

УДК 621.3.07

**В.В. Киселев, В.Д. Володин, А.А. Шаронов**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

## **ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КРАНОМАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА**

Краноманипуляторные установки находят широкое применение в современной технике: стрела, имеющая несколько сочленений, позволяет работать в условиях ограниченного пространства, что часто является определяющим фактором использования того или иного оборудования. Кроме того, машины, оснащенные краноманипуляторными установками, обычно совмещают в себе функции крана и грузовика, что также позволяет оптимизировать количество используемой при погрузке и перевозке объектов техники. Но при всех имеющихся достоинствах краноманипуляторные установки имеют ряд недостатков, присущих всем подъемным механизмам, а также характерных для отдельных машин: раскачивание груза, вибрация элементов стрелы, рывки троса, ограничения работы гидравлической лебедки на малой скорости и др.

В статье рассмотрены существующие решения данных проблем для краноманипуляторных установок, а также для других типов подъемных механизмов. Перечислены достоинства и недостатки каждого из методов, а также для методов, использованных для устранения недостатков других подъемных механизмов (например, мостовых кранов), определены их границы применимости на краноманипуляторных установках. В качестве основного метода модернизации была выбрана разработка новой системы управления, так как подобный тип модернизации практически не вносит изменений в конструкцию в отличие от ряда других приведенных в статье методов.

Подобный вариант модернизации применим не для всех краноманипуляторных установок. Поэтому, в статье приводятся особенности, позволяющие модернизировать определенную краноманипуляторную установку (входящую в состав роботизированного перегрузочного комплекса) с помощью новой системы управления. Приведена структура блока управления краноманипуляторной установкой, используемого для модернизации.

**Ключевые слова:** краноманипуляторная установка, гидравлический механизм, раскачивание груза, снижение динамических нагрузок, гидродинамические шумы, вибрации, система управления, цифровое управление, регулятор, пути модернизации, гидрораспределитель, дистанционное управление, беспроводные интерфейсы, микроконтроллер, CAN.

**V.V. Kiselev, V.D. Volodin, A.A. Sharonov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **ROBOTIZED HOISTING COMPLEX CONTROL SYSTEM'S MODERNIZATION WAYS**

Crane-manipulator engines are more popular in different fields of modern technique. Crane-manipulator's boom with two or three joints allow to work at limited space. Often last factor is defining in equipment choice for work. More than usually machines with crane-manipulator combine hoisting mechanism's and truck's features that allow to optimizing number of engines in handling operations and transporting of materials. But crane-manipulator engines have some problems inherited in all crane engines and specified for separate engines: rocking of freight, hydraulic vibrations crane-manipulator's boom elements, cable's breakthroughs, hydraulic winch's work limitations and other.

Some crane-manipulator problem's solutions reviewed in paper. This solutions are used in crane-manipulator or other hoisting engines such as overhead cranes. The method's merits and demerits are listed in paper. More than for methods used for non-crane-manipulator hoisting engines limits of application in crane-manipulator engines defined in paper. New microprocessor-based control system design chosen as main crane-manipulator engine modernization strategy. This modernization type don't request powerful changes in crane-manipulator engine's construction such as crane-manipulator boom replacement. This is main difference of this method from some methods reviewed in paper.

This method not applicable for every crane-manipulator engine. Crane-manipulator engine of robotized hoisting complex has same features that listed in paper that allow produce integrate microprocessor-based control system. This features reviewed in paper. Also the paper contents structure of control block used for crane-manipulator engine's modernization.

**Keywords:** crane-manipulator engine, hydraulic engine, cargo swinging, dynamic loads reduction, fluid borne noise, vibrations, control system, digital control, regulator, modernization ways, hydraulic valve, remote control, wireless interfaces, microcontroller, CAN.

Краноманипуляторные установки находят широкое применение в современной технике. Грузовики, оснащенные кран-бортами, оказались очень удобным и эффективным средством транспортировки различных грузов. Также краноманипуляторные установки используются в лесозаготовительной отрасли, в составе транспортно-заряжающих машин – в военной технике и других областях, где необходимо производить погрузку и разгрузку в стесненных и нестандартных условиях.

Однако достаточно удобные и эффективные устройства, такие как краноманипуляторные установки, не лишены определенных недостатков [1, 2]:

- раскачивание подвешенного на крюке груза;
- рывки троса при резком начале подъема или опускании подвешенного на крюке груза;
- вибрации стрелы и других механизмов крана;

– часто отсутствие возможности соблюдения требований по скорости при медленном движении крюка.

Последний недостаток не является проблемой всех краноманипуляторных установок, однако существуют устройства, где он проявляется в полную силу. Например, рассмотренный в работе [3] роботизированный перегрузочный комплекс (РПК) в настоящее время не имеет возможности опускания крюка без подвешенного груза со скоростью менее 1 м/мин. Ниже анализируются известные подходы к решению перечисленных проблем.

