

**В.А. Пенчук /д.т.н./, Н.А. Юрченко**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (Макеевка)

**В.В. Пенчук**

ООО «Дана ЛТД» (Макеевка)

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Вопросы безопасности и ресурса грузоподъемных машин рассматриваются через призму применения цифровых технологий в существующих и перспективных методах управления охраной труда.*

**Ключевые слова:** охрана труда, ресурс грузоподъемных машин, срок службы, рабочее место, крановщик.

### Постановка проблемы

Управление безопасностью и охраной труда осуществляется органами законодательной и исполнительной власти. Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием грузоподъемных машин и безопасной их эксплуатации являются органы Госгортехнадзора. На предприятиях, как правило, задействуют системы управления охраной труда, которая направлена на выполнение государственных нормативных требований охраны труда. В соответствии с ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Общие требования» оценка состояния охраны труда и безопасной эксплуатации и разработка мероприятий по их повышению были и будут актуальными.

### Анализ последних исследований и публикаций

При проектировании грузоподъемных машин принимаются конкретные условия эксплуатации и режимы их нагружения, закладываются начальные количественные значения факторов безопасности и охраны труда. Процессы, происходящие в системе «крановщик – грузоподъемная машина – среда взаимодействия» («Кр – Гм – Св»), разнообразны и многие из них имеют деградиционный характер. Особенно это важно учитывать, так как нормативный срок службы грузоподъемных машин составляет 15...30 лет [1]. После завершения нормативного срока эксплуатации многие владельцы грузоподъемных машин по разным причинам принимают решение о продлении срока их эксплуатации.

Возможность дальнейшей эксплуатации принимается на основе экспертизы специализированной организации, которая детально прове-

ряет состояние металлоконструкций, узлов и деталей грузоподъемной машины. Методики обследования и порядка продления срока службы этих машин базируются в основном на результатах исследований усталостной прочности и долговечности деталей и узлов с учетом времени и режимов их нагружения [2,3].

Проблемы здоровья работников и охраны труда – неотъемлемая часть стратегии многих стран [4,5]. Рассматривая и анализируя факторы, обеспечивающие безопасность эксплуатации грузоподъемных кранов, авторы работы [6] отмечают, что наибольшее влияние имеет человеческий фактор, в частности, оператор крана.

Многие работы посвящены анализу основных причин аварий, случающихся при эксплуатации грузоподъемных кранов [7...9].

Представляет интерес опыт в вопросах охраны труда Великобритании, Германии, Финляндии и США [10].

Еще в 2004 году в Великобритании была принята Стратегия безопасности здоровья на рабочих местах. В Стратегии выделяются следующие направления: развитие партнерства, оказание поддержки работникам в получении преимуществ от эффективного управления охраной труда и безопасностью на рабочих местах; развитие культуры безопасного труда и ответственности за здоровье работников; работа комиссий по охране труда, направленная на снижение травматизма и риска повреждения здоровья на рабочих местах; распространение стратегического видения (установление двухсторонних коммуникаций со всеми заинтересованными сторонами) [11].

### Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является обосно-

вание эффективности применения цифровых технологий в процессах повышения безопасности и ресурса грузоподъемных машин.

### Основной материал исследования

В рамках современной концепции МС ИСО серии 9000 определение, анализ и контроль расходов на качество охраны труда должны быть базовыми элементами системы управления качеством охраны труда на предприятии.

В указанном документе отсутствует системный анализ причин ухудшения технического состояния грузоподъемной машины с учетом условий ее эксплуатации, квалификации и состояния здоровья крановщика.

Впервые системный подход «крановщик – грузоподъемная машина – среда взаимодействия» предложен в работе [12]. На рис. 1 приведена упрощенная модель системы «Кр – Гм – Св», в которой показано взаимодействие факторов, определяющихся состоянием и здоровьем крановщика (Кр), состоянием грузоподъемной машины (Гм) и параметрами и условиями среды взаимодействия (Св).

