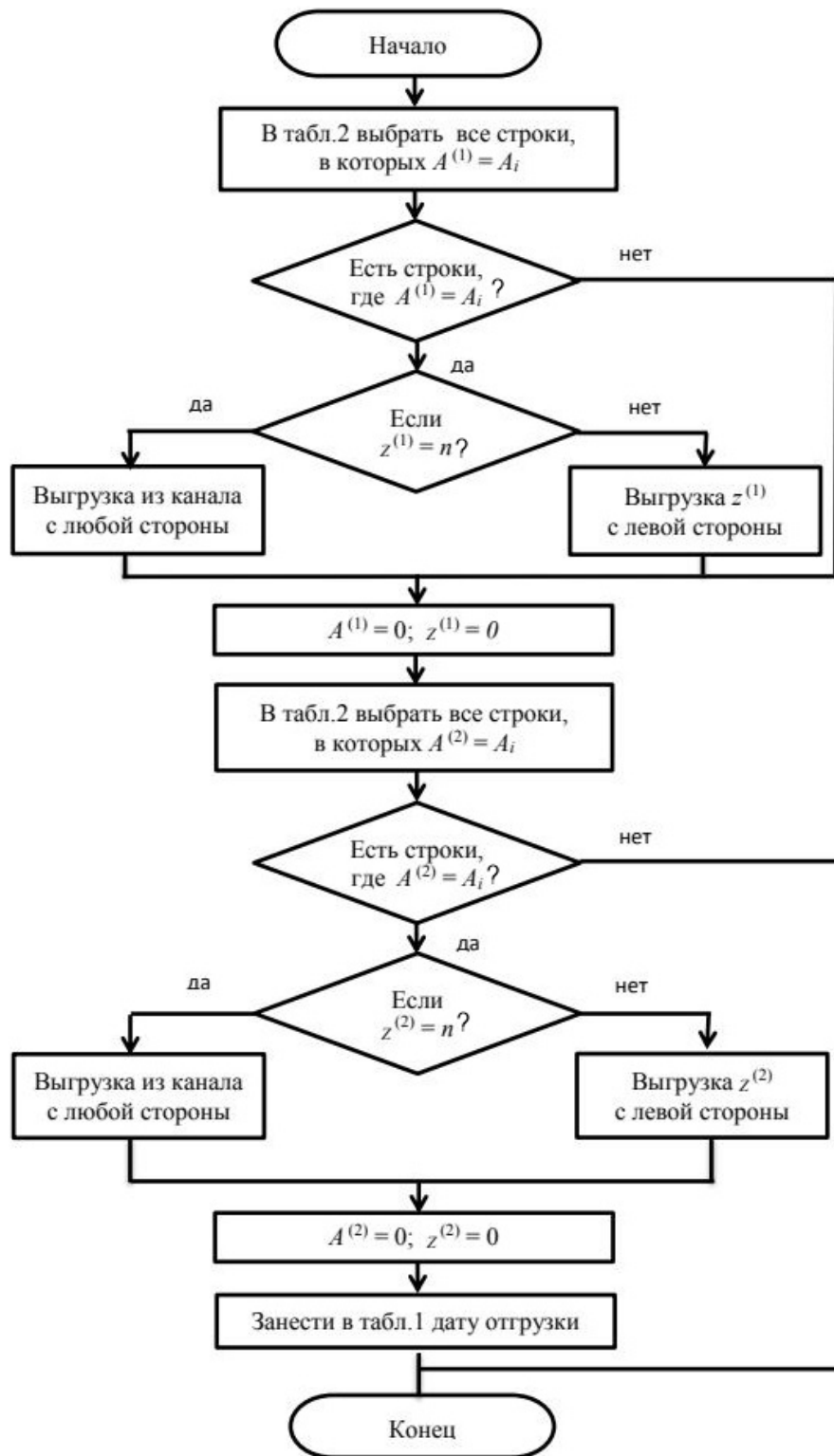


Рис. 3. Алгоритм отгрузки груза

Предложенный алгоритм решает частную задачу размещения груза на хранение без учета работы погрузочных механизмов на складе. Решение комплексной задачи с учетом технологии работы механизмов потребует применение математического аппарата и разработку более сложных алгоритмов.