**Существующие способы решения проблемы раскачивания груза.** Основной из проблем подъемных устройств является проблема раскачивания груза. Раскачивание груза приводит к повышению нагрузки на элементы краноманипуляторной установки, а также в необходимости осуществления процесса погрузки четырьмя стропальщиками [1]. Также из-за раскачивания груза (а в случае погрузки достаточно длинных грузов, таких как трубы или снаряды, и поворота) увеличивается время погрузки и разгрузки. Например, для мостового крана на ожидание завершения раскачивания груза уходит до 20 % времени [4].

На сегодняшний день данная проблема частично решается путем повышения квалификации операторов краноманипуляторных установок. В частности, для таких целей используются тренажеры, аналогичные комплексу, описанному в работах [5–7]. Другой путь – разработка новых концепций погрузочных устройств, например, разработанная авторами работы [1] система транспортно-заряжающей машины с двумя краноманипуляторными установками, которая позволяет минимизировать раскачивание и поворот снаряда или другого длинного груза. В работах [8–10] предлагается разработка краноманипуляторной установки, более стойкой к повышению напряжения при подъеме и раскачивании груза.

Оба предложенных подхода могут быть эффективно использованы при разработке новых изделий, однако при модернизации старых краноманипуляторных установок такие подходы могут оказаться неприменимы. Перспективным вариантом гашения раскачивания груза, эффективно примененным в мостовых кранах, является модернизация системы управления. Данный подход позволяет снизить амплитуду раскачивания груза и увеличить коэффициент затухания при сохранении конструкции крана.

Одним из решений такого типа является введение системы обратной связи по положению поднимаемого груза [11]. Положение груза фиксируется видеокамерой и передается в систему управления в качестве сигнала обратной связи. Недостатком такого решения, указанным в работе [12], является сложность управляющей системы, а также снижение надежности датчика обратной связи при работе в запыленных помещениях, что для мостовых кранов, используемых в промышленности, критично. В случае работы такого датчика в краноманипуляторных установках заряжающих машин также невозможно гарантировать хорошую работу датчика в условиях плохой видимости.

Авторами работы [12] предлагается система, в которой в качестве обратной связи используются датчик скорости вращения электродвигателя привода лебедки и датчик тока, потребляемого этим электродвигателем. Структура данной системы показана на рис. 1.

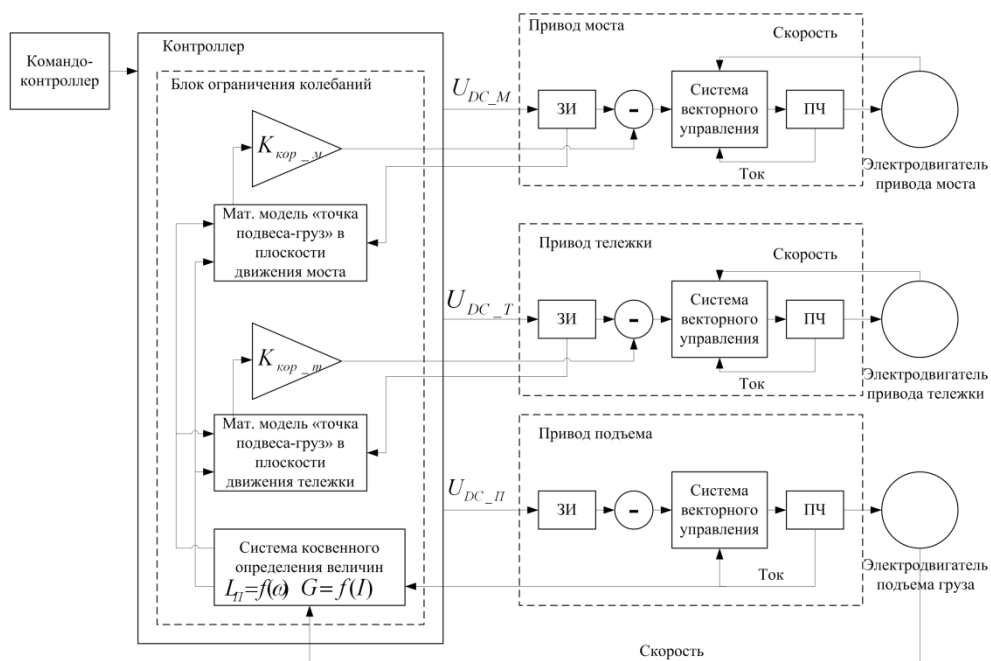


Рис. 1. Структура системы управления электроприводом мостового крана, уменьшающая раскачивание груза

В работе [13] в качестве параметров обратной связи предлагается использовать массу подвешенного груза, измеряемую датчиком натяжения троса, и длину подвеса. Структура такой системы показана на рис. 2.

