

Научная статья

Original article

УДК 681.5:621.875

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_7_345

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ
ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЯЖЕЛОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ
ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF AUTOMATION OF LOGISTICS
OPERATIONS FOR HEAVY MACHINERY ENTERPRISES**



Ткачук Екатерина Владимировна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Строительство и землеустройство», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет, ev13tk@gmail.com

Липка Виктория Михайловна, доцент кафедры «Строительство и землеустройство», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет, lipka.vita@yandex.ru

Tkachuk Ekaterina Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction and Land Management, Sevastopol State University, ev13tk@gmail.com

Lipka Victoria Mikhailovna, Associate Professor of the Department of Construction and Land Management, Sevastopol State University, lipka.vita@yandex.ru

Аннотация. Приводится анализ возможности автоматизации логистических операций для предприятий тяжелого машиностроения, в целях снижения непроизводительных затрат и повышения эффективности на этапе подготовки производства. Приведены результаты расчётов

размеров автоматизированного склада, его вместимости, рассмотрен выбор рациональной схемы размещения заготовок. Предложена методика выбора безопасных режимов работы автоматизированного грузоподъемного оборудования. Полученные результаты могут быть применены на крупных машиностроительных и судостроительных предприятиях.

Abstract. The analysis of the possibility of automation of logistics operations for heavy machinery enterprises is given in order to reduce unproductive costs and increase efficiency at the pre-production stage. The results of calculations of the size of an automated warehouse, its capacity are presented, the choice of a rational layout of workpieces is considered. The method of choosing safe operating modes of automated lifting equipment is proposed. The results obtained can be applied at large machine-building and shipbuilding enterprises.

Ключевые слова: автоматизация логистических операций, автоматизированный склад, робот-штабелер, моделирование автоматизированного склада

Keywords: automation of logistics operations, automated warehouse, robot stacker, simulation of automated warehouse

Постановка проблемы. В условиях санкционного давления, отечественные предприятия тяжелого машиностроения, судостроения и других отраслей, производящих крупное оборудование, уникальные изделия, значительно наращивают выпуск продукции, что привело к существенному росту потребности в крупных металлических заготовках, логистические операции с которыми представляют значительные сложности. Значительные изменения схем перевозок ряда важнейших грузов, в т.ч. металлопроката, произошедшие с 2022 года, требуют существенной адаптации к новым условиям всей логистической инфраструктуры. У крупных машиностроительных предприятий Донбасса, Запорожской области и других регионов сформировался запрос на механизацию и автоматизацию заготовительного производства, в т.ч. на

внедрение автоматизированных складов для заготовок больших размеров и массы. Современные автоматизированные склады, инновационное подъемно-транспортное оборудование, в сочетании с высокоэффективными системами управления, позволяют свести к минимуму логистические издержки, повысить надежность технологических процессов в заготовительном производстве. Проблема состоит в том, чтобы определить рациональные способы автоматизации логистических операций и повысить эффективность заготовительного производства на крупных машиностроительных предприятиях, без значительных капитальных вложений и расширения заводских территорий.

Подобные задачи в Российской Федерации до настоящего времени не находили решения, несмотря на очевидную потребность в повышении уровня автоматизации логистических операций для тяжелого машиностроения. Примеры успешных решений представлены в литературе практически исключительно для портовых логистических комплексов, где происходит перевалка и хранение металлопроката и других подобных грузов. В работах [1,2] представлены возможности проведения различных портовых реформ, но не учитываются логистические затраты грузопотоков. В статье [3] определены функции современных транспортных хабов как ключевого элемента логистической цепочки доставки грузов, однако, не предложена система организационного взаимодействия субъектов погрузо-разгрузочных комплексов. В публикации [4] приведены рекомендации по перегрузке технологических модулей, крупногабаритных и особо тяжелых грузов, но не проанализирована эффективность предложенных способов. Таким образом, в настоящее время особую актуальность приобретают задачи оптимизации складских площадей и сокращения логистических затрат, а известные модели взаимодействия автоматизированных складов с логистическими комплексами не позволяют в полной мере решать указанные задачи.

