

METHOD OF CREATING CONTINUOUS SHIPLOADER MACHINE BASED ON PORTAL CRANE

A. V. Chihachev^{1,2}

¹ LENMORNIIPROEKT, JSC, St. Petersburg, Russian Federation.

² Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

A method for creating a continuous shiploader machine is proposed, involving the attachment of a telescopic conveyor boom to the supporting structure of a portal crane and the use of its mechanisms to control all movements of the boom. The article pays particular attention to the issue of dust emissions from bulk cargoes in existing ports of the Russian Federation, which continue to use clamshell grab cranes for transshipment. It is noted that the currently implemented comprehensive anti-dust measures do not eliminate spillage and dust loss of bulk cargo during loading and unloading operations with grab cranes at the berth. At present, the only effective solution is the introduction of costly shiploaders, which acts as a deterrent to development for many Russian ports due to the unprofitability of such investments. To improve the environmental performance and efficiency of bulk cargo transshipment at the berths of existing ports, the task was set to develop a more affordable method for transitioning from clamshell grab cranes to modern continuous-operation shiploaders. As part of the research, a special attachment for a telescopic conveyor boom to the portal crane was developed. The general view of the machine is presented, along with images of articulated and stationary fastenings to portal cranes of various designs. The principles of operation of the portal crane mechanisms are considered both in conjunction with the telescopic boom when shipping bulk cargoes and when the crane operates independently with its own hook grip for handling general cargo. A comparative analysis of the main technical characteristics and cost indicators of the developed shiploader is performed. Its main advantages and disadvantages are identified. The proposed method for creating a shiploader based on a portal crane demonstrates the possibility of constructing a new type of cargo handling equipment that combines high productivity and environmental performance, versatility of application, ease of implementation in existing ports, as well as low manufacturing and installation costs.

Keywords: continuous machine, mobile shiploader, marine cargo front, seaport, portal crane, dust pollution, shiploader, bulk cargo, telescopic conveyor, cargo handling.

For citation:

Chihachev, Aleksandr V. "Method of creating continuous shiploader machine based on portal crane." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.3 (2025): 384–395. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-384-395.

УДК: 627.352.2

СПОСОБ СОЗДАНИЯ СУДОПОГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА БАЗЕ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

А. В. Чихачев^{1,2}

¹ АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрен способ создания судопогрузочной машины непрерывного действия путем закрепления конвейерной телескопической стрелы на опорно-ходовой конструкции порталного крана и применения его механизмов для управления всеми перемещениями стрелы. Особое внимание уделено проблеме пыления сыпучих грузов в существующих портах Российской Федерации, продолжающих задействовать грейферные порталные краны для перевалки грузов. Отмечается, что применяемые в настоящее время комплексные меры борьбы с пылением не позволяют устранить просыпь и пылеунос сыпучих грузов при проведении погрузочно-разгрузочных работ грейфером на причале. При этом единственным эффективным решением является внедрение дорогостоящих судопогрузочных машин, что служит сдерживающим фактором

развития для многих портов России ввиду нерентабельности инвестиций. В целях повышения экологичности и интенсивности перевалки сыпучих грузов на причалах действующих портов сформулирована задача по разработке более доступного способа перехода от грейферных порталных кранов к современным судопогрузочным машинам непрерывного действия. В рамках исследования разработано специальное крепление телескопической конвейерной стрелы к порталу порталного крана. Представлены общий вид машины, а также изображения шарнирного и стационарного креплений к порталам кранов различной конструкции. Рассмотрены принципы действия механизмов порталного крана как в сочленении с телескопической стрелой при отгрузке сыпучих грузов, так и при обособленной работе крана собственным крюковым захватом с тарно-штучными грузами. Выполнен сравнительный анализ основных технических характеристик и стоимостных показателей разработанной судопогрузочной машины. Определены ее основные достоинства и недостатки. Предложенный способ создания судопогрузочной машины на базе порталного крана демонстрирует возможность устройства нового типа подъемно-транспортной машины, сочетающего высокую производительность и экологичность, универсальность применения, доступность внедрения в существующих портах, а также низкую стоимость изготовления и монтажа.

Ключевые слова: машина непрерывного транспорта, мобильная судопогрузочная машина, морской грузовой фронт, морской порт, порталный кран, пылевое загрязнение, судопогрузочная машина, сыпучий груз, телескопический конвейер, погрузочно-разгрузочные работы.

Для цитирования:

Чихачев А. В. Способ создания судопогрузочной машины непрерывного действия на базе порталного крана / А. В. Чихачев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 3. — С. 384–395. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-384-395. — EDN HMPUBS.