В указанных связях 1, 2, 3, 4, 5 и 6 возможны следующие процессы: передача информации  $I_i$ , передача энергии  $E_i$  и передача некоторой массы  $m_i$ .

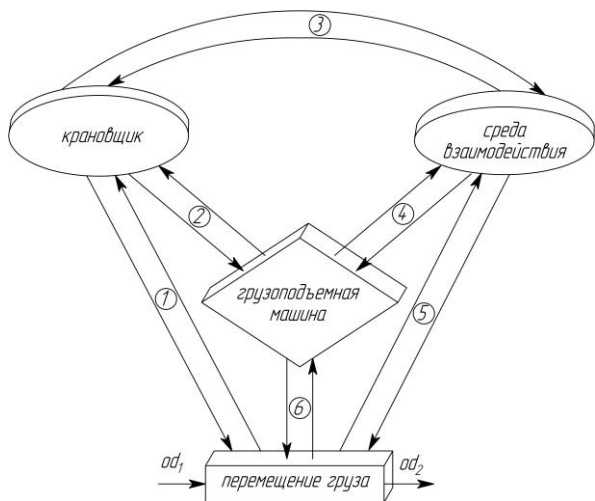


Рис. 1. Взаимосвязи системы «Кр – Гм – Св»:

1 – взаимодействие крановщика с процессом перемещения груза; 2 – взаимодействие крановщика с рычагами управления грузоподъемной машины;

3 – взаимодействие крановщика с окружающей средой; 4 – связи грузоподъемной машины с окружающей средой;

5 – взаимосвязь окружающей среды с процессами перемещения грузов; 6 – реализация функций грузоподъемной машины;

$од_1$  – первоначальное положение груза,  $од_2$  – положение груза после его перемещения

При конкретном анализе необходимо учитывать, что в некоторых связях может отсутствовать тот или иной процесс.

В виде матрицы эти взаимосвязи можно представить следующим образом:

1.  $I_1, E_1, m_1,$
2.  $I_2, E_2, m_2,$
3.  $I_3, E_3, m_3,$
4.  $I_4, E_4, m_4,$
5.  $I_5, E_5, m_5,$
6.  $I_6, E_6, m_6.$  (1)

Анализом можно показать и объяснить наличие конкретных количественных характеристик ( $I, E, m$ ) в каждой из указанных связей. Например, в связи 1 – «крановщик – перемещение груза» имеется визуальная информация о процессе перемещения груза  $I_1 \neq 0$ ; передача энергии от крановщика к процессу перемещения груза отсутствует, поэтому  $E_1 = 0$ , передача массы от крановщика непосредственно процессу перемещения груза также отсутствует, поэтому  $m_1 = 0$ .

Аналогичный анализ можно провести для каждой из шести указанных связей системы «Кр – Гм – Св» и записать:

1.  $I_1 \neq 0, E_1 = 0, m_1 = 0,$
2.  $I_2 \neq 0, E_2 \neq 0, m_2 = 0,$
3.  $I_3 \neq 0, E_3 \neq 0, m_3 \neq 0,$
4.  $I_4 \neq 0, E_4 \neq 0, m_4 \neq 0,$
5.  $I_5 = 0, E_5 = 0, m_5 \neq 0,$
6.  $I_6 \neq 0, E_6 \neq 0, m_6 \neq 0.$  (2)

Как видно из рис. 1 и данных (1) и (2), в безопасном функционировании системы «Кр – Гм – Св» задействованы все ее элементы, некоторые факторы этого взаимодействия особенно влияют на безопасность и ресурс элементов системы (табл. 1).

