УДК (UDC) 608.4

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БРЯНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА
И.Г. ПЕТРОВСКОГО В 2018 ГОДУ В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ
СОБСТВЕННОСТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «МАШИНОВЕДЕНИЕ И
МАШИНОСТРОЕНИЕ»****RESULTS OF INTELLECTUAL ACTIVITY ACADEMICIAN I.G. PETROVSKII
BRYANSK STATE UNIVERSITY IN 2018 IN THE SPHERE OF INDUSTRIAL
PROPERTY IN THE DIRECTION OF "ENGINEERING"**Бандурин Р.А., Химич А.В.
Bandurin R.A., Khimich A.V.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Обсуждаются результаты интеллектуальной деятельности в сфере промышленной собственности, полученные учеными Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского в 2018 году. Дано описание и анализ эффективности новых технических решений применительно к конструкциям манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом. Также дано описание компьютерных программ для автоматизации проектирования и моделирования рабочих процессов для указанного подъемно-транспортного оборудования.

Ключевые слова: промышленная собственность, машиноведение, машиностроение, конвейер с подвесной лентой, кран-манипулятор.

Дата принятия к публикации: 20.01.2019
Дата публикации: 25.03.2019

Сведения об авторах:

Бандурин Роман Андреевич – кандидат экономических наук, начальник отдела инновационного развития ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: amberscorp@mail.ru.

Химич Анна Васильевна – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: annahimich14@mail.ru.

Abstract. The article discusses the results of intellectual activity in the field of industrial property, obtained by scientists of the Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University in 2018. A description and analysis of the effectiveness of new technical solutions in relation to the designs of handling systems of mobile transport-technological machines and conveyors with a suspension belt and distributed drive is given. A description is also given of computer programs for automating the design and modeling of work processes for the specified lifting and transport equipment.

Keywords: industrial property, engineering, machine building, conveyor with suspended belt, crane-manipulator.

Date of acceptance for publication: 20.01.2019
Date of publication: 25.03.2019

Authors' information:

Roman A. Bandurin – Candidate of Economical Sciences, Head of Innovation development Department at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: amberscorp@mail.ru.

Anna V. Khimich – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: annahimich14@mail.ru.

1. Введение

В 2018 году в Брянском государственном университете имени академика И.Г. Петровского продолжались научно-теоретические и научно-практические исследования по направлению «Машиноведение и машино-

строение» в соответствии с планами развития научной деятельности университета в целом [1]. Они проводились в русле изучения следующих научных проблем, традиционных для инженерной научной школы университета:

- проектирование, моделирование рабочих процессов и риск-анализ манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и комплексов;

- проектирование и моделирование рабочих процессов конвейеров с подвесной грузонесущей лентой и распределенным приводом;

- оптимальное проектирование и моделирование рабочих процессов инновационных мехатронных систем на основе канатных технологий для совершенствования наземной транспортной инфраструктуры крупных городов и территорий.

2. Объекты промышленной собственности в области манипуляционных систем мобильных машин и комплексов

Манипуляционные системы, устанавливаемые на мобильные машины и комплексы, нашли в настоящее время широкое применение в различных отраслях экономики Российской Федерации [2].

2.1. Приводное шарнирное соединение шарнирно-сочлененных смежных звеньев кранов-манипуляторов

Конструкция приводного шарнирного соединения шарнирно-сочлененных смежных звеньев гидравлических кранов-манипуляторов мобильных машин была защищена патентом на полезную модель [3]. Данный объект промышленной собственности относится к области подъемно-транспортного машиностроения, а именно к конструкциям гидравлических кранов-манипуляторов, установленных на базовом транспортном средстве и предназначенных для выполнения погрузочно-разгрузочных, строительно-монтажных, транспортных и складских работ. Конструкция позволяет улучшить такие основные технические характеристики гидравлических кранов-манипуляторов мобильных машин, как номинальная грузоподъемность, объем рабочей зоны и надежность. Приводные шарнирные соединения являются альтернативным вариантом для традиционных конструкций шарнирных соединений с выносными силовыми гидродвигателями.

Внешний вид трехзвенного гидравлического крана-манипулятора, одно из шарнирных соединений которого выполнено в соответствии с предложенной в [3] конструкцией, приведен на рис. 1. На рис. 2 и 3 показана конструкция модернизированного узла (элемента I на рис. 1).

К концевому торцевому сечению стрелы 3, которая является ближайшем к опорной конструкции 1 звеном, при помощи сварки неподвижно крепится цилиндрическая обечайка 12. С обоих торцов она герметично закрывается съемными торцевыми крышками 13, имеющими центральные отверстия 14. В каждой торцевой крышке 13 выполнены две центральные расточки, в одну из которых с натягом устанавливается подшипник качения 17, а в другую - уплотнительная манжета 18. Для исключения осевого смещения подшипника 17 к внутренней поверхности торцевой крышки 13 крепится предохранительное кольцо 19. К внутренней поверхности обечайки 12 на равном угловом расстоянии $\alpha = 120^\circ$ крепятся три радиально расположенные перегородки 21. По обеим сторонам каждой перегородки 21 в ее непосредственной близости в стенке обечайки 12 выполняются по одному радиально сквозному резьбовому отверстию 24, в каждое из которых снаружи устанавливается штуцер 25 для присоединения подъемного трубопровода 26 или опускного трубопровода 27 для подачи (или отвода) рабочей жидкости из гидросистемы силового гидропривода крана-манипулятора. Внутри обечайки 12 в подшипниках качения 17 установлен ротор 28. Его концы выведены наружу через центральные отверстия торцевых крышек 13. На концах ротора 28 выполнены шлицевые пазы 29. На центральной цилиндрической части ротора 28 при помощи призматической шпонки 30 закреплена втулка 31, к которой на равном угловом расстоянии $\alpha = 120^\circ$ крепятся три радиально расположенные лопасти 32. Для герметизации зазоров между сопрягаемыми поверхностями перегородок 21 и втулки 31 в каждой перегородке 21 выполняется паз 35 для установки уплотнительного элемента 36. Для герметизации зазоров между сопрягаемыми поверхностями лопастей

