

ISSN 2413-9920

**Научно-технический  
ВЕСТНИК  
Брянского  
государственного  
университета**

**№ 2  
2015**

**Химические науки  
Технические науки  
Науки о Земле**

**Nauchno-tekhnicheskiy  
VESTNIK  
Bryanskogo  
gosudarstvennogo  
universiteta**

**Scientific and Technical Journal of  
Bryansk State University**

**№ 2  
2015**

**Chemical Science  
Engineering Science  
Earth Science**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 2  
(2015). Брянск: РИО БГУ, 2015. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Размещено на официальном сайте журнала: 25.12.2015

**Председатель Редакционного совета:**

*А.В. Антюхов* – доктор филологических наук, профессор, ректор Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского.

**Редакционная коллегия:**

*Я.Г. Авдеев* - доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Института физической химии и электрохимии РАН (г. Москва);

*Д.В. Артамонов* – доктор технических наук, директор Политехнического института Пензенского государственного университета;

*Л.М. Ахромеев* – кандидат географических наук, заведующий кафедрой Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (**заместитель главного редактора**);

*И.В. Барынкина* – кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского;

*С.П. Белов* – кандидат химических наук, доцент Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского;

*А.В. Вершинский* – доктор технических наук, заведующий кафедрой Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана;

*А.М. Воронин* – кандидат педагогических наук, декан факультета технологии и дизайна Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского;

*В.В. Ерохин* – доктор технических наук, профессор Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского;

*А.П. Катровский* - доктор географических наук, научный руководитель Смоленского гуманитарного университета;

*А.А. Короткий* – доктор технических наук, заведующий кафедрой Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону);

*С.А. Куролан* - доктор географических наук, заведующий кафедрой Воронежского государственного университета;

*А.В. Лагереv* – доктор технических наук, заместитель директора НИИ фундаментальных и прикладных исследований Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (**главный редактор**);

*И.А. Лагереv* – кандидат технических наук, проректор по инновационной работе Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского;

*И.В. Мельников* – кандидат биологических наук, начальник Редакционно-издательского отдела Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (**ответственный секретарь**);

*В.М. Пашкевич* – доктор технических наук, проректор по научной работе Белорусско-Российского университета (г. Могилев, Беларусь);

*И.А. Полянин* – доктор технических наук, заведующий кафедрой Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола);

*С.В. Шлееv* – доктор химических наук, профессор Университета Мальмё (Швеция);

*Н.Г. Ярушкина* – доктор технических наук, первый проректор-проректор по научной работе Ульяновского государственного технического университета;

*О.С. Щетинская* – кандидат химических наук, доцент Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского (**заместитель главного редактора**).

**Editorial Council Chairman:**

*A.V. Antyukhov* – Doctor of Philological Sciences, Professor, Rector at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University.

**Editorial Board:**

*Ya.G. Avdeev* – Doctor of Chemical Sciences, Leading Researcher of the Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS (Moscow);

*I.V. Barynkina* - Candidate of Pedagogical Sciences, Head of chair at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University;

*D.V. Artamonov* – Doctor of Technical Sciences, Director of Polytechnic Institute at Penza State University;

*L.M. Akhromeev* – Candidate of Geographical Sciences, Head of chair at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (**vice chief editor**);

*S.P. Belov* – Candidate of Chemical Sciences, Associate professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University;

*A.V. Vershinsky* - Doctor of Technical Sciences, Head of chair Moscow State Technical University named N.E. Bauman;

*A.M. Voronin* – Candidate of Pedagogical Sciences, Dean of Technology and Design Faculty at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University;

*V.V. Erokhin* - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University ;

*A.P. Katrovskiy* – Doctor of Geographical Sciences, Scientific director at Smolensk Humanitarian University;

*A.A. Korotky* - Doctor of Technical Sciences, Head of chair at Donskoy State Technical University;

*S.A. Kurolap* - Doctor of Geographical Sciences, Head of chair at Voronezh State University;