Введение (Introduction)

Россия является одним из крупнейших мировых экспортеров сыпучих грузов, поэтому задачей государства является сохранение наблюдающейся динамики их перевалки для укрепления и дальнейшего повышения своей позиции в мировой экономике. Перспектива увеличения объемов экспорта сыпучих грузов предусматривает реализацию намеченной стратегии развития морской транспортной инфраструктуры РФ¹, разработанной с учетом текущих рыночных условий и объективно меняющихся тенденций развития мировой портовой инфраструктуры, которыми в настоящее время являются внедрение передовых технологических процессов перегрузки грузов в портах, в том числе экологически безопасных («зеленых») технологий [1], а также стремление к увеличению объемов судовых партий и интенсивности погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) [2]. Вместе с тем основная доля сыпучих грузов в морских портах перегружается навалом, и следовательно, дальнейшее увеличение объемов перевалки приведет к ухудшению экологической обстановки в морских портах России. Мелкие частицы в фрикционном составе сыпучих грузов вызывают пыление в результате воздействия на них технологического оборудования при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и ветрового воздействия при открытом хранении, что приводит к безвозвратным потерям груза, отрицательному воздействию на людей и загрязнению окружающей среды: атмосферного воздуха, почвы и акватории порта [3].

Несмотря на существование значительного количества зарубежных морских портов, переваливающих пылящие навалочные грузы в непосредственной близости от населенных пунктов, в России данной проблеме уделяется гораздо большее внимание, чем за рубежом [4]. Это связано с широким применением грейферных порталных кранов на причалах отечественных портов (универсальная технология перевалки), что отличает их от зарубежных, где преимущественно используются судопогрузочные и судоразгрузочные машины непрерывного действия². Согласно данным 2019 г., в РФ существует более 32 экспортных угольных терминала, из них грейферную технологию

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г.» // Собрание законодательства РФ. 13.12.2021 г. № 50 (ч. IV). Ст. 8613.

² Возможно ли решить проблему пыления при открытой перевалке угля? // Машиностроительный завод «Поток». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://мзпоток.рф/company/articles/vozmozhno-li-reshit-problemu-pyleniya-pri-otkrytoy-perevalke-uglya/> (дата обращения: 12.03.2025).

продолжают использовать 23 порта (72 % от общего числа), современную конвейерную технологию применяют пять терминалов (15,5 % от общего числа), комбинированную технологию используют четыре терминала (12,5 % от общего числа) [5].

Выполняемые грейфером операции с сыпучими грузами являются мощным неорганизованным источником пыления на всех грузовых фронтах порта, поэтому в настоящее время данная технология считается наиболее «грязной» [6]. Согласно актуальному справочнику наилучших доступных технологий (см. ИТС 46–2019 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)») [7], проблемы пыления и пылеуноса при применении грейферной технологии перевалки в настоящее время могут быть отчасти решены только комплексным применением ряда проверенных методов, среди которых устройство ветропылезащитных экранов и высаживание защитных лесных насаждений, использование водяных пушек орошения и туманообразования, механическая и вакуумная уборка, проведение специальных организационно-технических мероприятий [8]. Вместе с тем, несмотря на существующее разнообразие решений, комплексный подход не позволяет устранить проблемы просыпи и пылеуноса груза на морском грузовом фронте (МГФ), возникающие вследствие переноса заполненного грейфера с прикормонного склада в трюм судна.

Проблема пыления на причалах существующих портов сегодня может быть решена исключительно только переходом от крановой механизации (машин циклического действия) к современным судопогрузочным машинам непрерывного действия, которые наиболее распространены на зарубежных терминалах [9]. Необходимо привлечение больших объемов инвестиций в развитие порта, которые, как правило, могут быть оправданы только при строительстве новых крупных специализированных терминалов или при существенном увеличении грузооборота существующего порта. Это является основной причиной сдерживания существующих портов от проведения мероприятий по внедрению машин непрерывного транспорта в свои технологические процессы.

Целью данного исследования является разработка более доступного способа перехода от открытой грейферной технологии перевалки к закрытой конвейерной, сочетающего доступность и универсальность применения, позволяющего повысить экологичность и интенсивность обработки судов на МГФ.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В настоящее время 75 % всего объема сухогрузов, переваливаемых в морских портах Российской Федерации, занимают сыпучие грузы. Согласно статистическим данным Ассоциации морских торговых портов (АСОП)³, наиболее востребованными на сегодняшний день сыпучими грузами являются каменный уголь, кокс, минеральные удобрения и зерно (рис. 1).



Рис. 1. Ежегодная динамика объемов перевалки наиболее востребованных сыпучих грузов, млн т / год

³ Ассоциация морских торговых портов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.morport.com/rus/content/statistika-0> (дата обращения: 26.02.2025).

Ежегодные объемы перевалки угля и кокса продолжают сохраняться на высоком уровне и составляют 188,1 млн т за прошедший 2024 г. Наряду с этим в период 2021–2024 гг. наблюдался существенный прирост объемов перевалки зерна с 42,4 млн т до 74,8 млн т (+76 %) и минеральных удобрений с 19,3 млн т до 42,5 млн т (+120 %).

