

## THE INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE HANDLING EQUIPMENT ELEMENTS ON ENVIRONMENTAL SAFETY AND CAPACITY OF THE COAL TERMINAL

I. V. Zub<sup>1</sup>, Yu. E. Ezhov<sup>1</sup>, O. V. Schulga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> – Port Logistics Ltd., Vyborg, Leningrad region, Russian Federation

*The model of the coal terminal as a system is considered and the physical and management-informational communications between the terminal subsystems are shown in the paper. The model analysis have showed that the probability of failure of such elements as the grab and conveyor belt, would cause the termination of the coal terminal operation and affect the environmental and industrial safety, as well as the coal terminal capacity. The solution of problems on the safe production of works is solved by developing the working technological cards and identifying the regularities of emergency situations occurrence. Each emergency situation is assessed and its impact on the overall safety of the coal terminal is identified. Forecasting and modeling of probable emergencies allows us to determine the ways of their solution. The second important aspect of the coal terminal operation is the technical condition of the grab and conveyor belt and their influence on the environment and capacity reduction. Safe operation depends on the quality of repair work, the availability of the technical documentation and the diagnostic tools, technical measures for the handling equipment maintenance. The handling equipment used at the coal terminal is equipped with both rope and hydraulic grabs. The wear of the grab jaws, or hydraulic cylinders, providing opening/closing of the jaws, leads to loose closure of the grab and consequently the spillages formation. The complexity of the defects timely detection lies in the fact that these elements of the handling equipment are difficult to diagnose, in contrast to the rest of the mechanical equipment. The diagnostic tools considered in the literature allow us to identify the longitudinal breaks of the conveyor belt, the transverse breaks are diagnosed, but the obtained data have a low probability.*

*Keywords: coal terminal, grab, conveyor belt, technical condition diagnostics, handling equipment.*

**For citation:**

Zub, Igor V., Yurii E. Ezhov, and Olga V. Shulga. “The influence of the technical condition of the handling equipment elements on environmental safety and capacity of the coal terminal.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 474–484. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-474-484.

**УДК 656.6; 656.073.23**

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ УГОЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА

И. В. Зуб<sup>1</sup>, Ю. Е. Ежов<sup>1</sup>, О. В. Шульга<sup>2</sup>

<sup>1</sup> — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> — ООО «Порт Логистик», г. Выборг, Ленинградская область, Российская Федерация

*Рассмотрена модель угольного терминала как системы, показаны физические и управленческо-информационные связи между подсистемами терминала. Анализ модели показал, что вероятность отказа таких элементов, как грейфер и конвейерная лента, вызовет прекращение функционирования угольного терминала и отразится на экологической и промышленной безопасности, а также пропускной способности угольного терминала. Решение задач по безопасному производству работ реализуется посредством создания рабочих технологических карт и выявления закономерностей возникновения аварийных ситуаций. После оценки каждой аварийной ситуации оценивается и выявляется ее влияние на общий уровень*

безопасности угольного терминала. Прогнозирование и моделирование вероятных аварийных ситуаций позволяют определить пути их решения. Отмечается, что важным аспектом эксплуатации угольного терминала является техническое состояние грейфера и конвейерной ленты, оказывающих влияние на экологию окружающей среды и снижение пропускной способности. Безопасное производство работ зависит от качества проведения ремонтных работ, наличия технической документации и средств диагностики, проведения технических мероприятий по техническому обслуживанию перегрузочного оборудования. Применяемое на угольном терминале перегрузочное оборудование оснащается как канатными грейферами, так и гидрофицированными. Износ «челюстей» грейфера или гидравлических цилиндров, обеспечивающих открытие / закрытие «челюстей», приводит к неплотному закрытию грейфера и, как следствие, к образованию просыпей. Сложность своевременного выявления дефектов заключается в том, что данные элементы перегрузочного оборудования трудно диагностируемые, в отличие от остального механического оборудования. Рассмотренные в библиографических источниках средства диагностирования позволяют выявить продольные разрывы конвейерной ленты, поперечные разрывы диагностируются, но полученные данные имеют низкую вероятность.

*Ключевые слова:* угольный терминал, грейфер, конвейерная лента, диагностика технического состояния, перегрузочное оборудование.

**Для цитирования:**

Зуб И. В. Влияние технического состояния элементов перегрузочного оборудования на экологическую безопасность и пропускную способность угольного терминала / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, О. В. Шульга // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 474–484. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-474-484.