*A.V. Lagerev* - Doctor of Technical Sciences, Vice director of Institute of basic and applied research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (**chief editor**);

*I.A. Lagerev* – Candidate of Technical Sciences, Vice rector at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University;

*I.V. Melnikov* – Candidate of Biological Sciences, Chief of Editorial-publishing Department at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (**executive secretary**);

*V.M. Pashkevich* - Doctor of Technical Sciences, Vice rector at Belarusian-Russian University (Belarus Republic, Mogilev);

*I.A. Polyinin* - Doctor of Technical Sciences, Head of chair at Povolzhskiy State Technical University (Yoshkar-Ola);

*S.V. Shleev* – Doctor of Chemical Sciences, Professor at Malmö University (Sweden, Malmö);

*N.G. Yarushkina* - Doctor of Technical Sciences, first Vice rector at Ulyanovsk State Technical University;

*O.S. Shchetinskaya* - Candidate of Chemical Sciences, Associate professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (**vice chief editor**).

Ответственность за точность фактологического материала, используемого в статьях, несут авторы.

© РИО БГУ, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### Машиностроение и машиноведение

- Ерохин В.В.*  
Инженерия поверхностей деталей станочных приспособлений ..... 9
- Лагереv И.А.*  
Повышение трещиностойкости и живучести элементов узлов соединений секций грузоподъемных стрел крано-манипуляторных установок мобильных машин ..... 16

#### Транспортное, горное и строительное машиностроение

- Бословяк П.В., Зуева Е.П.*  
Анализ влияния конструктивных и режимных параметров стационарных конвейеров с подвесной лентой на результаты оптимального проектирования их металлоконструкции ..... 23
- Гончаров К.А.*  
Определение зон относительного скольжения и покоя грузонесущей и тяговой лент при использовании промежуточных приводов ленточных конвейеров ..... 31
- Лагереv И.А., Мильто А.А., Лагереv А.В.*  
Снижение ударной нагрузки, вызываемой люфтом в шарнирных соединениях звеньев крано-манипуляторных установок ..... 37
- Толкачев Е.Н.*  
Особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, в зависимости от их пространственной конфигурации на трассе ..... 44

#### Информатика, вычислительная техника и управление

- Лозбинев Ф.Ю., Колесник Е.В., Гамов А.А.*  
Совершенствование методов оценки надежности мультисервисной корпоративной сети связи на основе логико-вероятностного подхода ..... 52

#### Безопасность деятельности человека

- Белова Т.И., Сухов С.С., Кончиц С.В.*  
Теоретическое обоснование модели обеспечения безопасности системы самоходных транспортных машин ..... 67

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Чернышев А.А., Казаков С.Г.*  
Факторы, влияющие на гидрологический режим рек и водно-болотных комплексов Суджанского ландшафта в Курской области ..... 71
- Шмакова М.В.*  
Сравнительный анализ формул общего расхода наносов на примере рек США .... 80

**НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Лагереv А.В., Селянин Е.М.*

Патент RU № 155734 на полезную модель «Устройство для промежуточной разгрузки конвейера с подвесной лентой» ..... 88

*Селезнев В.А., Татаринцева Т.И., Жимоедова Н.Л.*

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620266 «Виртуальные наглядные пособия по учебной дисциплине «Инженерная графика» ..... 91

*Матяш Н.В., Володина Ю.А.*

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620516 «Информационно-дидактический комплекс «Жестокое обращение с детьми: система психологической помощи» ..... 93

## CONTENT

### ENGINEERING SCIENCE

#### Machinery Building and Theoretical Engineering

- Erokhin V.V.*  
Engineering of surfaces of details of machine tool adaptations ..... 9
- Lagerev I.A.*  
Increasing the cracking resistance and the survivability of the elements the joints of the sections of the jib crane-manipulating installations of mobile machines ..... 16