Табл. 1. Факторы, влияющие на безопасность и ресурс функционирования системы  
«крановщик – грузоподъемная машина – среда взаимодействия»

Крановщик	Грузоподъемная машина	Среда взаимодействия
1	2	3
1. Профессиональные знания ( $x_{к1}$ )	1. Незапланированный повышенный износ узлов и деталей ( $x_{гр1}$ )	1. Отсутствие должной квалификации у обслуживающего персонала ( $x_{ср1}$ )
2. Наличие (или отсутствие) практических навыков организации безопасного труда ( $x_{к2}$ )	2. Напряженные режимные нагрузки грузоподъемной машины ( $x_{гр2}$ )	2. Просадки и перекося подкрановых путей ( $x_{ср2}$ )
3. Не имеет необходимых знаний для работы на данном типе грузоподъемной машины ( $x_{к3}$ )	3. Несоблюдение регламента технического обслуживания ( $x_{гр3}$ )	3. Условия на рабочем месте крановщика (запыленность, загазованность, шум, вибрация, эргономические показатели) ( $x_{ср3}$ )
4. Не имеет четких инструкций в поведении в экстремальных условиях ( $x_{к4}$ )	4. Нестандартное поведение узлов и механизмов в специфических условиях эксплуатации ( $x_{гр4}$ )	4. Воздействие метеорологических явлений (ливень, снег, гроза, обледенение и т.д.) ( $x_{ср4}$ )
5. Не может выполнять свои функции из-за физического или психологического состояния ( $x_{к5}$ )	5. Нарушение регулировок механизмов крана в процессе его эксплуатации ( $x_{гр5}$ )	5. Несвоевременные и некачественные проверки состояния эргономических показателей кабин, сидения, лестниц и т.д. ( $x_{ср5}$ )
	6. Подъем груза с подхватом, приводящим к динамическим нагрузкам на отдельные узлы ( $x_{гр6}$ )	6. Несовременная нормативная база по эксплуатации, ремонту грузоподъемных машин ( $x_{ср6}$ )
	7. Пыль и окалины, попадающие в узлы сопряжения и вызывающие механический износ ( $x_{гр7}$ )	
	8. Изменение механических свойств изоляционных материалов кабелей, электроприводов от длительного воздействия высокой температуры ( $x_{гр8}$ )	
	9. Разложение изоляции из поливинилхлоридных пластиков при $t^{\circ} > 145^{\circ} \div 160^{\circ} C$ ( $x_{гр9}$ )	
	10. Снижение характеристик горюче-смазочных материалов при высоких температурах ( $x_{гр10}$ )	

Данные табл. 1 наглядно показывают, что причиной небезопасных условий эксплуатации грузоподъемных механизмов является не только их состояние, но и ошибки крановщиков, кото-

рые чего-то не учли или пренебрегли предусмотренными средствами защиты. Человеческий фактор имеет важнейшее значение как в сфере безопасного управления грузоподъемными ма-

шинами, так и в сфере оперативного и эффективного технического обслуживания, обеспечения и соблюдения качества и сроков проведения планово-предупредительного обслуживания.

Все элементы системы «Кр – Гм – Св» имеют объективные причины для изменения, деградации своих количественных показателей.

Если крановщик работает на грузоподъемном кране несколько лет, то его физиологические показатели могут изменяться. С годами человек (оператор) стареет, также меняются факторы грузоподъемной машины, определяющие охрану труда крановщика.

Наглядным примером являются обследования состояния грузоподъемных кранов совместно со специалистами по оценке их технического состояния и специалистов по охране труда. Согласно существующей нормативной базе [2] специализированной организацией было дано разрешение на продление сроков эксплуатации мостовых кранов практически без учета факторов охраны труда.

Примером могут служить некоторые результаты обследования мостовых кранов на предприятиях Донбасса, в которых вообще не обследуются причины деградации факторов охраны труда: состояние стекол в кабине крановщика, состояние противоскользящих насечек на поверхностях движения крановщика и др.

Согласно нормативной документации ГОСТ Р ИСО 11112-2012 кресло для крановщика должно иметь соответствующую виброзащиту и устройства, регулирующие его высоту, положение спинки (рис. 2).