Библиографический список

1. Салеева М. Пандемия расширила спрос и требования к складам / М. Салеева. — URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/reviews/pandemiya-rasshirila-spros-i-trebovaniya-k-skladam/> (дата обращения: 07.10.2022).
2. Цепи поставок и склады в новых условиях. Склад и техника. Журнал практической логистики. — URL: <https://sitmag.ru/article/9730-razvitie-skladov-v-nashey-strane-v-usloviyah-sanktsiy-i-importozameshcheniya-tsepi-postavok-i-sklady-v-novyh-usloviyah> (дата обращения: 08.09.2022).
3. Конотопский В. Ю. Комплексное применение принципов размещения продукции на складе / В. Ю. Конотопский // Вестник Томского государственного университета. Экономика. — 2014. — № 2(26). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-primenenie-printsipov-razmescheniya-produktsii-na-sklade> (дата обращения: 01.10.2022).
4. Система палетных стеллажей — глубинный стеллаж. — URL: <https://www.fabslog.ru/upload/iblock/b06/b069ade8e3e2f0f92695ea987e42ec0.pdf> (дата обращения: 10.09.2022).
5. Гусев Н. Универсальный сервоконтроллер DUAL-AXIS DS-SERVO в автоматизированных системах перемещения грузов / Н. Гусев, И. Однокопылов // Control Engineering Россия. — 2019. — № 4(82). — С. 34–37.
6. Официальный сайт АО «ОЗ Микрон». — URL: <https://ozm.ru/>.
7. Евсеева К. Н. Совершенствование технологии на складе тарно-упаковочных грузов при использовании шаттловых систем / К. Н. Евсеева, Н. Г. Янковская // Образование — наука — производство: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Чита: ЗАБИЖТ, 2020. — Т. 1. — С. 228–234.
8. Ложечник Е. А. Оптимизация складского комплекса предприятия на основе рационализации и автоматизации основных процессов / Е. А. Ложечник // ТДР. — 2010. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-skladskogo-kompleksa-predpriyatiya-na-osnove-ratsionalizatsii-i-avtomatizatsii-osnovnyh-protsessov> (дата обращения: 01.09.2022).
9. Афонина О. А. Анализ информационных систем в сфере складской логистики / О. А. Афонина // Инновационная наука. — 2019. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-informatsionnyh-sistem-v-sfere-skladskoy-logistiki> (дата обращения: 28.10.2022).
10. Долгов А. И. Методика алгоритмизации прикладных задач / А. И. Долгов, В. В. Преснухин, Д. В. Шихов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2009. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-algoritmizatsii-prikladnyh-zadach> (дата обращения: 09.10.2022).
11. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. М.: Вильямс, 2011. — 1296 с.

Дата поступления: 10.10.2022

Решение о публикации: 30.10.2022

Контактная информация:

ЯНКОВСКАЯ Наталья Григорьевна — канд. техн. наук, доц. кафедры «Логистика и коммерческая работа»; spbng@rambler.ru

ДМИТРЕНКО Михаил Евгеньевич — канд. физ.-мат наук, ст. преподаватель; prep1953@mail.ru

Algorithmization of Cargo Placement on Trays in Deep Warehouses Equipped with Shuttle Systems

N. G. Yankovskaya¹, M. E. Dmitrenko²

¹St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, Russian Federation, 190031, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 9

²Military Academy of Communications named after S. M. Budenny, 194064, St. Petersburg, Tikhoretsky Ave., 3

For citation: Yankovskaya N. G., Dmitrenko M. E. Algorithmization of Cargo Placement on Trays in Deep Warehouses Equipped with Shuttle Systems. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 4, pp. 160-171. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-4-160-171

Summary

Purpose: Optimization of cargo placement in the ducts of a deep warehouse equipped with shuttle systems in order of more efficient use of warehouse volume. **Methods:** Logistic analysis. **Results:** Algorithms for placing cargo in deep warehouses equipped with shuttles and for unloading cargo from storage area given the possibility of placing cargo of various orders in a one duct have been developed. **Practical importance:** The developed algorithms can find their use in software product creation for the warehouse of deep storage with shuttles.

Keywords: Warehouse logistics, cargo on trays, deep storage, shuttle, placement algorithm, unloading algorithm.

References

1. Saleeva M. *Pandemiya rasshirila spros i trebovaniya k skladam* [The pandemic has expanded demand and requirements for warehouses]. Available at: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/reviews/pandemiya-rasshirila-spros-i-trebovaniya-k-skladam/> (accessed: October 7, 2022). (In Russian)

2. *Tsepi postavok i sklady v novykh usloviyakh. Sklad i tekhnika. Zhurnal prakticheskoy logistiki* [Supply chains and warehouses in the new conditions. Warehouse and equipment. Journal of Practical Logistics]. Available at: <https://sitmag.ru/article/9730-razvitie-skladov-v-nashey-strane-v-usloviyah-sanktsiy-i-importozameshcheniya-tsepi-postavok-i-sklady-v-novykh-usloviyah> (accessed: September 8, 2022). (In Russian)

3. Konotopskiy V. Yu. Kompleksnoe primeneniye printsiptov razmeshcheniya produktsii na sklade [Complex application of the principles of product placement in a warehouse]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Bulletin of the Tomsk State University]. 2014, I. 2(26). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-primeneniye-printsiptov-razmeshcheniya-produktsii-na-sklade> (accessed: October 1, 2022). (In Russian)

4. *Sistema paletnykh stellazhey — glubinnyy stellazh* [System of pallet racks — deep rack]. Available at: <https://www.fabslog.ru/upload/iblock/b06/b069ade8e3e2f0f92695ea987e42ec0.pdf> (accessed: September 10, 2022). (In Russian)

5. Gusev N., Odnokopylov I. Universal'nyy servokontroller DUAL-AXIS DS-SERVO v avtomatizirovannykh sistemakh peremeshcheniya gruzov [Universal servo controller DUAL-AXIS

DS-SERVO in automated cargo handling systems]. *Control Engineering Rossiya* [Control Engineering Russia]. 2019, I. 4(82), pp. 34–37. (In Russian)

6. Ofitsial'nyy sayt AO "OZ Mikron" [Official website of OZ Mikron JSC]. Available at: <https://ozm.ru/>. (In Russian)

7. Evseeva K. N., Yankovskaya N. G. *Sovershenstvovanie tekhnologii na sklade tarno-upakovochnykh gruzov pri ispol'zovanii shattlovykh sistem* [Improving the technology at the warehouse of packaged goods using shuttle systems]. Chita: ZabIZhT Publ., 2020, vol. 1, pp. 228–234. (In Russian)

8. Lozhechnik E. A. Optimizatsiya skladsogo kompleksa predpriyatiya na osnove ratsionalizatsii i avtomatizatsii osnovnykh protsessov [Optimization of the warehouse complex of the enterprise based on the rationalization and automation of the main processes]. *TDR* [TDR]. 2010, I. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-skladsogo-kompleksa-predpriyatiya-na-osnove-ratsionalizatsii-i-avtomatizatsii-osnovnykh-protsessov> (accessed: September 1, 2022). (In Russian)

9. Afonina O. A. Analiz informatsionnykh sistem v sfere skladskey logistiki [Analysis of information systems in the field of warehouse logistics]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative science]. 2019, I. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-informatsionnyh-sistem-v-sfere-skladskey-logistiki> (accessed: October 28, 2022). (In Russian)

10. Dolgov A. I., Presnukhin V. V., Shikhov D. V. Metodika algoritimizatsii prikladnykh zadach [Algorithmization methodology for applied problems]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Technical science]. 2009, I. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-algoritimizatsii-prikladnyh-zadach> (accessed: October 9, 2022). (In Russian)

11. Kormen T., Leyzerson Ch., Rivest R. *Algoritmy: postroenie i analiz* [Algorithms: construction and analysis]. Moscow: Vil'yams Publ., 2011, 1296 p. (In Russian)

Received: October 10, 2022

Accepted: October 30, 2022

Autor's information:

Natalia G. YANKOVSKAYA — PhD in Engineering, Associate Professor, Logistics and Commercial Work Department; spbng@rambler.ru

Mikhail E. DMITRENKO — PhD in Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer; prep1953@mail.ru