#### Transport, Mining and Construction Machinery

- Boslovyak P.V., Zueva E.P.*  
Analysis of influence of constructive and regime parameters stationary conveyor with hanging ribbon for their optimum design of steel structures ..... 23
- Goncharov K.A.*  
Determination of relative immobile and sliding areas between carrying and tractive belts in using of belt conveyor intermediate drives ..... 31
- Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V.*  
Reducing the impact load arising from the looseness in joints of articulating cranes ..... 37
- Tolkachev E.N.*  
Specifics of determining the forces are applied to the suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive, depending on their spatial configuration on the route ..... 44

#### Informatics, Computer Science and Controlling

- Lozbinev F.Yu., Kolesnik E.V., Gamov A.A.*  
Improvement of the methods of the estimation of reliability of multifunction corporative telecommunications on base of logician-probabilistic approach ..... 52

#### Safety of Human Activities

- Belova T.I., Sukhov S.S., Konchits S.V.*  
Theoretical substantiation of model of safety system of self-propelled transport vehicles ..... 67

### EARTH SCIENCE

- Chernyshev A.A., Kazakov S.G.*  
Affecting factors to river hydrology and wetland of Sudzha landscape in Kursk region ... 71
- Shmakova M.V.*  
Comparative analysis of the formulas the total sediment discharge the example of rivers USA ..... 80

### NEW OBJECTS OF INTELLECTUAL PROPERTY ACADEMICIAN I.G. PETROVSKII BRYANSK STATE UNIVERSITY

- Lagerev A.V., Selyanin E.M.*  
Patent RU № 155734. A device for intermediate unloading conveyor with hanging ribbon ..... 88

*Seleznyev V.A., Tatarintseva T.I., Zhimoedova N.L.*

The certificate of state registration database No. 2015620266 "Virtual visual AIDS on the discipline "Engineering graphics" ..... 91

*Matyash N.V., Volodina Yu.A.*

The certificate of state registration database No. 2015620516 "Information-didactic complex "Maltreatment of children: the system of the psychological help" ..... 93



УДК 621.9.06; 621.7.07

## ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В.В. Ерохин

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Рассматривается взаимосвязь эксплуатационных свойств станочного приспособления между собой. Определены качественные взаимосвязи между эксплуатационными свойствами для решения оптимизационной задачи выбора или проектирования станочного приспособления с заданной функциональностью и долговечностью. Решение оптимизационной задачи проектирования станочного приспособления представлено относительно таких эксплуатационных свойств как прочность, контактная прочность, усталостная прочность, жесткость, контактная жесткость, износостойкость, фреттингостойкость, трение, виброустойчивость, зажимная способность, постоянство размеров (рассмотрение ведется с позиций релаксации и ползучести материала). Определено влияние легирования материала деталей станочного приспособления на повышение его прочности.

**Ключевые слова:** эксплуатационные свойства, станочные приспособления, качество.

**Введение.** Функциональность и долговечность станочного приспособления (СП) определяются его конструктивным исполнением и стабильностью требуемых показателей эксплуатационных свойств. Назначение на функциональные поверхности деталей СП физико-механических, химических, геометрических параметров, определяющих требуемые эксплуатационные свойства СП, является общемашиностроительной проблемой. Решение этой проблемы должно строиться на комплексном и системном рассмотрении всех взаимосвязанных и невзаимосвязанных влияний эксплуатационных свойств друг на друга и на качество СП и его деталей.

Основными эксплуатационными свойствами СП являются: прочность, контактная прочность, усталостная прочность, жесткость, контактная жесткость, износостойкость, фреттингостойкость, трение, виброустойчивость, зажимная способность, постоянство размеров.

**Основная часть.** Взаимосвязь эксплуатационных свойств СП между собой (табл. 1) приводит к решению многокритериальных оптимизационных задач [1].