В реальных условиях имеет место установка обычных металлических стульчиков (рис. 3а) или винтовой сварной конструкции (рис. 3б).

Такое отношение к вопросам охраны труда объясняется следующим: на территории Донец-

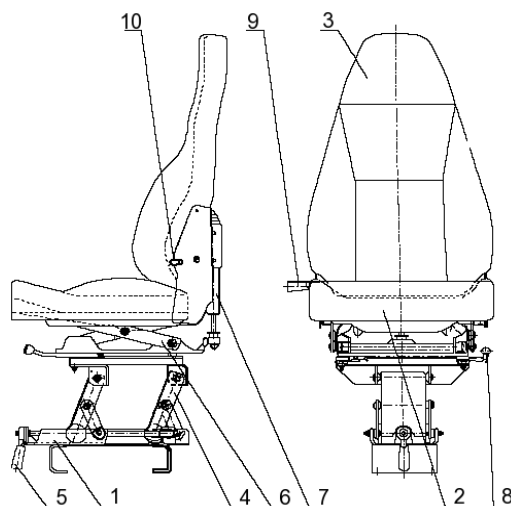


Рис. 2. Схема кресла, рекомендуемого ГОСТ Р ИСО 11112-2012:

- 1 – салазки; 2 – сиденье; 3 – спинка; 4 – рычаги, регулирующие высоту сиденья;
- 5 – механизм перемещения кресла; 6 – рычаги сиденья; 7 – пневмогаситель вибрации;
- 8 – механизм смещения сиденья; 9 – механизм регулирования положения спинки;
- 10 – фиксатор спинки

кой Народной Республики пока еще действует система Аттестации рабочих мест по условиям труда (АРМ) [13]. Согласно АРМ аттестация рабочих мест необязательна и проводится по желанию владельца грузоподъемной машины.

В Российской Федерации в 2013 г. принято Постановление о внедрении с 1.01.2019 г. системы Специальной оценки условий труда (СОУТ) [14]. По уже действующей в России системе СОУТ оценка состояния любой машины или оборудования проводится планово один раз в три года и обязательно только специализированной организацией.



а



б

Рис. 3. Конструкции кресел крановщика, фактически используемые на грузоподъемных кранах

Табл. 2. Изменения состояний в элементах системы «Кр – Гм – Св»

Осмотры крановщика специалистами:	$t_1^{кр}$	$t_2^{кр}$	$t_3^{кр}$
офтальмологом	$K_{кр1}^{оф}$	$K_{кр2}^{оф}$	$K_{кр3}^{оф}$
невропатологом	$K_{кр1}^H$	$K_{кр2}^H$	$K_{кр3}^H$
отоларингологом	$K_{кр1}^o$	$K_{кр2}^o$	$K_{кр3}^o$
электрокардиологом	$K_{кр1}^э$	$K_{кр2}^э$	$K_{кр3}^э$
другими			
Техническое освидетельствование крана:	$t_1^{ГМ}$	$t_2^{ГМ}$	$t_3^{ГМ}$
состояние крюка	$K_{ТО1}^{кр}$	$K_{ТО2}^{кр}$	$K_{ТО3}^{кр}$
состояние канатов	$K_{ТО1}^K$	$K_{ТО2}^K$	$K_{ТО3}^K$
состояние металлоконструкций	$K_{ТО1}^M$	$K_{ТО2}^M$	$K_{ТО3}^M$
состояние грузоподъемного механизма	$K_{ТО1}^{ГМ}$	$K_{ТО2}^{ГМ}$	$K_{ТО3}^{ГМ}$
другие			
Оценка условий труда:	$t_1^{УТ}$	$t_2^{УТ}$	$t_3^{УТ}$
температурный режим	$K_{t1}^{УТ}$	$K_{t2}^{УТ}$	$K_{t3}^{УТ}$
вибрация на рабочем месте	$K_{в1}^{УТ}$	$K_{в2}^{УТ}$	$K_{в3}^{УТ}$
состояние остекления кабины	$K_{ос1}^{УТ}$	$K_{ос2}^{УТ}$	$K_{ос3}^{УТ}$
шумовые нагрузки в кабине	$K_{ш1}^{УТ}$	$K_{ш2}^{УТ}$	$K_{ш3}^{УТ}$
другие			