### **Введение (Introduction)**

На угольных терминалах (УТ) уголь хранится на открытых площадках в штабелях. Все виды угля делятся на три группы: антрациты, бурые, каменные. Каждая группа, в свою очередь, подразделяется на классы (марки). При обработке в порту несколько классов (марок) углей каждый класс хранится в отдельных штабелях. Размеры штабеля не ограничиваются, но, как правило, размеры его основания зависят от применяемого в порту перегрузочного оборудования (ПО) и принятой технологии. В зависимости от группы угля устанавливается высота складирования штабеля. Высота штабеля оказывает влияние как на экологическую, так и на пожарную безопасность. Для углей, способных к самовозгоранию и самонагреванию, высота штабеля ограничена до 8 м. Причиной самонагревания и самовозгорания является циркуляция воздуха внутри штабеля. Для ее устранения выполняется укладка угля с его уплотнением, поверхность штабеля засыпают слоем угля мелкой фракции, который впоследствии утрамбовывается. При формировании штабеля внутрь вставляются металлические трубки, в которые опускаются термометры и затем производится контроль температуры. При длительном хранении происходит выветривание угля, понижается его теплотворная способность.

Измельчение угля на более мелкие фракции ведет к снижению его качества, а также к распыливанию частиц угля, что приводит к загрязнению окружающей среды. Угольная пыль размером от 2 до 100 мкм, поднимается и уносится с открытых складов потоком воздуха. Количество пыли, поднимающейся в воздух во время проведения работ, зависит от физических характеристик угля. Угольная пыль уносится со складов следующим образом:

- воздушным потоком, когда уголь ссыпают в штабель сверху ленточным конвейером;
- ветром с поверхности штабеля при хранении угля;
- во время погрузочно-разгрузочных работ, а именно: поднятия-опускания угля грейфером и его переноса с места хранения на транспортное средство и обратно;
- при перегрузке угля стакером-реклаймером;
- во время передвижения работников и погрузочной техники по уголю.

Работоспособность ПО и применение защитных технических средств обеспечивают защиту окружающей среды от негативного воздействия угольной пыли. Для обеспечения работоспособности ПО проводится его диагностика, что позволяет снизить не только негативное воздействие на внешнюю среду, но и простои транспортных средств (ТС) под обработкой.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

В работе использованы методы анализа библиографических источников и методы моделирования. УТ представляет сложную техническую систему, от работоспособности каждого элемента которой зависит как экологическая и промышленная безопасность, так и пропускная способность (ПС). Технология перегрузочных работ зависит от имеющегося ПО.

При принятии технологических решений необходимо учитывать следующие целевые показатели:

– увеличение ПС:

$$ПС \rightarrow \max; \quad (1)$$

– уменьшении негативного воздействия на экологическую безопасность (ЭБ):

$$ЭБ \rightarrow \min. \quad (2)$$

Решения, при которых соблюдаются целевые условия (1) и (2):

- хранение угля в крытых складах;
- погрузка и хранение угля в контейнерах.

Для соблюдения условия (1) требуются затраты на строительство крытого склада, что приведет к уменьшению объема склада, так как у многих УТ имеется ограничение по площади ( $S_{УТ}$ ):

$$S_{УТ} \rightarrow \text{const}. \quad (3)$$

При этом целевая функция (1) не будет выполняться.

Для соблюдения условия (2) предлагается использование как мягких контейнеров (биг-беги) [1], так и контейнера с крышками [2], предотвращающими пыление угля во время транспортировки. При этом выгрузку можно выполнять следующим образом: снять контейнер с платформы, опустить в трюм и открыв люки, выгрузить уголь. В этом случае порталый кран должен быть соответствующей грузоподъемности, и, кроме того, при использовании на причале судопогрузочной машины этот вариант погрузки судна исключен. При хранении угля предлагается [3] укрывать его специальной сеткой, а для определения пылеуноса разработать модель с использованием коэффициентов подобия, но при этом учитывать технологию погрузочно-разгрузочных работ (ПРР). Наиболее распространенной технологией перегрузки угля принят вариант работы с применением грейферных кранов и перегружателей. При этом способе перегрузки потери груза от просыпи составляют 1,0 ... 2,3 % от грузооборота, а с учетом пылеобразования могут достигать 3 ... 5 %. Источником пыления при данной технологии является грейфер [4]–[6], при использовании специального бункера снижается пыление угля [6].

Для исследования приемлемого технологического решения, при котором будут соблюдены все целевые функции с учетом имеющегося ограничения, применяется имитационное моделирование. На УТ имитационное моделирование затруднено, поскольку прибытие ТС имеет стохастический характер.

Имитационное моделирование УТ выполняется в указанной последовательности:

- декомпозиция технологической линии на отдельные элементы;
- формирование гипотезы относительно работы терминала;
- формализация технологических процессов.