Решить проблему пыления сыпучих грузов на причалах предлагается за счет разработки новой судопогрузочной машины (СПМ), где в качестве основного рабочего органа применяется двухсекционная телескопическая стрела мобильного конвейера, оборудованная системой ленточных конвейеров, а опорно-ходовой частью стрелы служит портал порталного крана, механизмы которого задействованы в роли основных механизмов стрелы для управления всеми ее перемещениями в координатной плоскости трюма судна. Выбор стрелы мобильного телескопического конвейера (рис. 2) в качестве основного рабочего органа в предлагаемой конструкции СПМ обуславливается тем, что данные машины на сегодняшний день широко распространены и имеются в наличии во многих существующих морских и речных портах, где применяются порталные краны на МГФ.

Примерами являются АО «Мурманский морской торговый порт», ООО «Универсальный перегрузочный комплекс» (порт Усть-Луга), ООО «Порт Логистик» (порт Выборг), ООО «Порт Высокский», ООО «Угольный терминал “Порт Вера”», ООО «Стивидорная компания “Малый порт”» (порт Восточный), ОАО «Ейский морской порт», ООО «Транс карго» / ООО «Евротэк-Универсал» (порт Кавказ) и др. Представленные машины в портах применяются для каскадной передачи груза по территории порта при формировании открытых штабелей сыпучих грузов, а также в качестве судопогрузочных машин на причале [10]. Наличие мобильных телескопических конвейеров в составе оборудования существующего порта позволит наиболее оперативно выполнять модернизацию существующих порталных кранов на МГФ с минимальными затратами на изготовление специального крепления к portalу крана.



Рис. 2. Типовая конструкция мобильного телескопического конвейера
(Superior industries, inc. [Электронный ресурс]. —
Режим доступа: [https://superior-ind.com/superior-industries/
telestacker-conveyor-front-qtr-view-1200-by-superior-industries/](https://superior-ind.com/superior-industries/telestacker-conveyor-front-qtr-view-1200-by-superior-industries/))

Таким образом, использование стрелы мобильного телескопического конвейера в предлагаемой конструкции СПМ позволит получить все имеющиеся преимущества данной машины, среди которых экологичность, высокая производительность, относительно низкая себестоимость и малые сроки изготовления.

Обзор разработанной конструкции СПМ. Судопогрузочная машина (рис. 3) включает наклонную телескопическую стрелу, состоящую из неподвижной 1 и подвижной секций 2. Каждая секция стрелы выполняется из пространственной стержневой конструкции, оборудуется ленточным конвейером 3 и укрывается жестким кожухом 4 на неподвижной секции и гибким кожухом 5 на подвижной для сохранности груза от атмосферных осадков и ветра, исключая загрязнения окружающей среды от ветрового выноса сыпучего материала с конвейерной ленты.

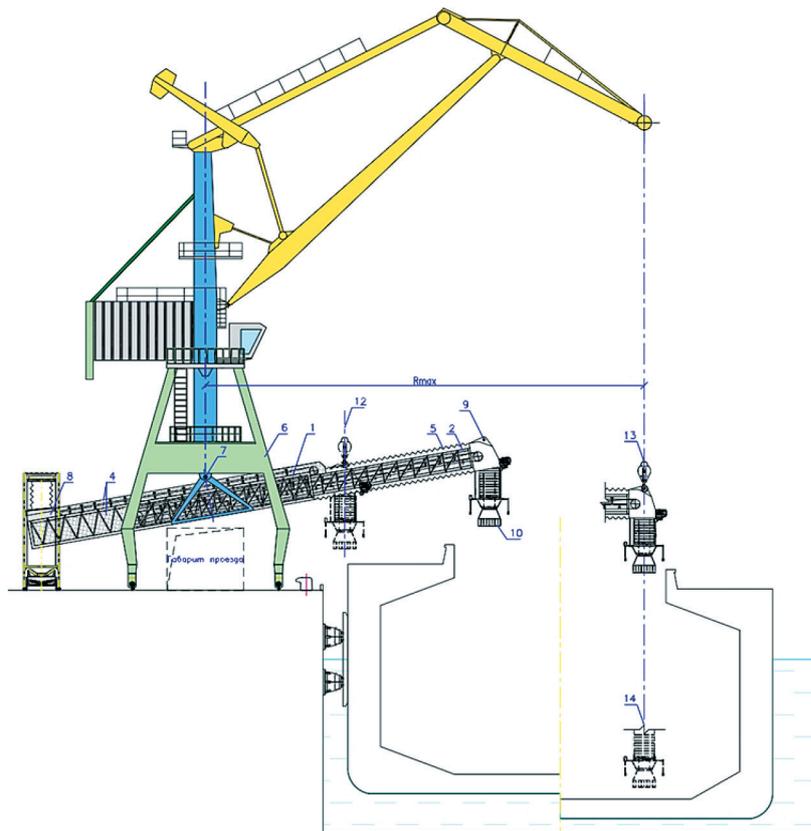


Рис. 3. Судопогрузочная машина на базе портального крана (общий вид)

Неподвижная секция стрелы закрепляется на портале портального крана *б* при помощи шарниров *7* и оборудуется приемным бункером *8*, а также специальными роликовыми направляющими для перемещения подвижной секции внутри ее конструкции (рис. 4).