В передовых странах мира существует система обязательных плановых проверок: медицинское освидетельствование крановщиков (один раз в три года); техническое освидетельствование грузоподъемной машины (частичное не реже одного раза в 12 месяцев и полное не реже одного раза в три года) и специальная оценка условий труда (через три года).

Реально существует четкая система наблюдения и оценки изменения количественных параметров каждого из элементов системы «Кр – Гм – Св».

Старение крановщика – это старение человека, рассматривается как биологический процесс. Постепенную деградацию некоторых органов и движений человека – оператора грузоподъемной машины можно выявить при плановом медицинском осмотре крановщика (табл. 2).

Деградацию технических решений по охране труда на грузоподъемной машине, таких как состояние кресел, состояние кабины, рычагов управления, противоскольжения площадок и других выявляют при проведении очередных

СОУТ. Состояние элементов грузоподъемных машин (канатов, крюков, механизмов подъема и передвижения и т.д.) – при проведении очередного технического обслуживания.

Многие предприятия и организации в разных сферах деятельности переходят на цифровые технологии, особенно в сфере бумажных отчетов и хранения на них соответствующей информации.

Переход на электронные документы в сфере медицинского обслуживания крановщиков, технического освидетельствования грузоподъемных машин, специальной оценки условий труда крановщиков позволяет накапливать и сохранять данные в табулированном виде. Для системы «Кр – Гм – Св» старше 10 лет можно получить конкретные данные об изменении состояний каждого из ее элементов (табл. 2).

При электронном накоплении данных табл. 2 прогнозирование момента наступления предельного состояния  $i$ -го конкретного фактора из системы «Кр – Гм – Св» возможно при решении следующего уравнения:

$$Y(x_i) - \Delta x_i = 0, \quad (3)$$

где  $Y(x_i)$  – функция деградационного отклонения характеристического фактора  $x_i$  системы «Кр – Гм – Св»;  $\Delta x_i$  – допустимое количественное отклонение некоторого фактора  $x_i$ .

Для каждого из параметров (см. табл. 1) можно составить соответствующие уравнения:

$$\begin{cases} K_{кр}^{opf}(t) = A^{opf}t^2 + B^{opf}t + C^{opf}, \\ K_{кр}^n(t) = A^nt^2 + B^nt + C^n, \\ K_{кр}^o(t) = A^ot^2 + B^ot + C^o; \\ \\ K^{kp}(t) = A^{kp}t^2 + B^{kp}t + C^{kp}, \\ K^k(t) = A^kt^2 + B^kt + C^k, \\ K^m(t) = A^mt^2 + B^mt + C^m, \\ K^{2m}(t) = A^{2m}t^2 + B^{2m}t + C^{2m}; \\ \\ K^t(t) = A^tt^2 + B^tt + C^t, \\ K^{oc}(t) = A^{oc}t^2 + B^{oc}t + C^{oc}, \\ K^w(t) = A^wt^2 + B^wt + C^w. \end{cases} \quad (4)$$

Решение представленных задач (4) сводится к определению значений соответствующих коэффициентов  $A_i$ ,  $B_i$  и  $C_i$ . В программу конкретного грузоподъемного крана заранее закладывается математическая модель решения подобных задач методом наименьших квадратов. Обработка результатов практических замеров (см. табл. 2) позволяют для каждого из факторов системы «Кр – Гм – Св» получить свои уравнения регрессии, которые будут показывать скорость его деградации и оставшийся ресурс.