Таблица 1

Взаимосвязь эксплуатационных свойств СП между собой

	Пр	КПр	УПр	Жс	КЖс	Из	ФС	Тр	ВУ	ЗС	ПР
Пр	–	да*	да	да	да	да	да	да	да	да	да
КПр	да	–	да	да	да	да	да	да	да	да	нет
УПр	да	да	–	да	да	да	да	да	да	да	да
Жс	да	да	да	–	да	да	да	да	да	нет	да
КЖс	да	да	да	да	–	да	да	да	да	да	нет
Из	да	да	да	да	да	–	да	да	да	да	нет
ФС	да	да	да	да	да	да	–	да	да	да	нет
Тр	да	да	да	да	да	да	да	–	да	да	да
ВУ	да	да	да	да	да	да	да	да	–	да	да
ЗС	да	да	да	нет	да	да	да	да	да	–	да
ПР	да	нет	да	да	нет	нет	нет	да	да	да	–

Примечания: \*«да» или «нет» – взаимосвязь между эксплуатационными свойствами соответственно имеется или не имеется; Пр – прочность; КПр – контактная прочность; УПр – усталостная прочность; Жс – жесткость; КЖс – контактная жесткость; Из – износостойкость; ФС – фреттингостойкость; Тр – трение; ВУ – виброустойчивость; ЗС – зажимная способность; ПР – постоянство размеров (рассмотрение ведется с позиций релаксации и ползучести материала).

Повышение или снижение прочности материала непосредственно влияет на контактную прочность через показатели: условный предел текучести и предел прочности при разрыве материала.

Взаимосвязь усталостной прочности поверхности и прочности детали СП выражаются через их зависимость от значений условного предела текучести, предела прочности, относительной предельной деформации материала до его разрыва, отношения предела прочности материала к условному пределу текучести.

Повышение прочности материала термообработкой неоднозначно влияет на усталостную прочность. Усталостная прочность материала поверхности детали СП снижается из-за повышения плотности дислокационных петель, но это повышает прочность материала. Увеличение плотности дислокационных петель приводит к увеличению модулей упругости первого и второго рода материала, критической плотности дислокаций при разрыве материала, а также к уменьшению полосы скольжения дислокаций, что значительно повышает усталостную прочность материала.

Легирование материала деталей СП такими материалами как хром, никель, марганец, углерод (для стали) повышает прочность СП. Но такое легирование не всегда повышает усталостную прочность материала. Увеличение относительной разности атомных радиусов атомов примеси и матрицы, концентрации атомов примеси повышает усталостную прочность. Из этого можно сделать вывод, что наибольшая усталостная прочность материала достигается за счет легирования железа углеродом и марганцем и снижается при легировании стали хромом. В качестве справочных данных приведем атомные радиусы материалов: железо –  $r_a = 124,1 \cdot 10^{-12}$  м; углерод –  $r_a = 77,2 \cdot 10^{-12}$  м; хром –  $r_a = 124,9 \cdot 10^{-12}$  м; кремний –  $r_a = 117,6 \cdot 10^{-12}$  м; марганец –  $r_a = 136,7 \cdot 10^{-12}$  м.

Прочность и жесткость деталей СП, прочность и контактная жесткость поверхностей деталей СП взаимосвязаны между собой через параметры кристаллической решетки материала и плотности дислокационных петель. То есть повышение плотности дислокационных петель материала увеличивает параметры прочности материала – предел прочности на разрыв и условный предел текучести материала. Однако такое повышение увеличивает значения модулей упругости первого и второго рода материала, которые непосредственно определяют жесткость детали.

Прочность и износостойкость материала деталей СП взаимосвязаны между собой посредством параметров: предела прочности на разрыв, твердости поверхности и модуля упругости первого рода материала. Увеличение предела прочности на разрыв, модуля упругости первого рода материала повышает как прочность, так и износостойкость материала детали СП. Увеличение поверхностной твердости материала за счет поверхностного или локального термоупрочнения, нанесения твердых пленок не приводит к изменению общей прочности материала детали. Однако это не относится к объемным видам термоупрочнения.

Взаимосвязь прочности и фреттингостойкости определяется только условным пределом текучести материала. Повышение этого параметра определяет повышение прочности и фреттингостойкости материала деталей СП.