Анализ работы терминала по перевалке угля показал, что УТ является сложной производственной системой, связь в которой осуществляют технические (*Th*), технологические (*Tech*), организационные (*Org*), информационные (*Inf*) и логистические (*Log*) подсистемы, которые, в свою очередь, можно рассматривать как отдельные системы:

$$УТ_{\text{пр}} = \{Th, Tech, Org, Inf, Log\}. \quad (4)$$

Системные элементы (подсистемы) УТ должны обеспечить не только своевременную отгрузку ТС, но также промышленную и экологическую безопасность терминала.

Рассмотрим УТ как функциональную систему, обеспечивающую хранение, перегрузку угля и обработку ТС:

$$УТ_{\text{функ}} = \{УС, Th, ТС\}, \quad (5)$$

где УС — угольный склад, состоящий из отдельных штабелей.

Объединив производственную (4) и функциональную (5) модели систем, получим полную системную модель УТ:

$$УТ = УТ_{\text{пр}} \cup УТ_{\text{функ}} = \{Th, Tech, Org, Inf, Log, УС, ТС\}. \quad (6)$$

Для определения связующих звеньев между элементами системы рассмотрим структуру модели (6).

Из оргграфа (см. рис. 1) видно, что при нарушении физических связей: *перегрузочное оборудование* → *транспортное средство* → *угольный склад*, УТ остановит основной вид деятельности — обработку ТС. На рис. 1 сплошной линией обозначены физические связи между подсистемами УТ, пунктирной линией — управляющие и информационные связи.



Рис. 1. Оргграф модели угольного терминала

Физические связи подсистем: ПО → ТС → УС (рис. 2) осуществляются посредством ПО, оснащенного грейфером, который является звеном, осуществляющим передачу груза, и конвейером, также передающим обрабатываемый груз в штабель и к ПО. Уголь на склад может подаваться через конвейерную ленту или через бункер, а на транспортное средство – через бункер или грейфером. Функционирование и безопасная эксплуатация УТ зависят от работоспособности парка ПО и его элементов, имеющих непосредственное соприкосновение с обрабатываемым грузом: грейфером и конвейерной лентой.

Решение задачи по обеспечению безопасного производства (БП) погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) базируется на разработке рабочих технологических карт (РТК), методики выявления закономерностей возникновения аварийных ситуаций и оценке их влияния на общий уровень безопасности УТ. Прогнозирование и моделирование вероятных аварийных ситуаций позволяют определить пути их решения. Такие превентивные меры позволят сотруднику при возникновении таких ситуаций действовать уверенно, минимизируя возможные отрицательные последствия. Для моделирования ситуаций введем следующие обозначения:

$S = (S_1, \dots, S_n)$  — банк вероятных ситуаций;  
 $f(x/S_i)$  — плотность вероятности описания  $x$  ситуации, при условии, что описание принадлежит к ситуации  $S_i$ ;  
 $z_1, z_2, \dots, z_n$  — вероятность возникновения ситуации, где  $\sum z = 1, z > 0$ .  
 $D_d = (D_1, \dots, D_m)$  — множество решений возникших ситуаций, где пространство решений  $D$  состоит из  $m + 1$  возможных решений. Для определения предпочтительного решения определяют решающее правило  $\lambda(x)$ , которое может быть представлено как распределение вероятностей на пространстве решений  $D$  [7].

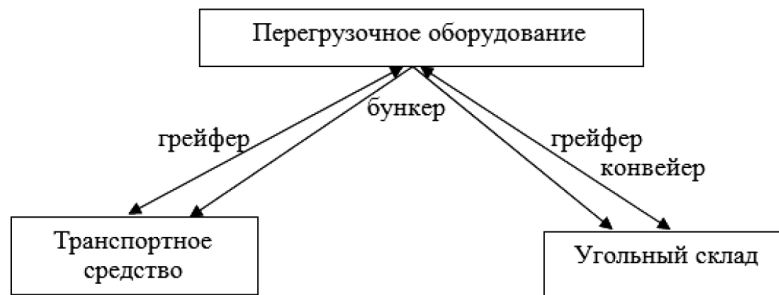


Рис. 2. Связь подсистем: ПО → ТС → УС

Сложность исследования и решения проблем экологической и промышленной безопасности (ПБ) заключается в том, что ее непосредственное измерение невозможно. Безопасная и эффективная работа  $УТ$  зависит от применяемого ПО и его технического состояния, технологических процессов, наличия технологической документации (ТехД), своевременного и качественного выполнения ремонтных работ (РР) ПО, проведения организационных мероприятий (ОМ):

$$БП = f(ПО, \text{ТехД}, РР, ОМ). \quad (7)$$

С целью формализации технологических процессов введем следующие обозначения:  
 $t$  — модельное время для суточного периода моделирования, представленное целочисленной переменной со значениями от 0 до 1080 (поминутная дискретизация);

$V$  — количество угла на терминале (емкость УТ);

$G$  — группа угля: антрациты (А), бурые (Б), каменные (К).