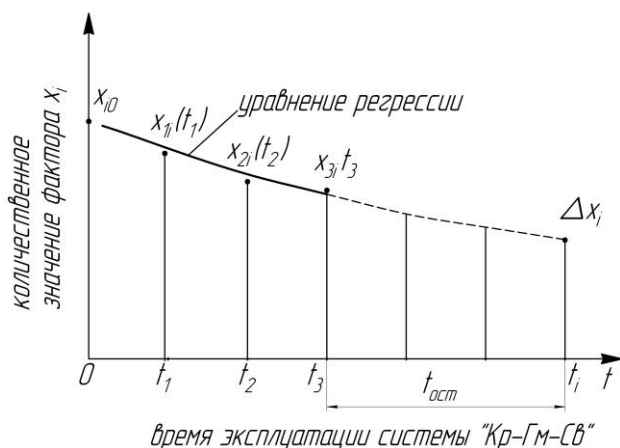


Рис. 4. Зависимость фактора  $x_i$  системы «Кр – Гм – Св» от времени и его ресурс

Например, для параметра  $x_i$  имеем как минимум три временные точки измерения в соответствии с регламентом. По зависимостям (4) составляется соответствующее уравнение регрессии.

На рис. 4 показаны количественные показатели фактора  $x_i$  при плановых проверках ( $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_3$ ). После трех плановых проверок устанавливается уравнение регрессии и при известном допуске значении фактора  $\Delta x_i$  остаточный ресурс  $t_{ост}$  фактора  $x_i$ .

Таким образом, для любого фактора безопасной эксплуатации крана, используя цифровую информацию, можно установить остаточный срок эксплуатации крана до достижения его предельного значения факторов любого элемента системы «Кр – Гм – Св».

### Выводы

Во всех передовых странах мира оказывают особое внимание вопросам безопасности и охраны труда, особенно при использовании таких сложных машин, как грузоподъемные краны.

В XXI веке сложилась ситуация, когда для безопасной эксплуатации системы «крановщик – грузоподъемная машина – среда взаимодействия» введены обязательные и плановые проверки состояния всех элементов.

Использование цифровых технологий позволяет создать базу данных о состоянии элементов системы «Кр – Гм – Св» в определенном порядке, позволяющем проводить их анализ и создавать уравнения регрессии, описывающие поведение факторов безопасности и охраны труда.

Использование цифровой информации для обработки экспериментальных данных о состоянии каждого из элементов системы «Кр – Гм – Св» позволяет оперативно устанавливать их остаточный ресурс и прогнозировать дальнейшую эффективную эксплуатацию.

### Список литературы

1. РосТест: сертификационный центр: сайт. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011). – Москва, 2010. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostest.net/>
2. НЦТД-ПС01-07. Указания по экспертному обследованию подъемных сооружений с истекшим сроком безопасной эксплуатации – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/471813639>
3. Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации РД 10-525-03. Рекомендации по проведению испытаний грузоподъемных машин. –