Цель работы – анализ возможности автоматизации заготовительного производства для предприятий тяжелого машиностроения, в т.ч. на основе применения современных автоматизированных складов, совместно с другими техническими средствами, для выполнения транспортных операций.

Основной материал исследований. Проблема повышения эффективности заготовительного производства, в т.ч. автоматизации складского хозяйства, требует комплексного, системного подхода. Традиционные схемы комплексной механизации складского хозяйства включают подъёмные машины, грузозахватные приспособления, подвижной состав, а также площадки хранения и склады. В частности, в грузовом порту в Северной бухте Севастополя применена комплексная система управления Scada с визуализацией всех основных процессов грузооборота, что позволяет повысить эффективность работы менеджеров, осуществляющих координацию логистических потоков на территории, а также внутри площадок хранения и складов. Однако подобные схемы неприменимы на предприятиях машиностроения, т.к. не учитывают их специфику.

Предлагаемый вариант схемы автоматизации (рис.1) характеризуется наличием автоматизированного склада, мостового крана и приводного роликового конвейера в качестве вспомогательного оборудования [1,8].

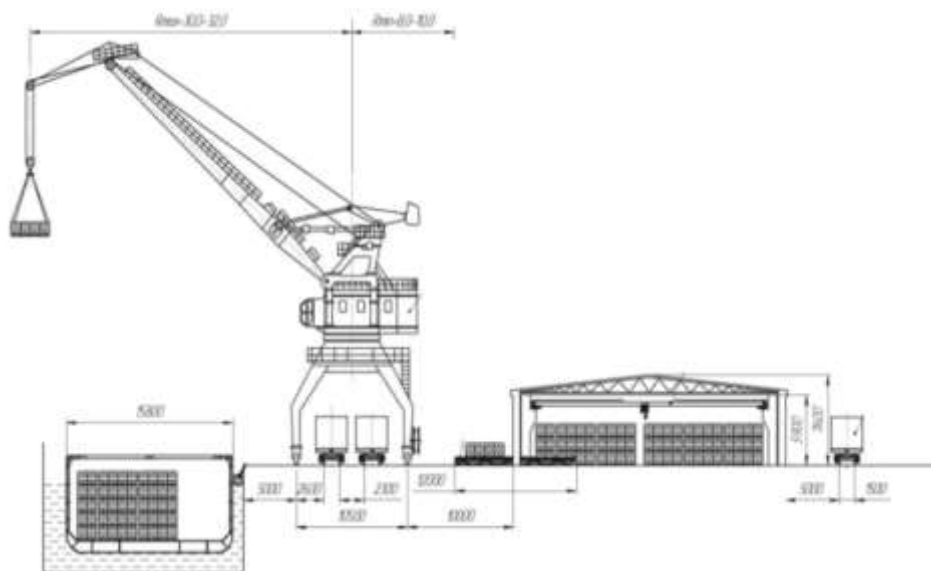


Рис. 1 – Схема взаимодействия автоматизированного склада, роликового конвейера и мостового крана в составе логистического комплекса заготовительного производства

Преимуществом проектируемой схемы является сокращение персонала, занятого на тяжелых и опасных работах, увеличение количества площадок под размещение грузов без изменения габаритов склада, что повышает эффективность логистического комплекса в целом. Вместе с тем, характеристики роликового конвейера являются ограничениями для перемещения крупных заготовок из металлопроката. Для оценки эффективности логистического комплекса машиностроительного предприятия определена вместимость склада и спланировано размещение на нём крупных заготовок из металлопроката. Исходными данными для определения основных параметров складов являются грузопотоки и режим работы складов.

При транспортировке крупных заготовок из металлопроката с использованием автопогрузчиков [7], установлено, что при грузопотоке 1120 т/сутки вместимость склада для тяжеловесных длинномерных грузов должна составлять 2340 т., с учетом максимального вылета стрелы портального крана, равного 36 м, радиус разворота автотранспорта, равный

9,6 м, ширину дороги и необходимое расстояние от крана, максимальная длина склада может достигать 22 м.

Для уточнения результата выполнен расчёт геометрических параметров склада, в результате которых площадь склада составила 1020 м², ширина склада принята 16 м, а длина – 63,75 м. Такой результат не удовлетворяет возможностям portalного крана, поэтому необходимо располагать крупные заготовки из металлопроката в 3 яруса (рис. 2), между которыми будут размещены деревянные подкладки, тогда параметры склада будут такими: площадь – 340 м², ширина – 16 м, длина – 21,3 м.

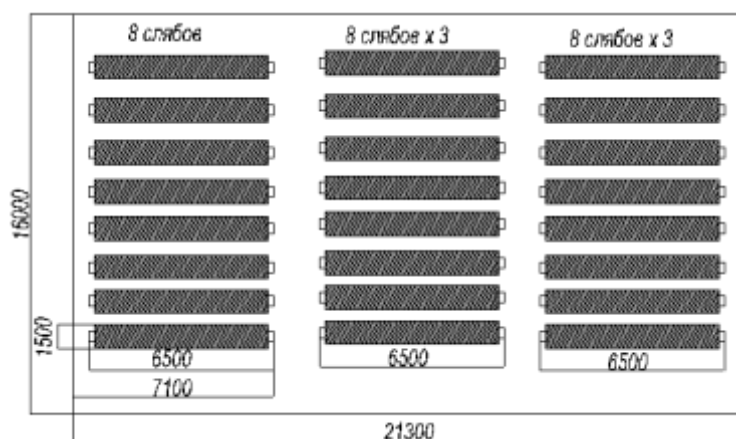


Рис.2 – Схема исходного варианта размещения заготовок из металлопроката на автоматизированном складе

При транспортировке заготовок из металлопроката с использованием мостового магнитного крана, пролёт которого составляет 34,5 м, максимальная длина склада может достигать всего 15 м, с учётом радиуса разворота автотранспорта. Согласно расчёту геометрических параметров автоматизированного склада, располагать заготовки требуется в 4 яруса (рис. 3), при этом параметры склада будут такими: площадь – 255,6 м², ширина – 17 м, длина – 15 м.

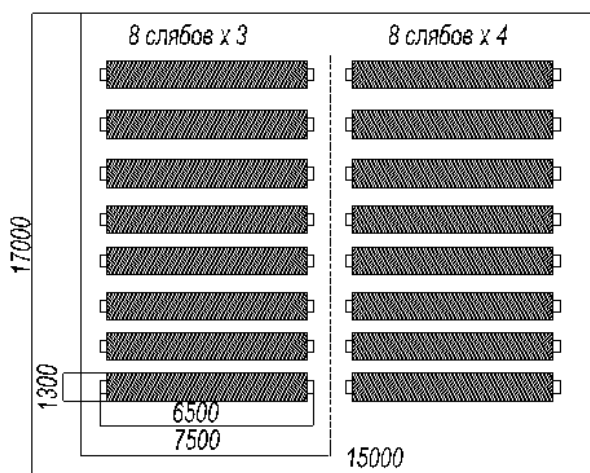


Рис.3. – Предлагаемый вариант размещения заготовок из металлопроката на автоматизированном складе

Исходя из результатов анализа логистических схем, применяемых на предприятиях тяжелого машиностроения, исходя из номенклатуры и количества грузовых операций, результатов расчёта геометрических размеров склада, с учетом результатов компьютерного моделирования с применением систем симуляции WorkcellSimulator и Dyn-SoftRobSim [5], для перемещения крупных заготовок из металлопроката выбран наилучший вариант - перегрузка с использованием мостового крана с подвеской из двух электромагнитных захватов. В ходе исследований было установлено, что на снижение фактической производительности существенно влияют ограничения, связанные с ветровой нагрузкой на грузоподъемные стрелы, особенно при значениях вылета, близких к максимальным. Проведена оценка влияния воздействия силы, возникающей от давления ветра, на механизм изменения вылета стрелы и определены пути уменьшения суммарной силы в зубчатом рельсе для уменьшения мощности привода. Установлено, что на усилия в зубчатом рельсе влияют: сила от неуравновешенного грузового момента, сила от неуравновешенного стрелового момента, сила от давления ветра на стреловую систему, сила от веса груза при отклонении канатов от

вертикали. Для этого использована упрощенная расчетная схема действия ветрового усилия (рис. 4).