Прочность и трение имеют косвенную взаимосвязь через параметры: плотность дислокационных петель, условный предел текучести материала. Под трением здесь рассматривается его основной параметр – эффективный коэффициент трения скольжения. Как было показано выше – изменение плотности дислокационных петель непосредственно влияет на прочность материала. Также этот параметр и условный предел текучести материала через контактную жесткость влияет на амплитуду и частоту вибрационных колебаний контактов деталей СП, что непосредственно влияет на эффективный коэффициент трения.

Прочность деталей приспособления влияет на виброустойчивость следующим образом. Изменение прочности материала деталей СП термообработкой приводит к изменению плотности дислокационных петель и диаметра кристаллита материала. Изменение концентрации легирующих элементов материала не только меняет его прочность, но и температуру плавления, теплоемкость и теплопроводность материала, от которых зависит время релакса-

ции напряжений [2]. Такие изменения физико-химико-механических свойств непосредственно влияют на коэффициент внутреннего трения материала. Например, углерод, хром, марганец понижают время релаксации напряжений, что повышает коэффициент внутреннего трения материала. Но эти же легирующие элементы, в особенности углерод, снижают температуру плавления материала, которая прямо пропорционально влияет на коэффициент трения материала. Увеличение плотности дислокационных петель увеличивает модуль упругости второго рода материала, что снижает значение энергии, диссипирующей за цикл колебания зоны контакта. Тем самым снижается виброустойчивость СП и увеличиваются вибрационные перемещения между деталями СП, а также между заготовкой и установочными опорами СП.

Зажимная способность взаимосвязана с прочностью только в условиях использования поводковой оснастки, поводковые элементы которой внедряются в поверхности других деталей СП или заготовку для их зажима либо передачи им движения.

Взаимосвязь прочности и постоянства размеров СП определяется химическим составом легирующих элементов материалов деталей СП. Легирующие элементы, повышающие теплоемкость и снижающие теплопроводность материала деталей СП, позволяют повысить стабильность во времени размеров деталей СП. К легирующим элементам повышающих стабильность размеров и прочность материалов деталей СП относятся хром, углерод и никель. Например, наибольшую релаксационную стойкость и механическую прочность обеспечивает сталь 40Х13.

Взаимосвязь между контактной и усталостной прочностью материала обуславливается прямо пропорциональной зависимостью. Повышение контактной прочности материала в той или иной степени повышает усталостную прочность и наоборот.

Контактная прочность материала и жесткость детали СП имеют взаимосвязь только, если модуль упругости материала имеет значение градиента распространения по объему детали близкого к нулю, что соответствует объемной термообработке детали СП. При поверхностном упрочнении материала деталей СП термообработкой, ППД или другими методами взаимосвязи между контактной прочностью материала и жесткостью детали СП нет.

Повышение контактной прочности через физико-механические параметры, такие как плотность дислокационных петель, условный предел текучести материала, приводит к увеличению контактной жесткости материала деталей СП.

Контактная прочность имеет взаимосвязь с износостойкостью и фреттингостойкостью материала аналогично взаимосвязи прочности с износостойкостью и фреттингостойкостью.

Влияние контактной прочности на трение и виброустойчивость аналогично влиянию прочности на трение и виброустойчивость. Однако это влияние особенно усиливается при поверхностном упрочнении функциональных поверхностей деталей СП.

Зажимная способность и контактная прочность определяются взаимосвязью через параметры: предел прочности материала при смятии и срезе. Контактное разрушение материала зажимных деталей СП обуславливает изменение формы их контакта с заготовкой и другими деталями СП. Однако это в основном происходит при не выдерживании требований теоремы Мелана об допустимых значениях контактных напряжений, не способствующих контактному разрушению.

Усталостная прочность поверхностей и жесткость деталей СП взаимно связываются между собой через модули упругости первого и второго рода, которые находятся в тесной зависимости от физико-химико-механических параметров: плотности дислокационных петель материала, концентрации примесей и легирующих элементов, типов легирующих элементов.