- Санкт-Петербург, 2010. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031040>
4. Yu, Y.H. Forensic investigation on crane accidents / Int. J. Forensic Engineering. – 2017. – No.4. Vol.3. – P. 319-341.
5. Skiba, R. Best Practice Standards and Methodology for Crane Operator Training // A Global Perspective Journal of Transportation Technologies. – 2020. – No.10. – P. 265-279.
6. Shapira, A. Identification and Analysis of Factors Affecting Safety on Construction Sites with Tower Cranes / A. Shapira, B. Lyachin // Journal of Construction Engineering and Management. – 2009. – No.135. – P. 24-33.
7. Короткий, А.А. Обоснования безопасности грузоподъемных кранов / А.А. Короткий, Е. В. Егельская, А.П. Шерстюк // Вестник Донского гос. техн. ун-та. – 2017. – №4. Т.17. – С. 136-14.
8. Анализ аварийности и травматизма при эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов в России / Ю.И. Булыгин и др. // Безопасность техногенных и природных систем. – 2018. – №3-4. – С. 2-17.
9. Поветкина, П.Н. Анализ аварийности и травматизма при работе с грузоподъемными механизмами / П.Н. Поветкина, Е.А. Хамидулина // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – №3(4). – С. 40-50.
10. Система охраны труда в Германии: ОТиСЗ плюс. – 2013. – №9. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gigabaza.ru/doc/5578.html>
11. Охрана труда Россия: Всероссийское объединение специалистов по охране труда. Опыт в Великобритании в сфере охраны труда. – Москва, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vosot.ru/ot\\_uk.html](http://vosot.ru/ot_uk.html)
12. Пенчук, В.А. Повышение безопасности работ и охрана труда на грузоподъемных машинах, используемых на поверхности угледобывающих предприятий / В.А. Пенчук, В.Н. Гусakov, Н.А. Юрченко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – 2019. – №1(44). – С. 65-73.
13. Государственная информационная система нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики. Порядок проведения аттестации рабочих мест по условиям труда на территории Донецкой Народной Республики. – Донецк, 2016. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gisnpa-dnr.ru/npa/0003-7-25-20160531/>
14. Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: сайт. Приказ от 24 января 2014 года № 33н Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». – Санкт-Петербург, 2010. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499072756>

**V.A. Penchuk /Dr. Sci./, N.A. Yurchenko**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (Makeyevka)*

**V.V. Penchuk**

*Limited Liability Company «Dana LTD» (Makeyevka)*

## IMPROVING THE SAFETY AND RESOURCE OF LIFTING MACHINES BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES

**Background.** When extending the service life of lifting cranes, little attention is paid to occupational safety issues. The operation of an «old» machine is already an additional risk for service personnel. Still, it is not envisaged to consider the degradation of occupational safety factors in the methodological recommendations for extending the service life.

**Materials and/or methods.** When considering the issues of labour protection and safety in the operation of lifting cranes, it is necessary to take into account all the elements of the process: «crane operator – lifting machine – interaction environment» («Co – Lm – Ie»). A simplified model of this system is presented, which shows the interaction of factors determined by the state and health of the crane operator, the state of the lifting machine and the parameters and conditions of the interaction environment.

A detailed analysis of the interaction factors shows that all of them affect the machine's safety of operation to a greater or lesser extent. All elements of the system («Co – Lm – Ie») have objective reasons for changes, degradation of their quantitative indicators: the crane operator's physiological indicators change, the lifting cranes' technical condition changes, the working conditions at the workplace change

for the worse. If the changing indicators of the first two components of the system are checked: during a medical examination at crane operators and at lifting cranes during a technical examination, then the change in working conditions is recorded only when the workplace is certified at the request of the crane owner. For example, the crane operator's chair is taken: the design version on the new crane and its substitutes on the «old» crane in the form of an ordinary chair or a homemade welded type.

**Results.** Recording the data of parameter changes in the system («Co – Lm – Ie») on electronic documents will allow creating appropriate equations for each of the parameters and predict the rate of its degradation and the remaining resource.

**Conclusion.** The use of digital technologies allows you to accumulate information about the state of system elements («Co – Lm – Ie») in a certain order, which allows you to analyze them and create regression equations that describe occupational safety behaviour and health factors.

**Keywords:** labour protection, resource of lifting machines, service life, workplace, crane operator.

#### Сведения об авторах

##### В.А. Пенчук

SPIN-код: 7969-6475  
Author ID: 582447  
ORCID iD: 0000-0002-2258-6618  
Телефон: +380 (71) 430-18-83  
Эл. почта: penshyk@rambler.ru

##### В.В. Пенчук

Телефон: +380 (71) 430-18-83  
Эл. почта: penshyk@rambler.ru

##### Н.А. Юрченко

Телефон: +380 (71) 359-83-05  
Эл. почта: Rovina-na@rambler.ru

Статья поступила 15.12.2020 г.

© В.А. Пенчук, Н.А. Юрченко, В.В. Пенчук, 2020

Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин