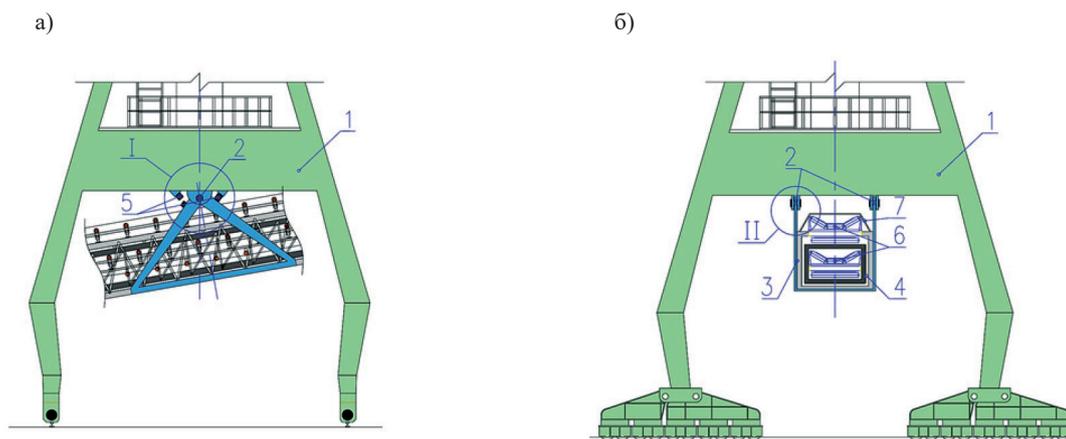


Рис. 4. Конструкция шарнирного крепления неподвижной секции к portalу:
а — вид сбоку; *б* — вид спереди

В зависимости от конструкции портала крана неподвижная секция стрелы также может быть закреплена стационарно (рис. 5). Подвижная секция в свою очередь оснащается креплением под крюковой захват *9* портального крана, осуществляющего ее выдвигание при помощи своего механизма изменения вылета стрелы. Концевая часть секции оборудуется телескопическим загрузочным устройством *10* для уменьшения высоты и скорости падения сыпучего материала в трюм судна, снижая пылеобразование в процессе его погрузки.

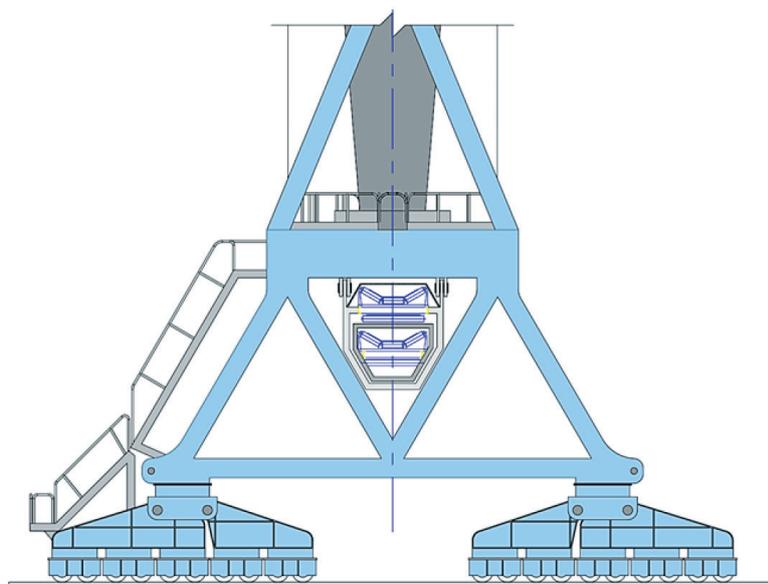


Рис. 5. Способ стационарного закрепления стрелы к порталу крана

Фиксация наклона стрелы в крайних положениях выполняется специальными резиновыми демпферами 11, установленными в нижней части портала и ответной части на самом шарнире (рис. 6). Наличие демпферов также требуется для установки стрелы судопогрузочной машины в стояночное положение 12 на период выполнения порталным краном обособленных работ, например, по перегрузке тарно-штучных видов грузов при помощи крюкового захвата.



Рис. 6. Конструкция шарнирного узла:
 а — вид сбоку; б — вид спереди

Максимальные вылет телескопической стрелы 13 соответствует вылету порталного крана, обеспечивая загрузку трюма судна при различных уровнях воды за счет опускания загрузочного устройства на дно трюма 14.

Принцип действия разработанной СПМ. В ожидании начала погрузочных работ телескопическая стрела машины находится в стояночном положении, обеспечивая безопасный подход судов и их швартовку к причалу. Наклон устройства в стояночном положении достигается исключительно собственным весом его конструктивных элементов: опираясь на демпферы, стрела закрепляется под углом, не требуя постоянного ее удержания крюковым захватом порталного крана. Таким образом, порталный кран может обособленно выполнять операции с другими видами грузов в периоды ожидания погрузочных работ по сыпучим грузам.