Рис. 1. Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор с модернизированным шарнирным соединением: а – внешний вид; б – выносной элемент I

(1 - опорная конструкция; 2 - поворотная колонна; 3 – стрела; 4 - шарнирный узел соединения смежных звеньев; 5 – рукоять; 6 - грузозахватный орган; 7 – элемент крепления; 8 - силовой гидродвигатель механизма поворотного движения рукояти; 9 - силовой гидродвигатель механизма поворотного движения стрелы; 10 – полезный груз; 11 – сварной шов; 12 - цилиндрическая обечайка; 13 - съемная торцевая крышка; 14 - центральное отверстие; 15 – болт; 16 - резиновое уплотнительное кольцо; 17 - подшипник качения; 18 - уплотнительная манжета; 19 - предохранительное кольцо; 20 – винт; 21 – перегородка; 22 – фиксатор; 23 – удерживающий винт; 24 - резьбовое отверстие; 25 – штуцер; 26 - подъемный трубопровод; 27 - опускной трубопровод; 28 – ротор; 29 – шлицевой паз; 30 - призматическая шпонка; 31 – втулка; 32 – лопасть; 33 – фиксатор; 34 – стопорный винт; 35, 37 – паз; 36, 38 – уплотнительный элемент; 37 – паз; 39 – хомут; 40 - отверстие со шлицевыми выступами; 41 – шпилька; 42 – гайка)

32 и внутренней поверхности обечайки 12 в каждой лопасти 32 выполняется паз 37 для установки уплотнительного элемента 38. Например, по аналогии с практикой герметизации аналогичных поверхностей в шиберных поворотных гидродвигателях машиностроительного гидропривода [4, 5] в качестве уплотнительных элементов 36 и 38 могут использоваться фторопластовые пластины или шевронная набивка. Перегородки 21 и лопасти 32 разделяют все внутреннее пространство обечайки 12 на три пары камер U_1, U_2, U_3 и V_1, V_2, V_3 (рис. 3), которые чередуются между собой в окружном направлении, т.е. располагаются в следующей последовательности: $U_1 - V_1 - U_2 - V_2 - U_3 - V_3$. К камерам U_1, U_2, U_3 подключены подъемные трубопроводы 26, а к камерам V_1, V_2, V_3 - опускные трубопроводы 27. На концы ротора 28, имеющие шлицевые пазы 29, надеваются хомуты 39 из стального листового проката.

Для этого на одном из концов каждого из хомутов имеется отверстие 40 со шлицевыми выступами. Шлицевые пазы 29 концов ротора 28 и шлицевые выступы отверстий 40 обеспечивают разъемное шлицевое соединение ротора 28 с хомутами 39. Другими концами хомуты неподвижно крепятся к противоположным боковым поверхностям рукояти 5. Для обеспечения сборки шарнирного узла соединения стрелы 3 и рукояти 5 в единую кинематическую цепь крепление хомутов к боковым поверхностям рукояти выполняется разборным, например, с помощью шпилек 41 и гаек 42. Возможно использование дополнительных вариантов приводного шарнирного соединения смежных звеньев краноманипулятора на основе использования четырех или пяти пар перегородок 21 и лопастей 32. В этом случае они закрепляются на равном угловом расстоянии $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 72^\circ$ соответственно.

Рис. 2. Поперечное сечение А-А на рис. 1 приводного шарнирного соединения [3]

Рис. 3. Сечение Б-Б на рис. 2 приводного шарнирного соединения [3]

Таким образом, предложенное приводное шарнирное соединение представляет собой конструкцию, которая совмещает [6]:

1) шарнирный узел соединения в единую кинематическую цепь смежных звеньев крана-манипулятора – стрелы 3 и рукояти 5;

2) механизм силового гидропривода возвратно-поворотного движения рукояти 5 вместе с грузозахватным органом 6 и полезным грузом 10.

Функцию шарнирного узла соединения реализуют обечайка 12, торцевые крышки 13 с установленными в них подшипниками качения 17, ротор 28 и хомуты 39. Контакт между собой перечисленных конструктивных элементов обеспечивает постоянную неразрывную кинематическую связь между смежными звеньями крана-манипулятора – стрелой и рукоятью, так как они формируют цилиндрический шарнир, позволяющий рукояти выполнять возвратно-поворотное движение относительно стрелы в вертикальной плоскости. Функцию механизма силового гидропривода возвратно-поворотного движения рукояти реализуют обечайка 12 с закрепленными на ней с помощью штуцеров 25 подъемных 26 и опускных 27 трубопроводов, торцевые крышки 13, перегородки 21, лопасти 32, ротор 28 с закрепленной на нем втулкой 31, подшипники качения 17 и уплотнительные устройства различного исполнения - уплотнительные кольца 16, уплотни-

тельные манжеты 18, уплотнительные элементы 36 и 38.