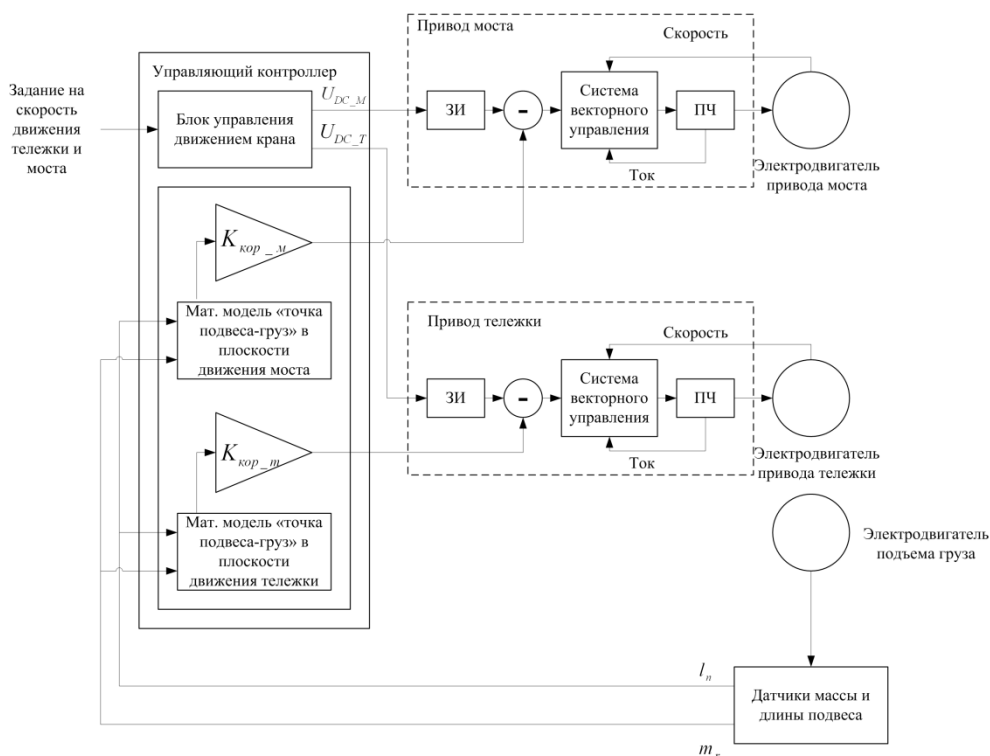


Рис. 2. Структура схемы управления электроприводом мостового крана, использующей в качестве параметров обратной связи массу груза и длину подвеса;  $I_n$  – данные о длине подвеса перемещаемого груза,  $m_r$  – данные о массе перемещаемого груза

Во всех элементах привода мостового крана используются электродвигатели, что позволяет достаточно легко и эффективно внедрить электронную систему управления. В большинстве краноманипуляторных установок применены механические гидрораспределители, не имеющие функций электронного управления. Однако в краноманипуляторной установке РПК, рассмотренной в [3], применены пропорциональные гидрораспределители с возможностью электронного управления. Это позволит внедрить микропроцессорную управляющую систему. Но в ходе модернизации понадобится установить датчик натяжения троса, а также его наклона и длины.

**Существующие варианты решения проблемы натяжения и рывков троса.** Около 80 % поломок крановых механизмов происходят в результате действий динамических нагрузок на их элементы [2], возникающих в результате изменения нагрузок приводов крановых механизмов, и проявляются в виде переходных процессов в их механических

подсистемах. В частности, одним из элементов, испытывающим динамические нагрузки, является подъемный трос.

Проблема рывков троса так же в системе мостового крана была рассмотрена в работе [2]. Решение проблемы тоже опиралось на наличие электронной системы управления. Автор предлагал ввести дополнительный регулятор с передаточной функцией:

$$W_{PC} = \frac{J_2}{2(T_1 + T_2)} \left( 1 + \frac{1}{4(T_1 + T_2)p} \right),$$

где  $J_2$  – момент инерции подвешенного груза,  $T_1$  и  $T_2$  – настраиваемые параметры регулятора.

Структура такого регулятора приведена на рис. 3.

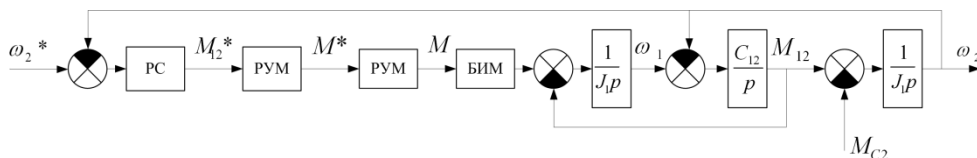


Рис. 3. Система управления электродвигателем подъема крюка мостового крана, снижающая динамические нагрузки; РС – регулятор скорости перемещения крюка, РУМ – регулятор упругого момента, БИМ – электрическая подсистема электропривода, которая в работе [2] рассматривается как безынерционный источник момента, остальные элементы – передаточные функции, описывающие поведение лебедки, троса, а также подвешенного груза соответственно

**Существующие способы решения проблемы вибрации элементов конструкции краноманипуляторной установки.** Проблема вибрации элементов конструкции гидравлических систем является достаточно частым явлением. Высокий уровень вибрации также приводит к росту нагрузки на элементы конструкции, дрожанию троса краноманипуляторной установки и другим негативным последствиям [3, 14–16]. Также негативные эффекты от вибрации гидравлических систем наблюдаются и в других отраслях техники, например, в испытательных стендах [17], трубопроводах [18] и других системах.

В качестве метода подавления вибраций в данных работах, а также в работе [19] предлагается использование демпфера – элемента, снижающего пульсации рабочей жидкости, отводя излишки посредством клапана высокого давления. Данный узел согласно публикациям [17–19] позволил существенно снизить уровень вибрации, но внедренный в систему управления краноманипуляторной установкой РПК демпфер дал только частичное снижение вибраций. При складывании выносной

стрелы в походное положение уровень вибраций элементов краноманипуляторной установки продолжал превышать допустимые нормы.

**Работа гидравлической лебедки на малой скорости.** Для перемещения крюка с подвешенным грузом в краноманипуляторной установке РПК была применена лебедка ТМА TN-04 [20]. Основным недостатком системы является использование данной лебедки в нештатном режиме, в котором при скорости ниже 1 м/мин невозможно добиться опускания пустого крюка. Применяя методы механического управления, а также используя простую систему электронного управления, невозможно добиться перемещения крюка с такой малой скоростью.

Однако введение микропроцессорной системы управления дает возможность реализовать такие функции, как программный ПИД-регулятор, дающий возможность начального перерегулирования с целью преодоления инерции покоя крюка. В дальнейшем скорость будет снижена до необходимого для перемещения крюка значения.

Также положительную роль сыграет введение датчика натяжения троса, который позволит определять массу подвешенного груза и тем самым регулировать скорость вращения лебедки. Введение такого датчика даст возможность добиться одинаковой скорости перемещения груза вне зависимости от его массы и направления перемещения.

**Концепция микропроцессорной системы управления краноманипуляторной установкой.** Одним из перспективных направлений модернизации краноманипуляторной установки является внедрение микропроцессорной системы управления. Данная система в сочетании с рядом датчиков позволит реализовать алгоритмы управления, увеличивающие коэффициент затухания колебаний подвешенного груза, снизить рывки троса, вибрации элементов краноманипуляторной установки, а также реализовать режим перемещения крюка со скоростью менее 1 м/мин. Наиболее ранняя концепция системы управления была представлена в работе [21]. В дальнейшем в систему вносились определенные изменения, и итоговая структура системы приведена на рис. 4.

Основой системы управления краноманипуляторной установкой является однокристалльный микроконтроллер, который с помощью управляющей программы осуществляет считывание значений с органов управления, анализ полученных данных, формирование управляющих напряжений для гидрораспределителей с учетом значений обратной связи. Также имеются аппаратные средства подключения цифровых гидрораспределителей с интерфейсом CAN, средства подключения беспроводного

пульта управления посредством интерфейса Bluetooth, ведения журнала работы и сохранения настроек.

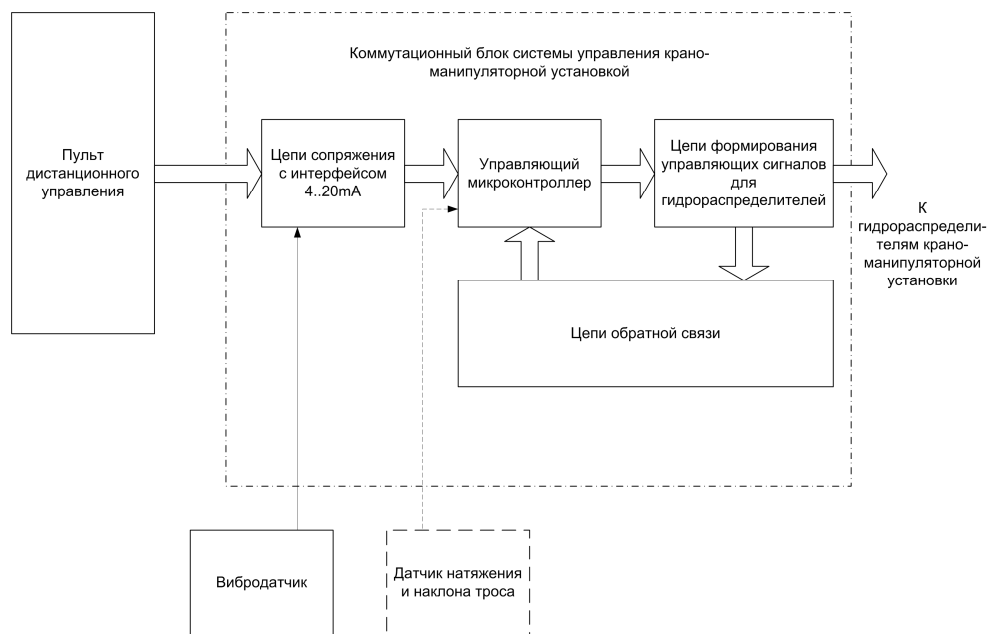


Рис. 4. Система управления краноманипуляторной установкой РПК

Более перспективным подходом является широкое внедрение цифровых интерфейсов в систему управления краноманипуляторной установкой. Однако это потребует значительной переработки всей системы управления стрелой:

- замены пульта управления с аналоговым выходом 4..20 мА на цифровой с выходом CAN;
- замены гидрораспределителей с аналоговым входом [22, 23] на гидрораспределители, управляемые посредством интерфейса CAN;
- также желательно применение датчика натяжения троса и вибрации с интерфейсом CAN либо дополнение существующих датчиков микроконтроллерами, осуществляющими измерение и передачу данных посредством интерфейса CAN.

Структура подобной системы показана на рис. 5.

Ввиду больших изменений, которые коснутся не только электронной системы управления, но и разводки кабелей в краноманипуляторной установке, внедрение такой системы управления на существующих установках будет трудной задачей, поэтому такая сис-



тема может быть предложена для перспективных разработок, как и рекомендации авторов работ [1, 8–10].

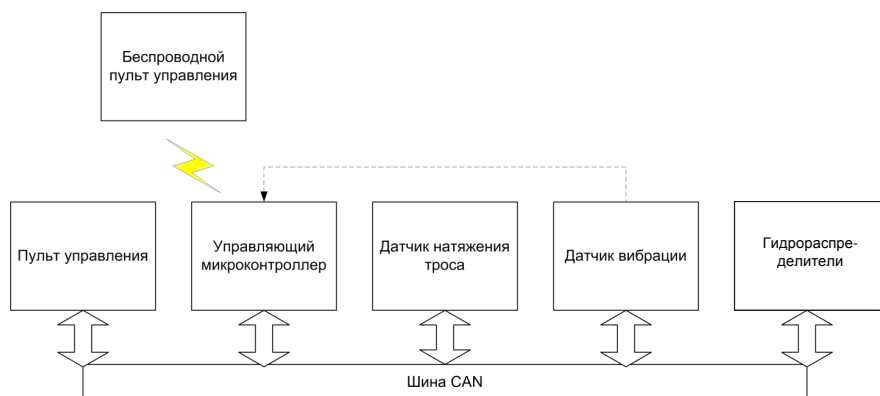


Рис. 5. Структура системы управления краноманипуляторной установкой с использованием цифрового коммуникационного интерфейса CAN

**Ограничения по внедрению микропроцессорной системы управления на краноманипуляторных установках, отличных от КМУ РПК.** Концепции модернизированной системы управления краноманипуляторной установкой роботизированного перегрузочного комплекса всецело исходят из особенностей, заложенных в сам РПК:

- наличие пропорциональных гидрораспределителей с возможностью электронного управления, позволяющих реализовывать плавное нарастание и снижение скорости перемещения элементов стрелы и опор;
- разделенность органов управления стрелой, что делает не очень удобной процедуру управления краноманипуляторной установкой посредством рычагов, установленных на гидрораспределителях;
- наличие пульта дистанционного управления;
- наличие коммутационного блока, осуществляющего преобразование сигналов с датчиков положения рукояток пульта дистанционного управления в управляющие напряжения для гидрораспределителей (в корпусе данного блока возможно смонтировать микропроцессорную систему управления).

Большинство краноманипуляторных установок имеют централизованное расположение гидрораспределителей, а значит, и органов механического управления элементами стрелы и опорами. Поэтому отпадает необходимость в дистанционном пульте управления – все органы управления уже сосредоточены в одном месте. Примером таких установок являются транспортно-заряжающие машины 9Т452, 9Т324, 9Т324-4.

Кроме того, не на всех краноманипуляторных установках используются пропорциональные гидрораспределители и блоки электронного управления. Например, в транспортно-заряжающих машинах 9Т324 используются дискретные гидрораспределители, имеющие только три положения: нейтральное, движение вверх или вперед, движение вниз или назад. Плавное регулирование осуществляется с помощью отдельного дросселя, который регулирует скорость перемещения всех элементов стрелы краноманипуляторной установки. Поэтому для подобных систем подходы к модернизации будут существенно отличаться от предлагаемого в настоящей статье.