Основное влияние на усталостную прочность и контактную жесткость оказывают как физико-химико-механические параметры – условный предел текучести, остаточные напряжения в поверхностном слое, их знак, глубина и градиент распространения, модули упругости, плотность дислокационных петель материала, концентрация и типы легирующих элементов, – так и геометрические параметры качества контактируемых поверхностей деталей

СП. Наиболее сильная взаимосвязь этих эксплуатационных свойств относительно геометрических параметров качества проявляется через параметры шероховатости поверхности –  $R_p$ ,  $R_{max}$ ,  $t_m$ ,  $S_m$ .

На взаимосвязь усталостной прочности с износостойкостью влияют параметры – поверхностная твердость, предел прочности при разрушении, остаточные напряжения в поверхностном слое, модуль упругости первого рода, относительная деформация при разрушении материала,  $R_a$ ,  $t_m$ ,  $S_m$ . При этом заметим, что износостойкость является «производной» от усталостной прочности, а повышение значения относительной деформации материала до его разрушения требует достаточно больших трудовых и материальных затрат на проведения специфических поверхностных или объемных видов упрочнений при достижении повышенных значений параметров прочности материала.

Усталостная прочность и фреттингостойкость аналогично связаны между собой, как и усталостная прочность с износостойкостью. Но здесь имеется обратная зависимость от условного предела текучести материала. Так, с повышением значения условного предела текучести материала фреттингостойкость повышается, но усталостная прочность понижается из-за снижения количества циклов нагружения зоны контактов, приводящих к разрушению материала.

При контакте твердых металлических соединений, особенно не гетерогенных сплавов, трение в основном определяется усталостным характером взаимодействия контактирующих поверхностей деталей СП. Тем самым взаимосвязь трения с усталостной прочностью материала существенна, особенно относительно таких параметров как поверхностная твердость, предел прочности, условный предел текучести, поверхностная энергия материала,  $R_a$ ,  $t_m$ ,  $S_m$ .

Взаимосвязь усталостной прочности с виброустойчивостью аналогично взаимосвязи прочности с виброустойчивостью. Но наибольшая взаимосвязь прослеживается относительно параметров – плотности дислокационных петель и размера кристаллита материала. Оптимальное управление указанными параметрами при достижении максимальной усталостной прочности и виброустойчивости носит противоречивый характер. Увеличение плотности дислокационных петель приводит к увеличению как усталостной прочности, так и виброустойчивости. Повышение значения размера кристаллита (зерна) наоборот повышает виброустойчивость и снижает усталостную прочность материала. Для управления этими параметрами разработаны достаточно много способов упрочнения поверхностей деталей СП, но наиболее надежным является термообработка, но он является и самым дорогостоящим. В этом случае необходимо дополнительно решать оптимизационную задачу относительно критерия надежности получения требуемых параметров при минимальной себестоимости, которая должна включать не только себестоимость изготовления детали СП, но и себестоимость эксплуатации и ремонта СП.

Усталостная прочность взаимосвязана с зажимной способностью подобно взаимосвязи контактной прочности с зажимной способностью.

Область взаимосвязи усталостной прочности с постоянством размеров деталей СП находится в использовании различного вида легирующих элементов. Например, углерод, хром и марганец существенно повышают усталостную прочность, но марганец существенно снижает релаксационную стойкость материала и тем самым постоянство размеров.

Жесткость и контактная жесткость, жесткость и износостойкость, жесткость и фреттингостойкость, жесткость и трение связаны между собой только параметрами прочности материала, и то, если градиент значений этих параметров по объему детали приближается к нулю. При увеличении жесткости материала детали наблюдается увеличение контактной жесткости, износостойкости, фреттингостойкости, а динамический коэффициент трения при циклическом нагружении зоны контакта деталей СП приближается к статическому коэффициенту трения. Повышение жесткости деталей СП благоприятно влияет на эксплуатационные характеристики СП, а также повышает точность обработки поверхностей заготовки.