Схема, поясняющая принцип работы приводного шарнирного соединения приведена на рис. 4 [2, 5]. При подключении подъемных трубопроводов 26 к напорной гидролинии силового гидропривода крана-манипулятора рабочая жидкость под высоким давлением p_1 через штуцеры 25 и резьбовые отверстия 24 поступает в камеры U_1, U_2, U_3 . Одновременно с этим опускные трубопроводы 27 подключаются к сливной гидролинии силового гидропривода крана-манипулятора и находящаяся в камерах V_1, V_2, V_3 рабочая жидкость под низким давлением p_2 удаляется из них. В результате разницы давления $\Delta p = p_1 - p_2$ рабочей жидкости, находящейся в смежных камерах, разделяемых лопастями 32, т.е. в камерах $U_1 - V_1, U_2 - V_2, U_3 - V_3$ на лопасти 32 со стороны камер U_1, U_2, U_3 начинают действовать силы разницы давления

$$R_1 = R_2 = R_3 = \Delta p A,$$

где A – площадь боковой поверхности лопасти), которые создают суммарный крутящий момент на роторе 28

$$M_{кр} = R_1 H + R_2 H + R_3 H = 3 \Delta p A H$$

относительно продольной оси ротора – точки О.

Рис. 4. Расчетная схема действия шарнирного приводного соединения [6, 7]

Крутящий момент $M_{кр}$, создаваемый на лопастях 32, передается через втулку 31 и шпонку 30 на ротор 28, поворачивая его против часовой стрелки. Далее с помощью шлицевых соединений концов ротора 28 с хомутами 39 и сами хомуты крутящий момент $M_{кр}$ передается на рукоять 5, обеспечивая ее поворот в вертикальной плоскости против часовой стрелки и, таким образом, обеспечивая подъем грузозахватного органа 6 с полезным грузом 10. Максимальный угол поворота β рукояти 5 определяется наибольшим возможным углом поворота лопасти 32 между двумя соседними перегородками 21. Опыт проектирования поворотных гидродвигателей для силовых гидроприводов различных машин показывает [5], что

$$\beta \approx (0,70...85)\alpha.$$

При подключении опускных трубопроводов 27 к напорной гидролинии силового гидропривода крана-манипулятора рабочая жидкость под высоким давлением p_1 поступает в камеры V_1, V_2, V_3 . Одновременно с этим подъемные трубопроводы 27 подключаются к сливной гидролинии силового гидропривода крана-манипулятора и находящаяся в камерах U_1, U_2, U_3 рабочая жидкость под низким давлением p_2 удаляется из них. Физические процессы, протекающие при этом, аналогичны описанным выше, однако силы разницы давления R_1, R_2, R_3 и крутящий момент $M_{кр}$ направлены в противоположную сторону. Как результат, рукоять 5 совершает поворот в вертикальной плоскости по часовой стрелке, обеспечивая опускание грузозахватного органа 6 и полезного груза 10.

Увеличение количества пар перегородок 21 и лопастей 32 приводит к следующим результатам:

1) величина крутящего момента $M_{кр}$, передаваемого на рукоять, увеличивается, а, следовательно, увеличивается вес перемещаемого полезного груза и номинальная грузоподъемность крана-манипулятора;

2) уменьшается максимально возможный угол поворота β рукояти в вертикальной

плоскости, а, следовательно, снижается рабочая зона, в пределах которой у рукояти имеется возможность манипулировать полезным грузом.

Поэтому предложенная конструкция имеет три варианта конструктивного исполнения, отличающихся количеством пар перегородок и лопастей – три, четыре и пять пар. При количестве пар перегородок и лопастей меньше трех величина передаваемого крутящего момента $M_{кр}$ оказывается недостаточной для создания крана-манипулятора удовлетворительной номинальной грузоподъемности. При количестве пар больше пяти величина угла поворота β рукояти в вертикальной плоскости оказывается неудовлетворительно малой (не более $50...55^\circ$) с точки зрения возможности эффективности манипулирования полезным грузом в пространстве рабочей зоны крана-манипулятора.

С целью автоматизации оптимизационных расчетов при проектировании приводных соединений шарнирно-сочлененных поворотных звеньев гидравлических кранов-манипуляторов многоцелевых мобильных транспортно-технологических машин и комплексов была разработана и защищена свидетельством о государственной регистрации программа для ЭВМ «Оптимизация приводных соединений звеньев гидравлических кранов-манипуляторов» [8].

С помощью программы [8] выполняется оценка оптимального сочетания основных конструктивных размеров цилиндрического шарнирного соединения типа шиберного поворотного гидродвигателя, обеспечивающая минимизацию такого показателя качества приводного соединения звеньев, как его масса, с учетом системы конструкторских и прочностных ограничений.

Структурная схема программы «Оптимизация приводных соединений звеньев гидравлических кранов-манипуляторов» [8] включает в себя головную процедуру *Optimization_Driven_Joint_Crane_Manipulator*, 6 процедур типа Procedure:

- *BeginPointOptimization* – формирование начальной точки оптимизации;
- *CelFun* – расчет целевой функции приводного шарнирного соединения;

- *DetModulG* - определение модуля шлицевого соединения выходного вала;
- *DetZ* - вычисление неуправляемых параметров приводного шарнирного соединения;
- *Ogran* - проверка системы ограничений приводного шарнирного соединения;
- *Optimizer* - оптимизация приводного шарнирного соединения.

Программа написана на алгоритмическом языке Pascal и предназначена для использования на персональных компьютерах, оснащенных операционной системой типа Windows XP, 7, 8, 10.