Перед выполнением погрузочных работ с сыпучими грузами крюк порталного крана прикрепляется к специально оборудованному захвату на подвижной секции стрелы, ось которого в стояночном положении соответствует минимальному вылету порталного крана. Увеличивая вылет стрелы, порталный кран выдвигает подвижную секцию стрелы и, как следствие, отдаляет

ее центр тяжести от оси вращения, заставляя стрелу свободно поворачиваться по часовой стрелке до крайнего положения ограничительного положения демпфера. Возврат стрелы в исходное (стояночное) положение выполняется аналогичным образом в обратном порядке, при этом стрела поворачивается против часовой стрелки. Расстояние перемещения подвижной секции стрелы зависит от ширины люкового отверстия трюма судна и ограничивается максимальным вылетом порталного крана. Таким образом, перемещение неподвижной стрелы вместе с порталом крана по длине судна и выдвигание телескопической стрелы по ширине судна при помощи стрелы крана обеспечивают равномерную послойную загрузку сыпучего груза в трюмы.

В процессе погрузочных работ сыпучий груз с других грузовых фронтов терминала может подаваться в приемный бункер стрелы при помощи прикордонного ленточного конвейера с передвижным ленточно-петлевым перегружателем, а также грейферами, мобильными передвижными конвейерами, стакерами и другим погрузочным оборудованием, способным переваливать груз на высоте расположения бункера стрелы СПМ. Далее из приемного бункера сыпучий груз передается на ленточный конвейер неподвижной секции стрелы, затем пересыпается на конвейер подвижной секции стрелы и попадает в телескопическое загрузочное устройство, по которому сыпается в трюм судна. Глубина опускания телескопического загрузочного устройства регулируется относительно текущего положения дна трюма с учетом откачки балластных вод в период ПРР, обеспечивая минимальную высоту открытого падения груза в трюм для снижения интенсивности пыления.

Технические характеристики разработанной СПМ. Согласно техническим характеристикам машины-аналога, производимой на одном из заводов мобильных телескопических конвейеров и мобильных судопогрузочных машин⁴, новая судопогрузочная машина может иметь параметры, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики машины-аналога

| Наименование параметра | Значение |
|-----------------------------------|---------------|
| Производительность | 200–2000 т/ч |
| Ширина конвейерной ленты | 650–1400 мм |
| Угол наклона | До 18 град |
| Длина стационарной части | 8–40 м |
| Вылет стрелы | 5–15 м |
| Скорость выдвигания стрелы | 0,1–0,8 м/с |
| Скорость передвижения машины | 0,05–0,2 м/с |
| Вес стрелы | 5–15 т |
| Скорость ветра (рабочие операции) | До 15 м/с |
| Температурный диапазон | От –45 до +45 |

Примечание. В случае использования предлагаемой судопогрузочной машины скорости выдвигания и передвижения телескопической стрелы будут определяться параметрами приводов порталного крана, на базе которого будет устроена судопогрузочная машина.

Помимо этого опыт применения машин-аналогов в отечественных портах показывает, что применение подобных машин позволяет достигнуть производительности до 3500 т/ч. Сравнение показателей производительности новой машины с другими типами судопогрузочных машины представлено в табл. 2.

⁴ Товарищество с ограниченной ответственностью «НПО КонвейерМашСервис». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://npo-kms.kz/products/21-sudopogruzochnaja-mashina-malaja-povorotnaja-peredvizhnaja.html> (дата обращения: 15.03.2025).

Показатели производительности машин для погрузки сыпучих грузов

| Тип судопогрузчика | Производительность в т/ч |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Портальный кран | ≈ 650 |
| 2. Мобильный телескопический конвейер | ≈ 1000 |
| 3. Судопогрузочная машина на базе существующего портального крана и стрелы мобильного телескопического конвейера | От 1000 |
| 4. Новая мобильная СПМ | До 3500 |
| 5. Судопогрузочная машина на базе существующего портального крана и телескопической стрелы мобильной СПМ | от 1000 до 1500 |
| 6. Новый портальный кран | ≈ 1000 |
| 7. Новая судопогрузочная машина на базе нового портального крана и новой телескопической стрелы мобильной СПМ | до 3500 |
| 8. Новая координатная судопогрузочная машина | до 4500 |

Примечание. Следует учитывать, что с увеличением производительности возрастает вес металлоконструкции устанавливаемой стрелы вследствие необходимости увеличения ширины ленты, установки более мощных приводов конвейеров, достижения более высоких скоростей ленты и, соответственно, увеличения динамических нагрузок на металлоконструкцию портала.

Выполненный анализ показывает, что новая судопогрузочная машина по производительности более чем в 1,5 раза превосходит портальные краны, а также может конкурировать с высокопроизводительными мобильными и координатными СПМ. Вместе с тем для определения оптимальной производительности машины непрерывного действия, позволяющей оптимизировать затраты на усиление конструкции портала крана, предстоит выполнить ряд расчетов несущей способности существующих конструкций, элементов и узлов для всех известных на сегодняшний день типов конструкций порталов, что позволит в дальнейшем создать необходимую материально-техническую базу для обеспечения массового производства креплений к портальным кранам. Это сделает технический переход от портальных кранов циклического действия к судопогрузочной машине непрерывного действия еще более доступным.

Стоимостная оценка разработанной СПМ. Исключение собственной металлоконструкции опорно-ходового устройства мобильного телескопического конвейера и мобильной судопогрузочной машины сокращает металлоемкость новой судопогрузочной машины на 30–35 %. Таким образом, учитывая необходимость изготовления и монтажа специального крепления телескопической стрелы к portalу крана, суммарная стоимость оборудования портального крана новой телескопической стрелой (машиной непрерывного действия) составит не более 80 % от полной стоимости данной машины.

В зависимости от поставленных задач, новая судопогрузочная машина может иметь следующие варианты исполнения:

- 1) на базе имеющихся в порту портального крана и мобильного телескопического конвейера с демонтированным опорно-ходовым устройством;
- 2) на базе имеющегося в порту портального крана и приобретенной новой телескопической стрелы мобильного телескопического конвейера;
- 3) на базе имеющегося в порту портального крана и приобретенной новой телескопической стрелы мобильной СПМ (аналог мобильного телескопического конвейера с большей производительностью);
- 4) в полностью заводском исполнении на базе нового портального крана и новой телескопической стрелы мобильной СПМ.

Сравнение стоимостных показателей судопогрузочных машин в различных вариациях их применения на причале выполнено в табл. 3.

Таблица 3

Затраты на оборудование МГФ машинами непрерывного действия

| Применяемое технологическое оборудование | Потребность в дополнительных работах | Общая стоимость, млн руб. (с НДС) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <i>Модернизация существующего терминала с порталными кранами</i> | | |
| 1. Портальный кран (базовый вариант) | – | 0 |
| 2. Мобильный телескопический конвейер ($Q \approx 1000$ т/ч, $L = 45$ м) | Доставка машины на объект. Пусконаладочные работы | Около 45,0 |
| 3. Судопогрузочная машина на базе существующего порталного крана ($R_{\max} = 31,5$ м) и стрелы мобильного телескопического конвейера ($Q \approx 1000$ т/ч, $L = 45$ м) | Изготовление крепления стрелы к металлоконструкции портала. Монтаж конвейера к portalу. Пусконаладочные работы | $\approx 15\%$ от стоимости мобильного конвейера |
| <i>Итого:</i> | | $\approx 6,75$ |
| 4. Судопогрузочная машина на базе существующего порталного крана ($R_{\max} = 31,5$ м) и новой стрелы мобильного телескопического конвейера ($Q \approx 1000$ т/ч, $L = 45$ м) | Изготовление крепления стрелы к металлоконструкции портала. Монтаж стрелы к portalу крана | $\approx 15\%$ стоимости мобильного конвейера |
| | Покупка новой телескопической стрелы. Доставка стрелы на объект. Пусконаладочные работы | $\approx 65\%$ от стоимости нового мобильного конвейера |
| <i>Итого:</i> | | $\approx 36,0$ |
| 5. Новая мобильная СПМ (аналог мобильного телескопического конвейера с большей производительностью) | Возможное усиление конструкции существующего причала. Доставка новой СПМ на объект. Монтаж новой СПМ на причале. Пусконаладочные работы | Около 153,5 |
| 6. Судопогрузочная машина на базе существующего порталного крана и новой телескопической стрелы мобильной СПМ | Изготовление крепления стрелы к металлоконструкции портала. Монтаж стрелы к portalу крана. Возможное усиление металлоконструкции портала | $\approx 15\%$ от стоимости новой мобильной СПМ |
| | Покупка новой телескопической стрелы. Доставка стрелы на объект. Пусконаладочные работы | $\approx 65\%$ от стоимости новой мобильной СПМ |
| <i>Итого:</i> | | $\approx 115,0$ |
| 7. Новая координатная судопогрузочная машина | Демонтаж существующих порталных кранов. Усиление конструкции существующего причала. Доставка новой СПМ на объект. Монтаж новой СПМ на причале. Пусконаладочные работы | Около 710,0 |

Таблица 3
 (Окончание)

| <i>Строительство нового терминала по перевалке сыпучих грузов</i> | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1. Новый порталный кран | Доставка машины на объект. Монтаж машины на причале. Пуско-наладочные работы | Около 550,0 |
| 2. Новая мобильная СПМ (аналог мобильного телескопического конвейера с большей производительностью) | Доставка машины на объект. Монтаж машины на причале. Пусконаладочные работы | Около 153,5 |
| 3. Новая судопогрузочная машина на базе нового порталного крана и новой телескопической стрелы мобильной СПМ | Доставка новой СПМ на объект. Монтаж новой СПМ на причале. Пусконаладочные работы | Около 550,0 |
| | | ≈ 70 % от стоимости новой мобильной СПМ |
| <i>Итого:</i> | | ≈ 655,0 |
| 4. Новая координатная судопогрузочная машина | Доставка машины на объект. Монтаж машины на причале. Пусконаладочные работы | Около 710,0 |

Выполненный анализ показал, что в настоящее время создание предложенной судопогрузочной машины является наиболее доступным способом перехода от грейферных порталных кранов (машин циклического действия) к современным машинам непрерывного действия, ввиду следующих причин:

Реализация данного технического решения в существующих портах потребует меньших вложений средств по сравнению с приобретением новых судопогрузочных машин.

Заводское исполнение предложенной судопогрузочной машины на базе нового порталного крана и телескопической стрелы также будет иметь меньшую стоимость в сравнении с новой координатной судопогрузочной машиной, при этом не будет существенно уступать ей в производительности.

Вместе с тем наибольший экономический эффект применения предлагаемой судопогрузочной машины в заводском исполнении может быть достигнут в портах с экспортно-импортным грузопотоком. В этом случае возможность данной машины осуществлять попеременную работу по погрузке и разгрузке судов позволит сократить затраты вдвое за счет отсутствия необходимости одновременного приобретения судопогрузочной и судоразгрузочной машин в независимом исполнении.

Заключение (Conclusion)

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что предложенный способ создания новой судопогрузочной машины на базе порталного крана позволяет получить следующие основные преимущества.

1. Повысить экологичность погрузки судов порталными кранами на причале путем применения машины непрерывного действия с телескопическим разгрузочным устройством, снижающим скорость падения материала в трюм, а также за счет отказа от применения грейферов при перевалке сыпучих грузов.

2. Сохранить универсальность порта за счет создания нового типа унифицированной машины, одновременно сочетающую в себе возможности судопогрузочной и судоразгрузочной машин с возможностью обработки, как упакованных в тару, так и переваливаемых навалом грузов.

3. Увеличить интенсивность погрузки грузовых судов порталными кранами более чем в 1,5 раза за счет их переоборудования в высокопроизводительные судопогрузочные машины непрерывного действия.

4. Повысить доступность внедрения машин непрерывного действия на МГФ существующих портов с применением стрелы мобильного телескопического конвейера для переоборудования портального крана, сократив стоимость подобных машин в 3 раза по сравнению со стоимостью приобретения новой мобильной СПМ и в 18 раз по сравнению с координатной СПМ.

5. Сократить стоимость внедрения машин непрерывного действия на МГФ существующих портов с применением стрелы мобильной СПМ в 1,2 раза по сравнению с покупкой мобильной СПМ и в 5 раз по сравнению с координатной СПМ.

6. Оптимизировать процессы доставки и монтажа за счет возможности транспортировки телескопической стрелы в порт автотранспортом в контейнере, а также возможности сборки предлагаемой конструкции при помощи имеющихся в порту портальных кранов без привлечения дополнительных грузоподъемных машин, например, автокранов.

7. Применять модернизированный портальный кран на выносных «узких» пирсах, что ранее было невозможным ввиду работы грейфером через прикормонный склад, а также для формирования штабелей сыпучих грузов при использовании транспортно-конвейерной системы на терминале.

Основным недостатком предлагаемого технического решения является высота установки стрелы над уровнем причала. В некоторых случаях это может создавать трудности при загрузке судов с большой высотой надводного борта. Следовательно, наихудшим техническим условием работы данной судопогрузочной машины является период высокого уровня воды в совокупности с относительно невысокой проектной отметкой кордона причала. Вместе с тем указанный недостаток нивелируется возможностью подхода судов к причалу в балласте независимо от уровня моря в момент швартовки судна.

Учитывая наличие данного недостатка, применение машины будет наиболее оправдано в портах с высокой отметкой кордона (например, расположенных на приливных морях), а также портах, отгружающих сыпучие грузы в небольшие суда и баржи для последующей транспортировки грузов в условиях малого каботажа или перегрузки на рейде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Philipp R.* Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations / R. Philipp, G. Prause, E. O. Olaniyi, F. Lemke // *Environmental and Climate Technologies*. — 2021. — Vol. 25. — Is. 1. — Pp. 650–665. DOI: 10.2478/rtuct-2021-0049. — EDN ZMPOYD.

2. *Мурадова З. П.* Анализ тенденций и особенностей развития морских портов в Российской Федерации / З. П. Мурадова, А. Б. Абакарова // *Вестник университета*. — 2021. — № 8. — С. 74–80. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-8-74-80. — EDN NTALEI.

3. *Майорова Л. П.* Моделирование распространения взвеси угольной пыли при хранении и погрузочно-разгрузочных работах в портах (на примере порта Ванино) / Л. П. Майорова, А. И. Лукьянов, Е. В. Дахова // *Инновации и инвестиции*. — 2021. — № 7. — С. 89–94. — EDN URYDGE.

4. *Васина Д.* Решение экологических проблем открытых угольных терминалов Владивостока / Д. Васина, И. Рапопорт, И. Тесленко // *International journal of Professional Science*. — 2021. — № 6. — С. 27–36. — EDN LCGRFS.

5. *Кузнецов А. Л.* Морские перевозки угля / А. Л. Кузнецов, Н. В. Купцов, А. В. Кириченко, О. В. Соляков. — М.: ООО «МОРКНИГА», 2023. — 228 с. — EDN ABIOVK.