### **Библиографический список**

1. Греков В.Ф., Пьянков А.А., Ткаченко Ю.А. Методика выбора параметров механизма подъема стрелы манипулятора // Системы обработки информации. – 2010. – № 8(89). – С. 23–28.
2. Завьялов В.М., Гусев А.В. Управление скоростью электропривода подъема мостового крана при ограничении динамических нагрузок // Вестник Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 6. – С. 62–65.
3. Щелудяков А.М., Сальников А.Ф. Исследование режимов работы насоса на возбуждение колебаний стрелы РПК // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы конф. – 2014. – Т. 1. – С. 251–253.
4. Мещеряков В.Н., Колмыков В.В., Мигунов Д.В. Ограничение колебаний груза, перемещаемого мостовым краном // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6. – С. 268–272.
5. Архитектура мобильного пульта погрузочно-разгрузочного устройства [Электронный ресурс] / Е.В. Долгова, Р.А. Файзрахманов, Д.С. Курушин, А.Б. Федоров, А.Ф. Хабибулин, А.А. Шаронов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4, ч. 1. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1327> (дата обращения: 25.01.2016).
6. Организация сетевого взаимодействия элементов мобильного тренажерного пульта [Электронный ресурс] / Е.В. Долгова, Д.С. Курушин, А.Б. Федоров, Р.Р. Бикметов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4, ч. 1. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1266> (дата обращения: 25.01.2016).
7. Особенности разработки и реализации мобильных пультов тренажерного комплекса оператора порталного крана [Электронный ресурс] / Р.А. Файзрахманов, А.С. Мехоношин, Р.Р. Бакунов, А.Б. Федо-

ров, Р.Р. Бикметов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4, ч. 1. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1267> (дата обращения: 25.01.2016).

8. Лагерев И.А., Мильто А.А., Лагерев А.В. Эффективность упругого демпфирования в шарнирных соединениях стрел краноманипуляторных установок при повышенных зазорах // Научно-технический вестник Брянск. гос. ун-та. – 2016. – № 1. – С. 18–36.

9. Лагерев И.А. Оценка динамической нагруженности и оптимизация трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин для сварки трубопроводов: автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Брянск, 2011.

10. Лагерев И.А., Лагерев А.В. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2012. – 196 с.

11. SIMOCRANE SC integrated sway control systems. – URL: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/mechanical-engineering/crane-solutions/simocrane/advanced-technology/sway-control-systems/sc-integrated/Pages/sc-integrated.aspx> (дата обращения: 28.06.2016).

12. Мещеряков В.Н., Колмыков В.В., Мигунов Д.В. Ограничение колебаний груза, перемещаемого мостовым краном // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6. – С. 268–272.

13. Щедринов А.В., Колмыков В.В., Сериков С.А. Автоматическая система ограничения раскачивания груза // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 2. – С. 3–8.

14. Монченко С.А., Щелудяков А.М. Пути модернизации краноманипуляторной установки UNIC с целью снижения вибрации при перемещении груза // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы конф. – Пермь, 2014. – № 1. – С. 314–318.

15. Цветков М.В. Мандраков Е.А., Никитин А.А. Повышение эффективности грузоподъемных устройств с гидроприводом // Молодежь и наука: материалы конф. – Красноярск, 2014. – Т. 3. – С. 82–84.

16. Тишин С.С., Щеглов Е.М. Снижение динамических нагрузок в гидроприводе [Электронный ресурс]. – URL: [http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/19455/s19\\_005.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/19455/s19_005.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 06.07.2016).

17. Подавление гидродинамического шума в испытательном стенде / Г.М. Макарьянц, А.Н. Крючков, Е.В. Шахматов, Э.Г. Берестовицкий, Ю.А. Гладилин, А.Е. Федоров // Известия Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2013. – № 6. – Т. 15. – С. 201–209.

18. Исследование процессов возбуждения и подавления пульсаций рабочей среды и гидродинамического шума в трубопроводных системах / Г.О. Белов, А.Н. Головин, А.Н. Крючков, Л.В. Родионов, Е.В. Шахматов // Известия Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2011. – № 4. – Т. 13. – С. 178–184.

19. Гасители пульсации давления как средство улучшения собственных виброакустических характеристик испытательных гидравлических стендов / Э.Г. Берестовицкий, Ю.А. Гладилин, А.Н. Крючков, А.Е. Федоров, А.А. Франтов, Е.В. Шахматов // Вестник Самар. гос. аэрокосм. ун-та. – 2012. – № 2(33). – С. 149–154.

20. Argani winches cabrestantes treuils de levage hubwinde [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.geotechnik-dunkel.de/index.php/gtr-780.221.html?file=tl\\_files/downloads/handbuecher/Anleitung%20Hydraulikwinde%20TMA%20Deutsch.pdf](http://www.geotechnik-dunkel.de/index.php/gtr-780.221.html?file=tl_files/downloads/handbuecher/Anleitung%20Hydraulikwinde%20TMA%20Deutsch.pdf) (дата обращения: 22.09.2016).

21. Разработка управляющей ЭВМ для роботизированного погрузочно-разгрузочного комплекса с использованием отечественной элементной базы / Р.А. Файзрахманов, В.Д. Володин, Р.Р. Бикметов, А.А. Шаронов // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы науч.-техн. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – С. 32–36.

22. Load sensing control block in mono block/sandwich plate design M4-12 [Электронный ресурс]. – URL: [http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/products\\_13/product\\_groups\\_1/mobile\\_hydraulics\\_4/pdfs\\_6/re64276.pdf](http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/mobile_hydraulics_4/pdfs_6/re64276.pdf) (дата обращения: 25.01.2016).

23. Не зависящие от нагрузки пропорциональные распределители PVG32 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.alpha-hydraulics.ru/assets/172/PVG32\\_RU\\_2002\\_.pdf](http://www.alpha-hydraulics.ru/assets/172/PVG32_RU_2002_.pdf) (дата обращения: 25.01.2016).

## References

1. Grekov V.F., P'iankov A.A., Tkachenko Iu.A. Metodika vybora parametrov mekhanizma pod"ema strely manipulatora [Method for selecting the parameters of handling equipment boom lifter]. *Sistemi obrabotki informatsii*, 2010, no. 8(89), pp. 23-28.

2. Zav'ialov V.M., Gusev A.V. Upravlenie skorost'iu elektroprivoda pod"ema mostovogo krana pri ogranichenii dinamicheskikh nagruzok [Electrical drive travelling crane lift speed control when load impact limitation]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, no. 6, pp. 62-65.

3. Shcheludiakov A.M., Sal'nikov A.F. Issledovanie rezhimov raboty nasosa na возбuzhdenie kolebaniy strely RPK [Pump duty research for boom oscillatory impulse of POD]. *Materialy konferentsii "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse"*, 2014, vol. 1, pp. 251-253.

4. Meshcheriakov V.N., Kolmykov V.V., Migunov D.V. Ogranichenie kolebaniy gruzha, peremeshchaemogo mostovym kranom [Cargo oscillation restriction, shifted by travelling crane]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2015, no. 6, pp. 268-272.

5. Dolgova E.V., Faizrakhmanov R.A., Kurushin D.S., Fedorov A.B., Khabibulin A.F., Sharonov A.A.. Arkhitektura mobil'nogo pul'ta pogruzochno-razgruzochnogo ustroistva [Operating console architecture of cargo gear]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, no. 4, vol. 1, available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1327> (accessed 25 January 2016).

6. Dolgova E.V., Kurushin D.S., Fedorov A.B., Bikmetov R.R. Organizatsiia setevogo vzaimodeistviia elementov mobil'nogo trenazhernogo pul'ta [Networking of portable training console elements]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, no. 4, vol. 1, available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1266> (accessed 25 January 2016).

7. Faizrakhmanov R.A., Mekhonoshin A.S., Bakunov R.R., Fedorov A.B., Bikmetov R.R. Osobennosti razrabotki i realizatsii mobil'nykh pul'tov trenazhernogo kompleksa operatora portal'nogo krana [Development aspects and implementation of portable stations of frame crane operator simulator complex]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, no. 4, vol. 1, available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1267> (accessed 25 January 2016).

8. Lagerev I.A., Mil'to A.A., Lagerev A.V. Effektivnost' uprugogo dempfirovaniia v sharnirnykh soedineniiakh strel krano-manipulatornykh ustanovok pri povyshennykh zazorakh [Efficiency of elastic damping in articulated joints of boom crane-manipulator units with increased gaps]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 1, pp. 18-36.

9. Lagerev I.A. Otsenka dinamicheskoi nagruzhennosti i optimizatsiia trekhzvennykh gidravlicheskikh kranov-manipulatorov transportno-tekhnologicheskikh mashin dlia svarki truboprovodov [Dynamic loading evaluation and optimization of three-link hydraulic cranes-manipulators of transport-technological machines for welding pipelines]. Abstract of Ph.D. thesis. Bryansk, 2011.

10. Lagerev I.A., Lagerev A.V. Dinamika trekhzvennykh gidravlicheskiikh kranov-manipulatorov [Dynamic of three-link hydraulic crane manipulators]. Brianskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2012. 196 p.

11. SIMOCRANE SC integrated sway control systems, available at: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/mechanical-engineering/crane-solutions/simocrane/advanced-technology/sway-control-systems/sc-integrated/Pages/sc-integrated.aspx> (accessed 28 June 2016).

12. Meshcheriakov V.N., Kolmykov V.V., Migunov D.V. Ogranichenie kolebanii gruzha, peremeshchaemogo mostovym kranom [Cargo oscillation restriction, shifted by travelling bridge crane]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2015, no. 6, pp. 268-272.

13. Shchedrinov A.V., Kolmykov V.V., Serikov S.A. Avtomaticheskaiia sistema ogranicheniia raskachivaniia gruzha [Automatic control system with load swinging inhibition]. *Avtomatizatsiia i sovremennye tekhnologii*, 2010, no. 2, pp. 3-8.

14. Monchenko S.A., Shcheludiakov A.M. Puti modernizatsii kranomanipulatornoi ustanovki UNIC s tsel'iu snizheniia vibratsii pri peremeshchenii gruzha [Ways of improvement of crane manipulator UNIC to decrease the vibration during the cargo shifting]. *Materialy konferentsii "Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika"*. Perm', 2014, no. 1, pp. 314-318.

15. Tsvetkov M.V. Mandrakov E.A., Nikitin A.A. Povysenie effektivnosti gruzopod'emnykh ustroistv s gidroprivodom [Efficiency upgrading of fluid lifting devices]. *Materialy konferentsii "Molodezh' i nauka"*. Krasnoyarsk, 2014, vol. 3, pp. 82-84.

16. Tishin S.S., Shcheglov E.M. Snizhenie dinamicheskikh nagruzok v gidroprivode [Decreasing the load impact in fluid power drive], available at: [http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/19455/s19\\_005.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/19455/s19_005.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (accessed 06 July 2016).

17. Makar'iants G.M., Kriuchkov A.N., Shakhmatov E.V., Berestovitskii E.G., Gladilin Iu.A., Fedorov A.E. Podavlenie gidrodinamicheskogo shuma v ispytatel'nom stende [Depression of flow noise in bench testing unit]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, no. 6, vol. 15, pp. 201-209.

18. Belov G.O., Golovin A.N., Kriuchkov A.N., Rodionov L.V., Shakhmatov E.V. Issledovanie protsessov vozbuzhdeniia i podavleniia pul'satsii rabochei sredy i gidrodinamicheskogo shuma v truboprovodnykh sistemakh [Driving and ripple rejection processes research of operating environment and flow noise in pipeline systems]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2011, no. 4, vol. 13, pp. 178-184.

19. Berestovitskii E.G., Gladilin Iu.A., Kriuchkov A.N., Fedorov A.E., Frantov A.A., Shakhmatov E.V. Gasiteli pul'satsii davleniia kak sredstvo uluchsheniia sobstvennykh vibroakusticheskikh kharakteristik ispytatel'nykh gidravlicheskikh stendov [Pressure pulsation dampers as a means of improving the inherent vibroacoustic characteristics of hydraulic test rigs]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*, 2012, no. 2(33), pp. 149-154.

20. Argani winches cabrestantes treuils de levage hubwinde, available at: [http://www.geotechnik-dunkel.de/index.php/gtr-780.221.html?file=tl\\_files/downloads/handbuecher/Anleitung%20Hydraulikwinde%20TMA%20Deutsch.pdf](http://www.geotechnik-dunkel.de/index.php/gtr-780.221.html?file=tl_files/downloads/handbuecher/Anleitung%20Hydraulikwinde%20TMA%20Deutsch.pdf) (accessed 22 September 2016).

21. Faizrkhamanov R.A., Volodin V.D., Bikmetov R.R., Sharonov A.A. Razrabotka upravliaiushchei EVM dlia robotizirovannogo pogruzochno-razgruzochnogo kompleksa s ispol'zovaniem otechestvennoi elementnoi bazy [Sensor based computer development for robot-based on and off loading structure with the usage of native hardware components]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Avtomatizirovannye sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii"*. Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2014, p. 32-36.

22. Load sensing control block in mono block/sandwich plate design M4-12, available at: [http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/products\\_13/product\\_groups\\_1/mobile\\_hydraulics\\_4/pdfs\\_6/re64276.pdf](http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/mobile_hydraulics_4/pdfs_6/re64276.pdf) (accessed 25 January 2016).

23. Ne zavisiashchie ot nagruzki proporsional'nye raspredeliteli PVG32 [Not depending from loadings proportional control valves PVG32], available at: [http://www.alpha-hydraulics.ru/assets/172/PVG32\\_RU\\_2002\\_\\_.pdf](http://www.alpha-hydraulics.ru/assets/172/PVG32_RU_2002__.pdf) (accessed 25 January 2016).

### **Сведения об авторах**

**Киселев Валерий Васильевич** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и технологии в электротехнике Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ktei@pstu.ru).

**Володин Валерий Дмитриевич** (Пермь, Россия) – ведущий инженер кафедры информационных технологий и автоматизированных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: wwd777@mail.ru).

**Шаронов Андрей Александрович** (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры информационных технологий и автоматизированных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: stepper88@inbox.ru).

### **About the authors**

**Kiselev Valery Vasilyevich** (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the chair Design and Technology in electrical engineering Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: ktei@pstu.ru).

**Volodin Valery Dmitrievich** (Perm, Russian Federation) is a Leading Engineer of Department of information technologies and automated systems Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: wwd777@mail.ru).

**Sharonov Andrey Alexandrovich** (Perm, Russian Federation) is a Senior Lecturer of information technologies and automated systems Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: stepper88@inbox.ru).

Получено 31.07.2017