Алгоритмическое обеспечение указанной программы базируется на оптимизационной математической модели и теоретических разработках, представленных в [6, 7]. В этих работах оптимизационная математическая модель приводного шарнирного соединения позволяет минимизировать его массу при выполнении комплекса необходимых конструкторских, монтажных, режимных и прочностных ограничений. Было проведено исследование влияния основных технических характеристик и величины эксплуатационной нагрузки на оптимальную массу и оптимальные конструктивные размеры приводных шарнирных соединений. Показано [6, 7], что при обеспечении равных грузо-высотных характеристик мобильного крана-манипулятора приводное шарнирное соединение позволяет исключить ряд эксплуатационных недостатков традиционного шарнирного соединения:

- развития с течением времени дополнительной динамической нагруженности металлоконструкции вследствие увеличения зазоров в соединении;
- снижения объема рабочей зоны крана из-за наличия выносных силовых гидродвигателей, появления отказов вследствие усталостного разрушения элементов узлов крепления силовых гидродвигателей к звеньям манипуляционной системы.

При этом возможен перевод гидросистемы на меньшие уровни рабочего давления, что приводит к повышению энергоэффективности крана-манипулятора и коэффициента полезного действия гидропривода в це-

лом, а также к снижению эксплуатационных затрат на обслуживание.

2.2. Моделирование рабочих процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин

С целью моделирования нестационарных гидродинамических процессов, протекающих в гидроприводах манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин в ходе их эксплуатации при поворотном движении (прямом и обратном) отдельных звеньев шарнирно-сочлененной несущей металлоконструкции были разработаны и защищены свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ «Моделирование дроссельно-регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при раздельном движении звеньев» [9] и «Моделирование дроссельно-регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при совместном движении звеньев» [10]. Обе программы написаны на алгоритмическом языке Pascal и предназначены для использования на персональных компьютерах, оснащенных операционной системой типа Windows XP, 7, 8, 10.

Программа [9] позволяет моделировать изменение во времени таких основных технических характеристик гидропривода, как давления и расходы рабочей жидкости в характерных точках по длине гидросистемы, перепад давления на поршне гидроцилиндра и мгновенная мощность гидропривода, а также кинематических параметров движения звеньев (угла поворота, угловой скорости и углового ускорения) при раздельном поворотном движении отдельных звеньев для двух типов их конструктивного исполнения (без и с наличием вспомогательного рычага). Конструктивное исполнение указанных звеньев приведено в [11]. Для этого предусмотрены 4 варианта расчета, каждый из которых соответствует одному из 4 возможных вариантов движения звеньев:

- 1 вариант движения – подъем прямолинейного звена;

- 2 вариант движения – опускание прямолинейного звена;
- 3 вариант движения – подъем звена с рычагом;
- 4 вариант движения – опускание звена с рычагом.

Структурная схема программы включает в себя главную процедуру *Dynamics_of_Hydraulic_Drives_with_Throttle_Regulation_and_Separate_Motion_of_Links*, 22 процедур типа Procedure и 2 процедуры типа Function [12].

Результатом выполнения компьютерной программы является расчет изменения во времени отработки движения звена следующих данных:

- 1) величины, скорости и ускорения перемещения штока силового гидроцилиндра;
- 2) угла, угловой скорости и углового ускорения поворота звена манипуляционной системы;
- 3) давления и объемного расхода рабочей жидкости в характерных точках гидросистемы;
- 4) объемного расхода рабочей жидкости через напорный предохранительный клапан;
- 5) перепада давления рабочей жидкости на гидроцилиндре;
- 6) перепада давления на входном и выходном регулируемых дросселях;
- 7) мгновенной мощности приводного электродвигателя насоса.

Алгоритмическое обеспечение компьютерной программы «Моделирование дроссельно-регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при раздельном движении звеньев» [9] базируется на функционально-структурной схеме и математической модели гидродинамических процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе, представленных в [12].

Компьютерная программа «Моделирование дроссельно-регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при совместном движении звеньев» [9] позволяет моделировать нестационарные гидродинамические процессы в гидроприводах манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин в ходе их эксплуатации при совместном поворотном движении (прямом и обратном) двух

звеньев шарнирно-сочлененной несущей металлоконструкции с учетом как одновременного начала движения обоих звеньев, так и опережающего начала движения одного из звеньев.

Структурная схема программы включает в себя главную процедуру *Dynamics_of_Hydraulic_Drives_with_Throttle_Regulation_and_Conjoint_Motion_of_Links*, 24 процедур типа Procedure и 3 процедуры типа Function [13].

Результатом выполнения компьютерной программы является расчет изменения во времени отработки движения звеньев данных, аналогичных программе [9].

Алгоритмическое обеспечение компьютерной программы «Моделирование дроссельно-регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при совместном движении звеньев» [10] базируется на функционально-структурной схеме и математической модели гидродинамических процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе, представленных в [11].

3. Объекты промышленной собственности в области конвейеров с подвесной грузонесущей лентой и распределенным приводом

Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой относительно новый вид конвейерного транспорта, альтернативный традиционным ленточным конвейерам [14]. Обладая рядом заметных преимуществ перед последними, конвейеры с подвесной лентой в настоящее время продолжают совершенствоваться, в частности, в направлении использования распределенного (многоприводного) мехатронного механизма перемещения ленты и транспортируемого груза [15].