$M = \{m_1, \dots, m_k\}$  — марка угля;

$N$  — количество единиц перегрузочного оборудования;

$B(t) = \{b_1(t), \dots, b_k(t)\}$  — вектор состояний перегрузочного оборудования в момент  $t$ .

Состояние  $b_j$  описывается переменной со значениями: 0 — ожидание, 1 — занятость, -1 — неисправность. При моделировании и декомпозиции ПО поиск неисправности, а следовательно, и время простоя в ремонте сокращаются [8].

$X\{x_1(t), \dots, x_v(t)\}$  — вектор состояний угольного штабеля в момент  $t$ .

Состояние  $x_i(t)$  описывается в виде набора переменных:

$$x_i(t) = \{v_i, \zeta_i, \pi_i, j_i, \mu_i, \tau_i(t), \alpha_i, \omega_i, \lambda, h\}. \quad (8)$$

Здесь  $v_i$  — объем грейфера;

$\zeta_i$  — объем ТС находящегося под обработкой;

$j_i$  — производительность ПО, обслуживающего  $i$ -е ТС;

$\pi_i$  — наличие средств пылеподавления при обработке ТС;

$\mu_i$  — физическое состояние угля в штабеле;

$\tau_i(t)$  — длительность обработки ТС;

$\alpha_i$  — высота подъема;

$\omega_i$  — нормативная длительность обработки  $i$ -го ТС;

$\lambda$  — высота угольного штабеля;

$h$  — высота подъема грейфера.

## Результаты (Results)

При перегрузке угля для уменьшения пыления стремятся к уменьшению высоты сбрасывания и числа перевалок угля. Достичь этого можно используя на терминале современное ПО и технологии формирования штабеля и обработки ТС. Большинство УТ используют грейферные порталные и козловые краны и перегружатели оснащенные грейфером. На специализированных современных терминалах используются судопогрузочные машины, штабель формируется стакером-реклаймером. Не все терминалы могут позволить себе техническое перевооружение, которое требует больших капитальных вложений и занимает длительный период времени. В связи с этим ведутся поиски экологически безопасных технологий обработки угля. На экологическую безопасность УТ оказывают влияние не только используемая технология и ПО, но и техническое состояние ПО.

В работе [9] предлагается использовать грейферы большой вместимости, что влечет за собой замену кранов. Использование грейфера с большим объемом уменьшит количество циклов при погрузке и, следовательно, уменьшится пылеобразование как от грузовых операций, так и от ветрового воздействия на верхний слой штабеля, который будет уменьшаться при загрузке судна. При этом предлагается использовать специальный бункер, а грейфер разгружать внутри бункера. Для предотвращения пыления при загрузке судна предлагается использовать защитный быстросъемный сетчатый экран, которым закрывается пространство от трюма судна до стрелы грейферно-бункерного перегружателя [10]. Однако, если возникнет необходимость проводить грузовые операции без бункера, то грейфер увеличенного объема не сможет разгружать полувагоны, а при их загрузке будет много просыпей. При этом такой вариант требует капитальных вложений на техническое перевооружение. Наиболее экономичным способом борьбы с пылью является орошение [11], однако этот способ применим только при положительных температурах воздуха.

Технология перегрузки угля должна обеспечивать скорость ПРР. Для этого требуется, чтобы ПО было в исправном или работоспособном состоянии. При использовании грейферных кранов определены методы потерь посредством пылеуноса [6], [10], [12], но не рассмотрено влияние на просыпи и пылеунос технического состояния грейфера, от которого зависит пыление груза и скорость обработки ТС, данный вопрос в научной литературе не рассматривался. Для уменьшения пыления на грейфер устанавливали специальные распылители воды или поверхностно-активных веществ, которые образуют микроскопическую жидкую пленку, которая увеличивает адгезионные свойства угольной пыли и кусков угля, однако этот способ эффективен только при положительных температурах. В зимний период используют снежные пушки.

На УТ используют два вида грейферов: устанавливаемые на порталные краны (канатного типа) и устанавливаемые на перегружатели с гидравлическим приводом. Перегружатели получили широкое распространение при обработке вагонов и небольших судов. В работе [13] указывается на необходимость точного взвешивания угля при погрузке вагонов и предлагается специальное взвешивающее устройство, встроенное в бункер, через который осуществляется загрузка вагона. При использовании перегружателя использование бункера не обязательно, так как взвешивающее устройство можно установить между стрелой и грейфером и на специальном устройстве будет отражаться вес каждого подъема. Наличие такого устройства на перегружателе позволит сократить время технологических операций по обработке ТС, так как не нужно будет перемещать бункер с загруженного вагона на пустой.

Техническое состояние грейфера канатного типа зависит от степени износа «челюстей» и их закрытия. В основном при перегрузке угля используются двухчелюстные грейферы, но на перегружателях могут устанавливаться и многолепестковые грейферы. В последнем случае их работоспособность зависит не только от степени износа, но и от работы гидравлической системы, а также настройки синхронизации работы лепестков, которые при закрытии должны сойтись в одной точке.

На УТ используются конвейеры, имеющие большую протяженность. При обрыве конвейерной ленты происходит не только просыпание угля, но и прекращение (остановка) ПРР. Причины отказов контейнеров:

- дисбаланс электродвигателя и барабана;
- расцентровка валопроводов: *электродвигатель – редуктор и редуктор – барабан*;
- дефекты элементов соединительных муфт;
- ослабление посадки подшипников;
- дефекты зубчатых передач в редукторе (перекос осей, питтинг, выкрашивание, трещины и т. д.);
- дефекты подшипников (увеличенные зазоры, дефекты тел качения, дефекты сепаратора и смазки);
- дефекты крепления к фундаменту.

Все указанные дефекты оказывают косвенное влияние на работоспособность конвейерной ленты и ее обрыв из-за возникающей вибрации механического оборудования конвейера. Данные дефекты диагностируются *методами вибродиагностики* [14], что позволяет на ранней стадии возникновения дефекта выполнить ремонтные работы по замене или восстановлению дефектного узла или механизма. С помощью вибродиагностики распознаются и обрывы конвейерной ленты. Считывание частоты собственных колебаний конвейерной ленты позволяет обнаружить возникшие дефекты: продольный и поперечный разрывы, износ [15].

Вибрация конвейерной ленты, возникающая в процессе эксплуатации конвейера, оказывает отрицательное влияние на рабочие процессы конвейера и его элементы, которые возникают по ряду причин технологического и эксплуатационного характера. Кроме вибрации, конвейерная лента подвержена также колебательным движениям [16], которые вызваны различными причинами. Однако при использовании вибрационного устройства при помощи вибрации конвейерную ленту можно очистить от налипшего груза [17], что увеличивает ее срок службы и предохраняет от обрывов. Обрыв конвейерной ленты — один из наиболее часто встречающихся дефектов.

Причинами, вызывающими дефекты конвейерной ленты, могут быть:

- плотность и размер фракции угля;
- качество соединения конвейерной ленты;
- изменение геометрии става (деформация);
- несоответствие характеристик конвейерной ленты условиям эксплуатации (нагрузка, температура, скорость движения и др.);
- ударные нагрузки на перегрузочных пунктах;
- износ или заклинивание подшипников роликов и ведомого барабана.

Такие параметры, как плотность и фракционность угля, подлежат контролю, так как увеличение плотности и фракционности приводит к ударным нагрузкам на перегрузочных пунктах. Указанные дефекты, кроме абразивного износа, устраняются в процессе проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту.

### Обсуждение (Discussion)

Работа конвейера может быть полностью автоматизирована и управляться компьютерной системой, что позволяет повысить надежность работы и увеличить пропускную способность [18], [19]. Дефекты механического оборудования диагностируются и прогнозируются, что позволяет применять превентивные меры, а дефекты конвейерной ленты на большинстве УТ могут распознаваться только визуальным методом. Австрийской фирмой Littl Ripper создано сканирующее устройство, которое состоит из трех колес, находящихся в постоянном контакте с нерабочей поверхностью конвейерной ленты, и в непрерывном режиме работы осуществляет контроль за образованием разрывов. Среднее колесо снабжено ультразвуковым датчиком, на двух других установлены приемники ультразвуковых сигналов. Все колеса соединены с узлом контроля. От среднего колеса подается сигнал. При целостности ленты ультразвуковой сигнал передается на движущуюся ленту и считывается приемниками двух других колес. При изменении внутренней структуры ленты прохождение ультразвука через такую ленту затруднено. Если звуковой сигнал снижается в течение короткого промежутка времени, то происходит остановка конвейера и подается звуковой сигнал [20].

Поперечный разрыв ленты возможен при использовании лент специальной конструкции, в которых имеются проводниковые петли, вставленные в ленту при производстве. С данных проводниковых петель информация считывается специальными сканерами [21]. При использовании резинотросовых лент помимо визуального контроля используется метод неразрушающего контроля — применение вихретоковых дефектоскопов позволяет выявить локальные дефекты конвейерной ленты [22], которые можно устранить. От срока службы конвейерной ленты зависят затраты на эксплуатацию конвейерной линии, и как следствие, это обстоятельство оказывает влияние на экономическую составляющую УТ.

Еще одним элементов ПО являются бункеры. Бункеры на УТ устанавливаются на сопряженных участках технологической линии, где машины работают в разных режимах — конвейер как машина, работающая непрерывно, а грейферный перегружатель, работающий как машина циклического действия. Основными дефектами бункерных устройств являются повреждения металлоконструкций и разрыв сварных швов. Причины вызывающий данные дефекты — ударный нагрузки от падения перерабатываемого груза и при ударах грейфером при загрузке бункера. Еще одним дефектом, оказывающим влияние на скорость обработки ТС, является сводообразование «залипание» угля в бункере, в результате чего прекращается подача угля на конвейерную ленту или на ТС. Основными причинами сводообразования являются крупные фракции и повышенная влажность угля.

### Заключение (Conclusion)

В статье описана модель УТ и выявлены слабые звенья, от работоспособности которых зависят его функционирование и безопасная эксплуатация. Полученные результаты показывают, что кроме технических средств защиты от пыления на экологию также оказывает влияние и техническое состояние элементов ПО, имеющих непосредственный контакт с углем (грейфер, конвейерная лента, бункер). Дефекты механического оборудования ПО диагностируются различными способами. Современные информационные технологии способны передавать параметры работы механизмов на удаленные серверы. Сложнее обстоит ситуация с диагностированием грейфера, так как дистанционно грузозахватные органы не диагностируются. Выявление дефектов, в основном износ пар трения, выполняется только визуально.

Описанные диагностические методы [14], [15], [20]–[22] конвейерных лент не обладают достаточной точностью, в некоторых случаях необходимо проводить дополнительные расчеты для определения дефекта. Кроме состояния конвейерной ленты необходимо контролировать величину износа обкладок, правильность выбора ее рабочей стороны, состояние стыков, прямолинейность и симметричность расположения ленты на роликах. Для обеспечения непрерывного контроля конвейерных лент необходимо изменять технологию их изготовления — встраивать в них специальные ответные элементы, отражающие сигнал от лазерных или ультразвуковых модулей, посылающих и считывающих ответный сигнал.

Бункерные устройства должны иметь постоянный визуальный контроль, при обработке угля необходимо следить за его фракционным составом и влажностью, что позволит предотвратить сводообразование и снижение пропускной способности.

Осуществление своевременного контроля, а также проведение организационно-технических мероприятий позволят продлить срок эксплуатации элементов перегрузочного оборудования и сохранить показатели пропускной способности терминала на заданном уровне.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демченко И. И. Технология погрузки угля в специализированные контейнеры на углепогрузочном комплексе / И. И. Демченко, В. А. Ковалев, А. О. Муленкова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2014. — № 8. — С. 9–13.
2. Гончарук С. М. Проблемы негативного влияния на экологию окружающей среды экспорта угля и пути их ликвидации / С. М. Гончарук, Е. А. Дроздов, В. А. Крапивный // Проектирование развития региональной сети железных дорог. — 2017. — № 5. — С. 188–191.



3. *Костюничев Д. Н.* Обоснование параметров портовых открытых складов для сыпучих грузов с учетом их потерь от пылеуноса: дис. ... канд. техн. наук / Д. Н. Костюничев. — Н. Новгород, 2008. — 21 с.
4. *Отделкин Н. С.* Оценка потерь сыпучих грузов при обработке транспортных средств грейферными кранами / Н. С. Отделкин, Е. И. Адамов // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — № 3. — С. 146а–149.
5. *Отделкин Н. С.* Теоретические основы оценки потерь сыпучих грузов и защиты окружающей среды от пылеобразования при перегрузке и хранении в портах: дис. ... д-ра техн. наук / Н. С. Отделкин. — Н. Новгород, 2009. — 40 с.
6. *Степанов А. Л.* Создание технологических транспортных процессов с учетом экологических требований: дис. ... д-ра техн. наук / А. Л. Степанов. — СПб., 1993. — 55 с.
7. *Зуб И. В.* Контейнерный терминал как объект управления охраной труда и промышленной безопасностью / И. В. Зуб // Высокие технологии, фундаментальные исследования, экономика: сб. ст. 13-й Международной науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — Т. 1. — С. 288–292.
8. *Sokolov S.* The Simulation Model as a Tool for Diagnostics of Operation Equipment / S. Sokolov, A. Nyrkov, S. Chernyil, Y. Ezhov, I. Zub // Journal of Engineering Science & Technology Review. — 2016. — Vol. 9. — Is. 5. — Pp. 176–181.
9. *Адамов Е. И.* Совершенствование методов определения и снижения потерь от пылеобразования при перегрузке сыпучих грузов грейферными кранами и перегружателями: автореф. канд. техн. наук / Е. И. Адамов. — Н. Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2010. — 23 с.
10. *Сикарев С. Н.* Повышение сохранности сыпучих грузов путем снижения потерь от пылеуноса при загрузке (разгрузке) судов в портах: дис. ... канд. техн. наук / С. Н. Сикарев. — Н. Новгород, 2008. — 21 с.
11. *Балабас Л. Х.* Оценка системы эффективной борьбы с пылью орошением посредством применения туманообразующих завес / Л. Х. Балабас, Г. К. Сапарова, В. В. Триков // Труды университета. — 2016. — № 2 (63). — С. 55–57.
12. *Адамов Е. И.* Метод оценки потерь сыпучих грузов при грузовой обработке грейферными кранами / Е. И. Адамов, Н. П. Гладков, В. Е. Тяжелов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2015. — № 45. — С. 109–112.
13. *Акашев А.З.* Совершенствование технологической схемы погрузки угля в железнодорожные вагоны / А. З. Акашев [и др.] // Наука и мир. — 2014. — Т. 1. — № 5 (9). — С. 81–83.
14. *Герике Б. Л.* Распознавание эксплуатационных дефектов ленточных конвейеров методами вибродиагностики / Б. Л. Герике, П. Б. Герике // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № S10. — С. 77–83.
15. *Кожушко Г. Г.* Определение характеристик повреждений конвейерной ленты (вторая задача вибродиагностики) / Г. Г. Кожушко, Д. Ю. Семёнов, Д. А. Ямпольский // Известия Уральского государственного горного университета. — 2000. — № 9. — С. 143–150.
16. *Терезюк П. С.* Влияние колебания ленты конвейера на ее техническое состояние / П.С. Терезюк // Universum: Технические науки. — 2014. — № 8 (9). — С. 1.
17. *Захаров А. Ю.* Вибрация ленты и рабочие процессы конвейера / А. Ю. Захаров, Н. В. Ерофеева // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2015. — № 6 (112). — С. 78–83.
18. *Каширских В. Г.* Компьютерная система управления конвейерной линией / В.Г. Каширских, А. Е. Медведев // Вестник Кузбасского горного университета. — 2005. — № 6 (51). — С. 51–55.
19. *Зуб И. В.* Моделирование функционирования транспортного терминала вложенными сетями Петри / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 41–48. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48/.
20. *Папоян Р. Л.* Технические усовершенствования на конвейерном транспорте / Р. Л. Папоян // Научный вестник Московского государственного горного университета. — 2011. — № 12. — С. 59–66.
21. *Черемушкина М. С.* Построение системы диагностики конвейерного транспорта / М. С. Черемушкина, В. А. Соловьёв // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2010. — № 3-3. — С. 202–207.
22. *Волоховский В. Ю.* Оценка показателей надежности резиновых конвейерных лент по результатам неразрушающего контроля / В. Ю. Волоховский [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № S16. — С. 54–77.

## REFERENCES

1. Demchenko, I. I., V. A. Kovalev, and A. O. Mulenkova. "Technology of loading coal in specialized containers on a coal-loading complex." *News of the Higher Institutions. Mining Journal* 8 (2014): 9–13.
2. Goncharuk, S. M., E. A. Drozdov, and V. A. Krapivny. "Problems of the negative impact on the ecology of the environment of exports of coal and ways to eliminate them." *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznikh dorog* 5 (2017): 188–191.
3. Kostyunichev, D. N. Obosnovanie parametrov portovykh otkrytykh skladov dlya sypuchikh gruzov s uchedom ikh poter' ot pyleunosa. Abstract of PhD diss. Nizhnii Novgorod, 2008.
4. Otdelkin, N.S., and E.I. Adamov. "Method to estimate loss of bulk cargoes when handling with grabbing crane." *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsii* 3 (2011): 146a–149.
5. Otdelkin, N. S. Teoreticheskie osnovy otsenki poter' sypuchikh gruzov i zashchity okruzhayushchei sredy ot pyleobrazovaniya pri peregruzke i khraneni v portakh. Abstract of Dr. diss. Nizhnii Novgorod, 2009.
6. Stepanov, A. L. Sozdanie tekhnologicheskikh transportnykh protsessov s uchedom ekologicheskikh trebovani. Abstract of Dr. diss. SPb., 1993.
7. Zub, I. V. "Konteynernyi terminal kak ob»ekt upravleniya okhranoi truda i promyshlennoi bezopasnost'yu." *Vysokie tekhnologii, fundamental'nye issledovaniya, ekonomika: Sbornik statei 13-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, razrabotka i primeneniye vysokikh tekhnologii v promyshlennosti i ekonomike»*. Vol. 1. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2012. 288–292.
8. Sokolov, S., A. Nyrkov, S. Chernyi, Y. Ezhov, and I. Zub. "The Simulation Model as a Tool for Diagnostics of Operation Equipment." *Journal of Engineering Science & Technology Review* 9.5 (2016): 176–181.
9. Adamov, E. I. Sovershenstvovanie metodov opredeleniya i snizheniya poter' ot pyleobrazovaniya pri peregruzke sypuchikh gruzov greifernymi kranami i peregruzhatel'nyami. Abstract of PhD diss. Nizhnii Novgorod: FGOU VPO VGAVT, 2010.
10. Sikarev, S. N. Povyshenie sokhrannosti sypuchikh gruzov putem snizheniya poter' ot pyleunosa pri zagruzke (razgruzke) sudov v portakh. Abstract of PhD diss. Nizhnii Novgorod, 2008.
11. Balabas, L. Kh., G. K. Saparova, and V. V. Trikov. "Otsenka sistemy effektivnoi bor'by s pyl'yu orosheniem posredstvom primeneniya tumanoobrazuyushchikh zaves." *Trudy universiteta* 2(63) (2016): 55–57.
12. Adamov, E. I., N. P. Gladkov, and V. E. Tyazhelov. "Method of assessment of loss in bulk cargo handling, grapples." *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta* 45 (2015): 109–112.
13. Akashev, A. Z., O. T. Balabayev, T. S. Katiyev, and N. D.-U. Adilova. "Improvement of the technological scheme of the coal filling in railway cars." *Science and world* 1.5(9) (2014): 81–83.
14. Gerike, B. L., and P. B. Gerike. "Raspoznavanie ekspluatatsionnykh defektov lentochnykh konveierov metodami vibrodiagnostiki." *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* S10 (2009): 77–83.
15. Kozhushko, G. G., D. Yu. Semenov, and D. A. Yampol'skii. "Opredelenie kharakteristik povrezhdenii konveiernoi lenty (vtoraya zadacha vibrodiagnostiki)." *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* 9 (2000): 143–150.
16. Terezyuk, Pavel. "Variation effect of a conveyor belt on its technical position." *Universum: Tekhnicheskie nauki* 8(9) (2014): 1.
17. Zaharov, Alexander Yu., and Natalya V. Erofeeva. "Vibration of the belt and workflows of the conveyor." *Vestnik of Kuzbass State Technical University* 6(112) (2015): 78–83.
18. Kashirskikh, V. G., and A. E. Medvedev. "Komp'yuternaya sistema upravleniya konveiernoi liniei." *Vestnik Kuzbasskogo gornogo universiteta* 6(51) (2005): 51–55.
19. Zub, Igor Vasilevich, and Yyri Evgenevich Ezhov. "Modeling of functioning of the transport terminal nested petri nets." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(36) (2016): 41–48. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48.
20. Papoyan, R. L. "Technical improvements on conveyor transport." *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* 12 (2011): 59–66.
21. Cheremushkina, M., and V. Soloviev. "Construction of system of diagnostics of conveyor transport." *Izvestiya Tula State University* 3-3 (2010): 202–207.
22. Volokhovskii, V. Yu., A. N. Vorontsov, V. P. Radin, and M. B. Rudyak. "Otsenka pokazatelei nadezhnosti rezinotrosovykh konveiernykh lent po rezul'tatam nerazrushayushchego kontrolya." *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* S16 (2009): 54–77.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Зуб Игорь Васильевич** —  
кандидат технических наук  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [zubiv@gumrf.ru](mailto:zubiv@gumrf.ru)

**Ежов Юрий Евгеньевич** —  
кандидат технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [ezhovye@gumrf.ru](mailto:ezhovye@gumrf.ru)

**Шульга Ольга Владимировна** —  
специалист по хранению грузов  
ООО «Порт Логистик»  
188800, Российская Федерация, Ленинградская  
область, г. Выборг, ул. Южный Вал, 1  
e-mail: [olga-shulga1996@yandex.ru](mailto:olga-shulga1996@yandex.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zub, Igor V.** —  
PhD  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [zubiv@gumrf.ru](mailto:zubiv@gumrf.ru)

**Ezhov, Yurii E.** —  
PhD, professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [ezhovye@gumrf.ru](mailto:ezhovye@gumrf.ru)

**Shulga, Olga V.** —  
cargo storage specialist  
Port Logistics Ltd.  
1 Yuzhny Val Str., Vyborg, Leningrad region, 188800,  
Russian Federation  
e-mail: [olga-shulga1996@yandex.ru](mailto:olga-shulga1996@yandex.ru)

*Статья поступила в редакцию 21 мая 2019 г.  
Received: May 21, 2019.*