6. *Отделкин Н. С.* Влияние технологических операций перегрузки сыпучих грузов грейфером на потери от пылеобразования / Н. С. Отделкин, Е. И. Адамов // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2022. — № 2(103). — С. 39–44. DOI: 10.34046/aumsuomt103/10. — EDN RSPLCF.

7. *Липина С. А.* Анализ соответствия информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям в странах ЕС и России / С. А. Липина, А. Е. Закондырин, П. Ю. Ламов // *Московский экономический журнал*. — 2020. — № 12. — С. 398–407. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-102-114. — EDN YHPIUX.

8. *Ежов Ю. Е.* Повышение эффективности борьбы с угольной пылью за счет проведения комплексных мероприятий на примере Мурманского морского торгового порта / Ю. Е. Ежов, В. А. Сидоренко, Д. А. Филиппова // *Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, 16–25 сентября 2019 года*. — Т. 1. — СПб.: Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2019. — С. 181–193. — EDN YONEKG.

9. Мазуренко О. И. Дискретно-событийное моделирование морского грузового фронта экспортного угольного терминала в среде Anylogic / О. И. Мазуренко, И. А. Русинов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2022. — № 2. — С. 102–114. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-102-114. — EDN VJTUYJ.

10. Казбагаров Р. А. Оптимизация транспортно-логистических процессов погрузочно-разгрузочного комплекса морского грузового терминала для навалочных грузов / Р. А. Казбагаров // Yessenov science journal. — 2024. — № 2 (47). — С. 146–152. DOI: 10.56525/VPYL7697.

REFERENCES

1. Philipp, R., G. Prause, E. O. Olaniyi and F. Lemke. “Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations.” *Environmental and Climate Technologies* 25.1 (2021): 650–665. DOI: 10.2478/rtuect-2021-0049.

2. Muradova, Z. R. and A. B. Abakarova. “Analysis of trends and features of seaports’ development in the russian federation.” *Vestnik Universiteta* 8 (2021): 74–80. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-8-74-80.

3. Mayorova, L. P., A. I. Luk’yanov and E. V. Dakhova. “Modeling the spread of coal dust suspension during storage and loading and unloading operations in ports (for example, the port of vanino).” *Innovation & Investment* 7 (2021): 89–94.

4. Vasina, D., I. Rapoport and I. Teslenko. “Reshenie ehkologicheskikh problem otkrytykh ugol’nykh terminalov Vladivostoka”. *International journal of Professional Science* 6 (2021): 27–36.

5. Kuznetsov, A. L., N. V. Kuptsov, A. V. Kirichenko and O. V. Solyakov. *Morskije perevozki uglya Moskva: OOO “MORKNIGA”*, 2023: 228.

6. Otdelkin, N. S. and E. I. Adamov. “Impact of technological operations of loading bulk cargo grapple for dust loss.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(103) (2022): 39–44. DOI: 10.34046/aumsuomt103/10.

7. Lipina, S. A., A. E. Zakondyrin and P. Yu. Lamov. “Analysis of compliance of information and technical reference books on the best available technologies in the eu and russia.” *Moscow Economic Journal* 12 (2020): 398–407. DOI: 10.24411/2413–046X-2020-10851.

8. Ezhov, Yu. E., V. A. Sidorenko and D. A. Filippova. “Povyshenie effektivnosti bor’by s ugol’noy pyl’yu za schet provedeniya kompleksnykh meropriyatiy na primere Murmanskogo morskogo trgovogo porta.” *Sbornik nauchnykh statey natsional’noy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel’skogo sostava FG-BOU VO “GUMRF imeni admirala S. O. Makarova”, Sankt-Peterburg, 16 sentyabrya — 25 2019 goda. Tom 1.* Sankt-Peterburg: Federal’noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel’noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, 2019: 181–193.

9. Mazurenko, O. I. and I. A. Rusinov. “Discrete-event simulation of sea cargo front of export coal terminal in anylogic environment.” *Vestnik of Astrakhan state technical university. series: marine engineering and technologies* 2 (2022): 102–114. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-102-114.

10. Kozbagarov, R. A. “Optimization of transport and logistics processes of the loading and unloading complex of the marine cargo terminal”. *Yessenov science journal* 47.2 (2024): 146–152. DOI: 10.56525/VPYL7697.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чихачев Александр Викторович —
 ведущий инженер, аспирант
Научный руководитель:
 Ежов Юрий Евгеньевич
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»
 198035, Россия, Санкт-Петербург, Межевой канал,
 д. 3, корп. 2
 e-mail: Aleksandr.Chihachev@lenmor.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Chihachev, Aleksandr V. —
 Lead Engineer, postgraduate
Supervisor:
 Ezhov, Yurii E.
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
 Russian Federation
 LENMORNIIPROEKT, JSC
 3/2 Mezhevoy kanal, St. Petersburg, 198035,
 Russian Federation
 e-mail: Aleksandr.Chihachev@lenmor.ru

Статья поступила в редакцию 10 марта 2025

Received: Mar. 10, 2025