3.1. Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом

Конструкция конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом была защищена патентом на полезную модель [16]. Данный объект промышленной собственности

сти относится к области машин непрерывного транспорта, а именно, к ленточным конвейерам. Конструкция позволяет повысить безопасность эксплуатации конвейера с подвесной лентой и уменьшить массогабаритные параметры одного из ключевых узлов - приводных и не приводных подвесок - конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Применение гибких стальных канатов или цепей, последовательно соединяющих подвески, позволяет минимизировать напряжения в ленте, а также исключить самопроизвольное движение в обратном направлении грузонесущей ленты с подвесками при ее обрыве, что способствует увеличению ресурса ленты, повышению надежности и безопасности конвейера. Кроме того, компактные размеры и сниженная масса, позволяют сократить величину напряжений в гибких стальных канатах или цепях и конвейерной ленте, возникающих под действием сил инерции подвесок и имеющих особенно высокие значения при движении подвесок по криволинейным участкам трассы или при большом количестве не приводных подвесок, так как в таком случае мощность привода приводной подвески, а, следовательно, и ее массогабаритные параметры увеличиваются нелинейно.

Существенным недостатком известных конструкций конвейеров с подвесной лентой является наличие движущихся вдоль трассы открытых механизмов – перемещающихся по направляющим качения многороликовых подвесок, оснащенных электрооборудованием под напряжением, которые представляют опасность для здоровья рабочих и обслуживающего персонала. Кроме того, обеспечение качественного сцепления приводных роликов приводных подвесок с направляющими качения требует не только повышения усилия прижимных устройств, но и увеличения диаметра самих колес, что в совокупности с массогабаритными параметрами моторедукторов приводит к увеличению габаритов всей подвески. Крупные размеры и масса приводных подвесок вследствие возрастания сил инерции при пуске и торможении, а также при их движении по криволинейным участкам приводят к увеличению нагруженно-

сти элементов и ленты конвейера. Также в таких конвейерах отсутствуют устройства, удерживающие грузонесущую конвейерную ленту с подвесками от самопроизвольного движения в обратном направлении при ее обрыве.

Внешний вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, выполненного в соответствии с предложенной в [16] конструкцией, приведен на рис. 5. На рис. 6 показано расположение приводной подвески внутри направляющего пути.

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом содержит став, с закрепленными на нем направляющими путями 1 и токоведущими троллейными шинпроводами 2, многороликовые приводные 3 и не приводные 4 подвески, последовательно соединенные между собой гибкими стальными канатами или цепями 5, перемещающиеся внутри направляющих путей 1 и увлекающие за собой бесконечно замкнутую конвейерную ленту 6, удерживаемую в подвешенном между направляющими путями 1 положении, а также стационарные поддерживающие опоры, установленные в местах трассы, на которых конвейерная лента 6 выложена.

Направляющие пути, позволяющие реализовывать трассу неограниченной длины и произвольной пространственной конфигурации с прямолинейными, наклонными, поворотными, желобообразующими и выполаживающими участками выполнены составными из одинаковых направляющих качения 7. В их качестве могут быть использованы, например, равнополочные уголки или комбинированные конструкции, сконфигурированные из любых других профилей сортового или фасонного проката. По всей длине трассы конвейера направляющие пути имеют С-образную обшивку 8 из диэлектрического материала, выполненную сплошной по трем сторонам поперечного сечения направляющих путей и разомкнутую по граням, ориентированную к конвейерной ленте 6. Внутри направляющих путей на одной из стенок обшивки 8 по всей длине трассы конвейера расположен токоведущий троллейный шинпровод 2. Направляющие качения 7

Рис. 5. Внешний вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:

а - трехмерный вид с местными вырезами элементов [16]; б - трехмерный вид разреза направляющего пути в месте движения приводной подвески

(1 - направляющий путь; 2 - токоведущий троллейный шинопровод; 3 – приводная подвеска; 4 – неприводная подвеска; 5 - гибкий стальной канат или цепь; 6 – конвейерная лента; 7 – направляющая качения; 8 – обшивка; 9 - П-образный кронштейн; 10 – прямоугольный люк; 11 – мотор-колесо; 12 – траверса; 13 – прижимной механизм; 14 – цилиндрическая направляющая; 15 – рама; 16 – пружина сжатия; 17 – регулировочная гайка; 18 – холостой ролик; 19 – блок токосъемников; 20 – кронштейн; 21 – узел крепления ленты; 22 – крепление; 23 – рама; 24 – крепление)

Рис. 6. Расположение приводной подвески внутри направляющего пути

и обшивки 8 на различных участках трассы имеют прямоугольные люки 10 с размерами, большими или равными габаритным размерам подвесок. Они располагаются на гранях направляющих путей со сплошными обшивками 8 без токоведущего троллейного шинопровода 2. Гибкие стальные канаты или цепи 5 не ограничиваются какими-либо определенными типоразмерами. Они могут иметь длину, достаточную для присоединения двух соседних, последовательно расположенных в направляющем пути подвесок. Концы гиб-

ких стальных канатов или цепей 5 могут иметь любые известные крепления, например болтовые зажимы, заплетку, опрессовку, клиновый зажим.