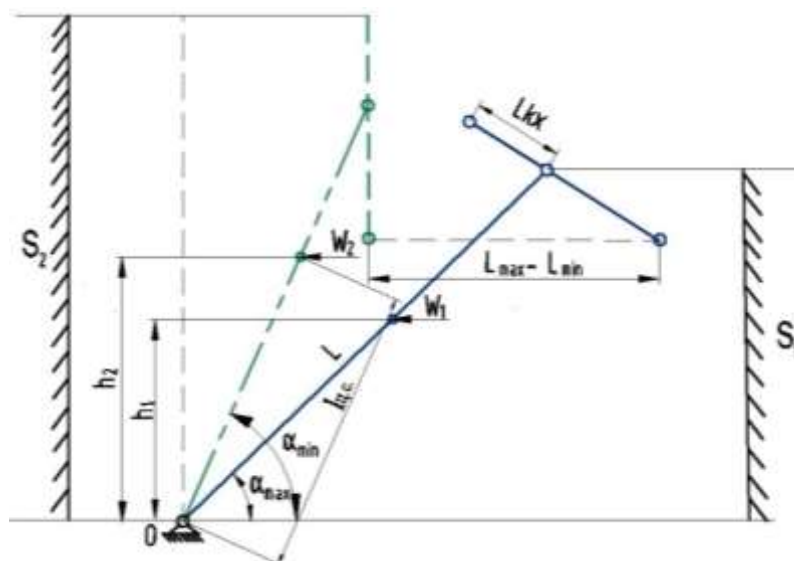


Рис. 4 – Схема определения ветрового усилия на стреловую систему грузоподъемного механизма

На схеме обозначены параметры, значение которых оказывает существенное влияние на величину ветровой нагрузки. Целесообразно при оценке ветровой нагрузки на стрелу учитывать следующие параметры [1,8]: α_{max} – угол наклона стрелы при максимальном вылете, α_{min} – угол наклона стрелы при минимальном вылете, L – длина стрелы, $l_{ц.с.}$ – расстояние до центра тяжести стреловой системы, $L_{max} - L_{min}$ – разница максимального вылета стрелы и минимального, $L_{кx}$ – длина контрбобота, h_1, h_2 – плечо действия равнодействующей силы давления ветра, которая создает момент; S_1, S_2 – вертикальная проекция наветренной площади стреловой системы; W_1, W_2 – равнодействующая сила ветровой нагрузки на стреловую систему (при максимальном вылете и при минимальном вылете соответственно).

Определим статическую составляющую ветровой нагрузки на стрелу:

- для максимального вылета L_{max}

$$W_1 = W_0 \cdot S_1, \quad (1)$$

- для минимального вылета L_{\min}

$$W_2 = W_0 \cdot S_2, \quad (2)$$

где W_0 - распределенное давление ветра в данной зоне высоты

$$W_0 = q \cdot k \cdot c \cdot n, \quad (3)$$

где q - динамическое давление (зависит от скорости ветра),

$k=1,25 \dots 1,75$ - коэффициент, который учитывает изменение давления по высоте, $c=1,2$ - коэффициент аэродинамической силы, $n=1$ - коэффициент перегрузки.

Вертикальная проекция наветренной площади стреловой системы:

- для максимального вылета L_{\max}

$$S_1 = B \cdot L \cdot \sin \alpha_{\max} \quad (4)$$

- для минимального вылета L_{\min}

$$S_2 = 1,4B \cdot L \cdot \sin \alpha_{\min} \quad (5)$$

где B - усредненная ширина наветренной площади стрелы.

Определим динамическую составляющую ветровой нагрузки на стрелу:

- для максимального вылета L_{\max}

$$W_1^{\partial} = W_1 \cdot k_1 \cdot \xi \cdot \zeta_1, \quad (6)$$

- для минимального вылета L_{\min}

$$W_2^{\partial} = W_2 \cdot k_2 \cdot \xi \cdot \zeta_2, \quad (7)$$

где $k_1=1,25$ - коэффициент, учитывающий изменение давления по высоте для максимального вылета, $k_2=1,75$ - коэффициент, учитывающий изменение давления по высоте для минимального вылета, $\xi=2.5$ - коэффициент динамичности, ζ_1, ζ_2 - коэффициент пульсации ветра при максимальном и минимальном вылете стрелы соответственно.

Для оценки условий эксплуатации грузоподъемных механизмов, работающих вне закрытых складских помещений, используя выражения

(1)...(7), были определены значения нагрузок, создаваемых давлением ветра и действующих на рейку механизма изменения вылета при различных значениях последнего (табл.1).

Таблица 1 – Значение силы в приводе, возникающей от давления ветра

| Условия эксплуатации крана с изменением вылета стрелы, м | Значение сил в кН при вылетах стрелы, м | | | | | |
|--|---|--------|--------|-------|-------|-------|
| | 8 | 10 | 16 | 22 | 28 | 36 |
| 8→36→36→8← | 152,1 | 149,6 | 130,8 | 79,1 | 95,4 | 22,7 |
| 36→8→8→36← | -152,1 | -149,6 | -130,8 | -79,1 | -95,4 | -22,7 |

В верхней строке табл.1 приведены расчетные значения сил при изменении вылета стрелы от 8 до 36 м и обратно, а в нижней строке – от 36 до 8 м и обратно. При смене направления ветра на противоположное расчетная ветровая нагрузка имеет отрицательные значения (табл.1).

Выводы

По результатам анализа возможных схем автоматизации логистического комплекса предприятия тяжелого машиностроения, на примере транспортировки крупных заготовок из металлопроката, определен наиболее перспективный вариант для практической реализации, на основе автоматизированного склада фирмы Comitas (Москва). Сценарий транспортной операции был промоделирован с использованием систем симуляции WorkcellSimulator и Dyn-SoftRobSim [5], для оценки параметров производительности и надёжности грузоподъемных механизмов. Проведенный анализ позволяет учитывать ограничения

работы грузоподъемных механизмов, вызванные ветровой нагрузкой. Представлены результаты расчётов вместимости склада, его геометрических характеристик, предложены наиболее рациональные схемы размещения заготовок на автоматизированном складе.

Полученные результаты могут быть также использованы в учебном процессе, при подготовке бакалавров в области автоматизации, а также по другим направлениям, при изучении методов построения логистических систем и управления ими.

Направление дальнейших исследований связано с применением полумарковских математических моделей [9], для оценки влияния стохастичности логистической системы на параметры функционирования машиностроительного предприятия, в т.ч. на его производительность.

Список источников

1. Примачёв Н.Т. Эффективность функциональной деятельности предприятий морского транспорта / Н.Т. Примачёв, О.Ю. Вовк. – Одесса: ИПРиЭЭИ, 2011. – 1247 с.
2. Haralambidis H. World wide experiences of Port Reform / H. Haralambidis, A.Veenstra. –Oxford: University press, 2012. – 125 p.
3. Гологузова, В.А. Механизация перегрузки штучных грузов // Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section29.html>, свободный.
4. Подобед, В.А. Перевозка крупногабаритных особо тяжелых грузов / В.А. Подобед, Р.В. Подобед, А.Н. Папуша, Б.А. Вульфович // Вестник МГТУ. –Москва, 2014. – № 1. – С. 87 – 91.
5. Морозов, П.В. Тренажер оператора дистанционно-управляемого транспортного средства/ П.В. Морозов, Г.Г. Гладков, А.Г. Кураков // Материалы научно-исследовательского конкурса «Профессионал года

2018», г. Пенза (15 декабря 2018 г.) / МЦНС «Наука и просвещение». – Пенза, 2018. – С.28 – 33.

6. Ткачук, К.В. Впровадження комп'ютерного імітаційного моделювання в експериментальні дослідження порталних кранів / К.В. Ткачук, В.В. Суглобов // Підйомно-транспортна техніка: Наук.-техн. та виробничий журн. – Одеса : Одеський національний університет, Підйомно-транспортна академія наук України, 2020. – Вип. № 2 (63). – С. 107 – 114.

7. Суглобов, В.В. Разработка динамической модели автопогрузчика / В.В. Суглобов, В. П. Лаврик, И.А. Нефедов // Підйомно-транспортна техніка. Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, – 2006. – № 3. – С. 32 – 41.

8. Коваленко, В.А. Пути повышения надёжности работы механизма изменения вылета порталных кранов / В.А. Коваленко, Д.О. Берников, А.Ф. Моисеенко // Машиностроение: Сб. научных трудов. – Харьков: УИПА, 2015. –№15. – С. 18 – 27.

9. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных производственных систем: монография. — Севастополь: СевНТУ, 2012. — 700 с.

References

1. Primachyov N.T. Effektivnost' funkcional'noj deyatel'nosti predpriyatij morskogo transporta / N.T. Primachyov, O.YU. Vovk. – Odessa: IPRiEEI, 2011. – 1247 s.

2. Haralambidis H. World wide experiences of Port Reform / H. Haralambidis, A.Veenstra. –Oxford: University press, 2012. – 125 p.

3. Gologuzova, V.A. Mekhanizaciya peregruzki shtuchnyh грузов // Molodyozh' i nauka: Sbornik materialov VII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchyonyh, posvyashchennoj 50-letiyu pervogo poleta cheloveka v kosmos [Elektronnyj resurs]. — Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj un-t, 2011. — Rezhim dostupa: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section29.html>, svobodnyj.

4. Podobed, V.A. Perevozka krupnogabaritnyh osobo tyazhelyh gruzov / V.A. Podobed, R.V. Podobed, A.N. Papusha, B.A. Vul'fovich // Vestnik MGTU. – Moskva, 2014. – № 1. – S. 87 – 91.

5. Morozov, P.V. Trenazher operatora distancionno-upravlyaemogo transportnogo sredstva/ P.V. Morozov, G.G. Gladkov, A.G. Kurakov // Materialy nauchno-issledovatel'skogo konkursa «Professional goda 2018», g. Penza (15 dekabrya 2018 g.) / MCNS «Nauka i prosveshchenie». –Penza, 2018. – S.28 – 33.

6. Tkachuk, K.V. Vprovadzhennya komp'yuternogo imitacijnogo modelyuvannya v eksperimental'ni doslidzhennya portal'nih kraniv / K.V. Tkachuk, V.V. Suglobov // Pidjomno-transportna tekhnika: Nauk.-tekhn. ta virobничий zhurn. – Odesa : Odes'kij nacional'nij universitet, Pidjomno-transportna akademiya nauk Ukraini, 2020. – Vip. № 2 (63). – S. 107 – 114.

7. Suglobov, V.V. Razrabotka dinamicheskoy modeli avtopogruzchika / V.V. Suglobov, V. P. Lavrik, I.A. Nefedov // Pidjomno-transportna tekhnika. Zb. nauk. pr. – Dnipropetrovs'k, – 2006. – № 3. – S. 32 – 41.

8. Kovalenko, V.A. Puti povysheniya nadyozhnosti raboty mekhanizma izmeneniya vyleta portal'nyh kranov / V.A. Kovalenko, D.O. Bernikov, A.F. Moiseenko // Mashinostroenie: Sb. nauchnyh trudov. – Har'kov: UIPA, 2015. – №15. – S. 18 – 27.

9. Kopp V.YA. Modelirovanie avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem: monografiya. — Sevastopol': SevNTU, 2012. — 700 s.

Для цитирования: Ткачук Е.В., Липка В.М. Анализ возможности автоматизации логистических операций для предприятий тяжелого машиностроения // Московский экономический журнал. 2023. № 7. URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-7-2023-33/>

© Ткачук Е.В., Липка В.М., 2023. Московский экономический журнал, 2023,