Приводные подвески 3 (рис. 7) имеют прямоугольную пространственную конфигурацию и используют в качестве приводного механизма мотор-колесо 11, расположенное снаружи приводной подвески вдоль стороны, ориентированной в направлении конвейерной ленты 6. Выходная ось мотор-колеса жестко закреплена в траверсе 12 прижимного механизма 13, которая имеет возможность вертикального перемещения по цилиндрической направляющей 14 и ограничена в угловом и линейном перемещении с использованием любого способа крепежа. Сама же рама 15 приводной подвески в центральной своей части выполнена в виде объемного жесткого каркаса, позволяющего разместить прижимной механизм 13 и ось мотор-колеса 11, а по противоположным краям имеет окончания прямоугольного поперечного сечения. По их трем сторонам симметрично относительно вертикальной оси, проведенной через центр приводной подвески, расположены кронштейны с консольно-закрепленными на них на расстоянии, необходимом для контакта с

полками направляющих качения 7, холостыми роликами 18 с бочкообразной или цилиндрической формой поверхности качения из низкофрикционного материала. Кроме того, на одной из сторон рамы 15 приводной подвески, соответствующей стороне направляющего пути 1, содержащей токоведущий троллейный шинопровод 2, установлен блок токоъемников 19. Кронштейны 20 узла крепления ленты 21 вынесены через проем в

обшивке 8 перпендикулярно раме 15 приводной подвески со стороны мотор-колеса 11 на расстояние, достаточное для крепления ленты 6 снаружи направляющего пути. Торцевые стороны приводной подвески 3 имеют крепления 22, например, проушины, прижимные планки, рым-болты, предназначенные для присоединения стального каната или цепи 5 в направлении движения подвесок по направляющему пути.

Рис. 7. Конструкция приводной подвески:
а – вид со стороны мотор-колеса; б – вид с обратной стороны

Неприводная подвеска 4 имеет раму 23 балочной конструкции с окончаниями прямоугольного поперечного сечения. По их трем сторонам симметрично относительно вертикальной оси, проведенной через центр неприводной подвески 4, расположены кронштейны с консольно-закрепленными на них холостыми роликами 18 с бочкообразной или цилиндрической формой поверхности качения и низкофрикционного материала. Кронштейны 20 узла крепления ленты 21 вынесены через проем в обшивке 8 перпендикулярно раме 23 неприводной подвески 4 на расстояние, достаточное для крепления ленты 6 снаружи направляющего пути. Торцевые стороны рамы 23 неприводной подвески могут иметь крепления 24, например, проушины, прижимные планки, рым-болты, предназначенные для присоединения стального каната или цепи 5 небольшой длины, соединяющего соседние в направлении движения подвески на одном направляющем пути.

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом работает следующим образом. Приводные 3 и неприводные 4 подвески, размещенные с постоянным шагом

внутри параллельно установленных симметричных направляющих путей вдоль трассы конвейера неограниченной длины и произвольной пространственной конфигурации, посредством узлов крепления 21 удерживают конвейерную ленту 6 и транспортируемый материал в пролете между направляющими путями 1 в подвешенном положении. Нагрузка, передаваемая со стороны грузонесущей конвейерной ленты через узлы крепления 21 и рамы 15 и 23 подвесок, действует на консольно-установленные холостые ролики 18 приводных и неприводных подвесок. Они контактируют в разных плоскостях с полками направляющих качения 7 таким образом, что ограничивается возможное поперечное вращение подвесок внутри направляющих путей. Электрический ток, подаваемый на троллейный шинопровод 2, расположенный на внутренней стенке диэлектрической обшивки 8, которая обеспечивает защиту эксплуатационного и обслуживающего персонала от токоведущих и движущихся элементов конвейера, протекает в нем вдоль трассы конвейера и через щетки блоков токоъемников 19 приводных подвесок, снима-

ется и передается на мотор-колеса 11. Вращаясь, мотор-колеса вызывают поступательное движение приводных подвесок вдоль направляющих путей. Неизменное продольное направление движение мотор-колес 11 обеспечивается за счет жесткой фиксации их выходных осей в траверсах 12 прижимных механизмов 13. При этом пружины сжатия 16, размещенные поверх цилиндрических направляющих 14 и посаженные на резьбы полых цилиндрических направляющих 14, обеспечивают надежное прижатие мотор-колес к направляющим качения. Это исключает проскальзывание при движении вдоль направляющих путей на всем протяжении трассы. Таким образом, движущиеся по направляющим качения 7 приводные подвески 3 посредством стальных канатов или цепей 5 сообщают движение неприводным подвескам. Через узлы крепления ленты 21 приводные и неприводные подвески увлекают за собой конвейерную ленту с расположенным на ней транспортируемым грузом. Перемещаясь вдоль трассы, конвейерная лента 6 за счет различного расстояния между направляющими путями изменяет форму поперечного сечения. Так, на загрузочных участках, концевых поворотных и холостой ветви за счет большого расстояния между направляющими путями конвейерная лента выполнена, а на грузонесущей ветви, ввиду меньшего пролета между направляющими путями конвейерная лента 6 имеет желобчатую форму поперечного сечения. При этом переход от одного состояния к другому осуществляется при движении подвесок по переходным выполаживающим и желобообразующим участкам трассы конвейера. Кроме того, установленные на загрузочных, поворотных, желобообразующих и выполаживающих участках стационарные роликовые опоры или гладкие настилы, а также размещенные на концевых поворотных участках барабаны, катки, стационарные роликовые опоры или гладкие настилы поддерживают грузонесущую ленту, значительно снижая напряжения в ней и величину усилия, действующего на подвески со стороны узла крепления ленты 21.

3.2. Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при различных причинах отказов приводных и неприводных подвесок

С целью автоматизации моделирования кинематики и динамики нестационарных рабочих процессов, происходящих во время эксплуатации ленточных конвейеров с подвесной грузонесущей лентой и распределенным электроприводом при различных потенциально возможных аварийных режимах их работы конвейеров, были разработаны и защищены свидетельствами о государственной регистрации следующие программы для ЭВМ:

- «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при отказах электропитания» [17];
- «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов» [18];
- «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании холостых роликов» [19].

Эти программы предназначены для использования на персональных компьютерах, оснащенных операционной системой типа Windows XP, 7, 8, 10.

С помощью указанных программ [17-19] выполняются расчеты, связанные с определением величины и скорости перемещения приводных и неприводных грузонесущих подвесок вдоль трассы конвейера с подвесной лентой. Программы позволяют на этапе проектирования аналогичных типов конвейеров выполнить анализ влияния конструктивных и режимных параметров конвейера на его кинематические и динамические характеристики в течение аварийных режимов работы, что позволяет конструктору более эффективно разрабатывать мероприятия, направленные на повышение устойчивости работы конвейеров при нерасчетных условиях эксплуатации.

Структурные схемы программ разработаны в едином алгоритмическом стиле и включают 16 процедур типа Procedure:

- *DetAngles* - вычисление углов наклона участка трассы конвейера к горизонту и углов наклона бортов ленты;
 - *DetFcc* - вычисление силы сцепления приводного ролика;
 - *DetInstantPower* - вычисление мгновенной суммарной мощности приводных подвесок конвейера;
 - *DetInMn* - вычисление момента инерции и массы неприводной подвески;
 - *DetIpMp* - вычисление момента инерции и массы приводной подвески;
 - *DetMkr* - вычисление крутящего момента, создаваемого мотор-редуктором;
 - *DetPointXcoord* - определение положения ролика вдоль трассы конвейера;
 - *DetTension* - определение максимального напряжения растяжения в ленте в поперечном направлении от изгиба и растяжения;
 - *DetWidthGr* - определение расстояния от борта ленты до груза;
 - *MaxCurve* - определение максимальной кривизны поперечного сечения ленты;
 - *Motion* – интегрирование системы дифференциальных уравнений движения подвесок конвейера методом Рунге-Кутты 4-го порядка;
 - *Mpriv* - вычисление моментов сопротивления приводных и неприводных подвесок;
 - *SplInt* – сплайн-интерполяция дискретно заданной функции кубическими полиномами;
 - *Stress* - расчет сил и напряжений в конвейерной ленте;
 - *Uraavn* - вычисление правой части системы дифференциальных уравнений движения подвесок конвейера (с учетом конкретного типа отказа);
 - *VectorBeg* - построение векторов начальных условий при интегрировании системы дифференциальных уравнений движения подвесок конвейера;
- и 1 процедуры типа Function:
- *AprSpl* - расчет значения одномерной функции по ее кубическому сплайну.

Алгоритмическое обеспечение компьютерной программы «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при отказах электропитания» [17] базируется на динамической математической модели и теоретических разработках, представленных в [15, 20].

Алгоритмическое обеспечение компьютерной программы «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов» [18] базируется на динамической математической модели и теоретических разработках, представленных в [21].

Алгоритмическое обеспечение компьютерной программы «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании холостых роликов» [19] базируется на динамической математической модели и теоретических разработках, представленных в [22].

Заключение

Для создаваемых в Брянском государственном университете имени академика И.Г. Петровского объектов интеллектуальной деятельности продолжает реализовываться традиционный подход, основанный на тесном сочетании конструкторских решений новых объектов промышленной собственности и их теоретического анализа на базе разработки соответствующих математических моделей и расчетных компьютерных программ.

Такой подход оказывается плодотворным с точки зрения разработки единых технологий в сфере машиноведения и машиностроения, позволяет получать научно обоснованные технические решения применительно к манипуляционным системам мобильных транспортно-технологических машин и конвейерам с подвесной грузонесущей лентой.

Список литературы

1. Научный сайт БГУ имени академика И.Г. Петровского. – Режим доступа: <http://nauka-brgu.ru/>.
2. Бандурин, Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России / Р.А. Бандурин // Проблемы современной экономики. – 2015. – № 26. – С. 138-142.
3. Пат. 176269 Российская Федерация, МПК В66С 23/44. Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор / Лагереv А.В., Лагереv И.А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2017131959; заявл. 12.09.2017; опубл. 15.01.2018; Бюл. № 2. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1307472>
4. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы / В.К. Свешников, А.А. Усов. – М.: Машиностроение, 1988. – 512 с.
5. Лагереv, А.В. Проектирование насосных гидроприводов подъемно-транспортной техники / А.В. Лагереv. – Брянск: БГТУ, 2006. – 232 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311892>
6. Лагереv, А.В. Оптимальный синтез приводных шарнирных соединений гидравлических манипуляционных систем мобильных кранов / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv // Записки Горного института. – 2018. – Т. 232. – С. 413-420. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2018.4.413>
7. Лагереv, А.В. Проектирование и исследование приводных шарнирных соединений звеньев гидравлических манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №1. – С. 14-30. DOI: [10.22281/2413-9920-2018-04-01-14-30](https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-01-14-30)
8. Оптимизация приводных соединений звеньев гидравлических кранов-манипуляторов / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv. – Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018612666. – Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 21.02.18.
9. Моделирование дроссельно-

References

1. Scientific site of the BSU named after Academician I.G. Petrovskii. Available at: <http://nauka-brgu.ru/> (In Russian)
2. Bandurin R.A. The market for cranes in Russia. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2015, No.26, pp. 138-142. (In Russian)
3. Patent RU 176269. *Tryekhzhvennyy gidravlicheskiy kran-manipulator* [The three-tier hydraulic crane-manipulator]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 12.09.2017. Published 15.01.2018. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1307472> (In Russian)
4. Sveshnikov V.K., Usov A.A. *Stanochnye gidroprivody* [Machine tool hydraulic drives]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 512 p. (In Russian)
5. Lagerev A.V. *Proektirovanie nasosnykh gidroprivodov podemno-transportnykh mashin* [The design of pump hydraulic drives of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2006. 232 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311892> (In Russian)
6. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal Synthesis of Drive Swing Connections of Mobile Cranes Hydraulic Manipulating Systems. *Journal of Mining Institute*, 2018, Vol. 232, p. 413-420. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2018.4.413>
7. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Design and study of drive swivel joints for hydraulic manipulation systems of mobile transport-technological machines. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.1, pp. 14-30. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-01-14-30> (In Russian)
8. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Optimizatsiya privodnykh soedineniy zveney gidravlicheskikh kranov-manipulatorov. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Optimization of the driving connection parts of hydraulic cranes. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2018612666, 2018. (In Russian)
9. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tolkachev E.N. *Modelirovanie drosselno-reguliruemogo*

регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при раздельном движении звеньев / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, Е.Н. Толкачев. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018666608. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 19.12.18.

10. Моделирование дроссельно-регулируемого гидропривода манипуляционной системы мобильной машины при раздельном движении звеньев / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018666946. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 25.12.18.

11. Лагереv, И.А. Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации / И.А. Лагереv, А.В. Лагереv. - Брянск: РИО БГУ, 2018. - 190 с. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622>

12. Лагереv, А.В. Моделирование рабочих процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при раздельном движении звеньев / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2018. - №4. - С. 355-379. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-355-379>

13. Лагереv, А.В. Моделирование рабочих процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при совместном движении звеньев / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2019. - №1. - С. 59-82. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-01-59-82>

14. Лагереv, А.В. Проектирование и исследование конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. - Брянск: РИО БГУ, 2016. - 303 с.

15. Лагереv, А.В. Моделирование рабочих процессов и проектирование многоприводных ленточных конвейеров / А.В.

gidroprivoda manipulyatsionnoy sistemy mobilnoy mashiny pri razdelnom dvizhenii zvenev. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM [Modeling of the throttle-adjustable hydraulic drive of the manipulation system of the mobile machine during the separate movement of links]. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2018666608, 2018. (In Russian)

10. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Modelirovanie drosselno-reguliruemogo gidroprivoda manipulyatsionnoy sistemy mobilnoy mashiny pri sovmestnom dvizhenii zvenev. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM [Modeling of the throttle-adjustable hydraulic drive of the manipulation system of the mobile machine during the conjoint movement of links]. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2018666946, 2018. (In Russian)*

11. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Sovremennaya teoriya manipulatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselovykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Konstruktsiya i usloviya ekspluatatsii [Modern theory of manipulation systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes. Design and operating conditions]. Bryansk, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, 2018. 190 p. ISBN 978-5-9734-0295-2. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622> (In Russian)*

12. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Modeling of working processes in the throttle-adjustable hydraulic drive of manipulation systems with separate movement of links during operation of mobile machines. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.4, pp. 355-379. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-355-379> (In Russian)

13. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Modeling of working processes in the throttle-adjustable hydraulic drive of manipulation systems with conjoint movement of links during operation of mobile machines. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.1, pp. 59-82. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-01-59-82>

Лагереv, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров. – Брянск: РИО БГУ, 2017. – 384 с.

16. Пат. 180244 Российская Федерация, МПК В65G 15/08; В65G 15/60; В65G 23/00. Конвейер с подвесной лентой / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». № 2017140299; заявл. 20.11.2017; опубл. 06.06.2018; Бюл. № 16.

17. Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при отказах электропитания / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев, И.А. Лагереv. - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610240. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 09.01.18.

18. Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев, И.А. Лагереv. - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610638. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 15.01.18.

19. Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании холостых роликов / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев, И.А. Лагереv. - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610637. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 15.01.18.

20. Толкачев, Е.Н. Математическая модель отказа приводов ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при разрыве электроцепи / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - № 2. – С. 178-189.

DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189>

21. Толкачев, Е.Н. Математическая модель отказа приводов ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при

01-59-82 (In Russian)

14. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the conveyor with hanging ribbon]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 303 p.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1197308> (In Russian)

15. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov i proektirovanie mnogoprivodnykh lentotchnykh konveyerov* [Modeling of work processes and design of multi-drive belt conveyors]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612> (In Russian)

16. Patent RU 180244. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Declared 20.11.2017. Published 06.06.2018. (In Russian)

17. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. *Modelirovanie dinamiki konveyerov s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom pri otkazakh elektropitaniya. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Modeling the dynamics of conveyors with suspended belt and distributed drive in case of power failures]. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2018610240, 2018. (In Russian)

18. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. *Modelirovanie dinamiki konveyerov s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom pri zaklinivanii privodnykh rolikov. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Modeling the dynamics of conveyors with a suspended belt and a distributed drive when jamming the drive rollers]. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2018610638, 2018. (In Russian)

19. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. *Modelirovanie dinamiki konveyerov s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom pri zaklinivanii kholostykh rolikov. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Modeling the dynamics of conveyors with a suspended belt and a distributed drive when jamming the idle rollers]. The Certificate

заклинивании приводных роликов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - № 3. – С. 333-343. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343>

22. Толкачев, Е.Н. Математическая модель отказа ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании холостых роликов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. - № 3. – С. 283-291.

DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-03-283-291>

on official registration of the computer program]. No. 2018610637, 2018. (In Russian)

20. Tolkachev E.N. Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at break in the electric chain. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.2, pp. 178-189. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189> (In Russian)

21. Tolkachev E.N. Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at jamming rollers. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.3, pp. 333-343. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343> (In Russian)

22. Tolkachev E.N. Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at jamming non-drive rollers. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.3, pp. 283-291. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-03-283-291> (In Russian)