Жесткость взаимосвязана с виброустойчивостью и постоянством размеров аналогично взаимосвязям прочности с виброустойчивостью и постоянством размеров.

На взаимосвязь контактной жесткости с износостойкостью и фреттингостойкостью существенное влияние оказывают [3] не только параметры прочности, но и особенно геометрические параметры качества поверхности –  $H_{max}$  (максимальное высотное значение макротоклонения в зоне контакта поверхностей деталей СП),  $W_z$ ,  $R_p$ ,  $R_a$ ,  $tm$ ,  $Sm$ . В этой взаимосвязи существует нелинейное влияние параметров  $R_p$  и  $R_a$  на указанные эксплуатационные свойства. Повышение значений  $R_p$  и  $R_a$  в определенном интервале повышают контактную жесткость и всегда снижают износостойкость, фреттингостойкость.

Параметр трения – эффективный коэффициент трения – является основным производным от контактной жесткости. Однако такая взаимосвязь имеет нелинейность. Повышение контактной жесткости обуславливает снижение амплитуды контактных колебаний, резонирующих колебаний с большими амплитудами, амплитуды колебаний зоны контакта от ударных нагрузок. Такое повышение несущественно снижает статический коэффициент трения скольжения.

Однако с повышением жесткости контакта увеличиваются собственные частоты колебаний зоны контакта. При прохождении резонирующей волны с более низкой по приоритету гармоникой колебания через контакт появляются трудно учитываемые резонирующие колебания большой энергии. Перераспределение энергии от высокочастотных колебаний в динамических системах является малоизученной научной проблемой, но это перераспределение в той или иной степени влияет на все эксплуатационные свойства, непосредственно определяемые прочностными параметрами.

Контактная жесткость взаимосвязана с виброустойчивостью также, как и прочность с виброустойчивостью.

Изменение контактной жесткости очень сильно влияет на изменение динамического коэффициента трения. Тем самым существует прямая взаимосвязь контактной жесткости с зажимной способностью приспособления. Однако это не касается зажимной способности поводковой оснастки, где зажим заготовки осуществляется внедрением в ее торец поводковых элементов.

Износостойкость, фреттингостойкость, трение, виброустойчивость и зажимная способность имеют между собой сильную взаимосвязь не только на уровне прочностных параметров поверхности, но и геометрических параметров качества контактируемых поверхностей, таких как  $H_{max}$ ,  $W_z$ ,  $R_p$ ,  $R_a$ ,  $tm$ ,  $Sm$ . Повышение коэффициента трения в зоне контакта существенно повышает зажимную способность и виброустойчивость СП, но одновременно снижает износостойкость и фреттингостойкость. Виброустойчивость повышается в основном за счет диссипации колебательной энергии в зоне контакта, пропорционально зависящей от значения коэффициента трения скольжения. При этом следует заметить, что эти эксплуатационные свойства очень сильно зависят не только от метода получения детали, но и режимной части, особенно режимов механической обработки резанием.

Взаимосвязь трения и виброустойчивости с постоянством размеров необходимо рассматривать через параметры физико-химического строения структуры материала. В этом случае рассмотрение трения проводится относительно ее характеристики – внутреннего трения. Повышение внутреннего трения материала приводит к увеличению виброустойчивости СП и нестабильности размеров деталей СП из-за процесса ползучести материала. Основными параметрами внутреннего трения является время релаксации напряжений, плотность дислокационных петель и размер кристаллита материала. Повысить внутренне трение можно снижением времени релаксации напряжений, т.е. уменьшением значения теплоемкости и повышением значения теплопроводности материала. Также повышать внутреннее трение можно увеличением диаметра кристаллита и плотности дислокационных петель материала. Что же касается времени релаксации напряжений, то она управляется только выбором материала с соответствующим химическим составом. Размерами кристаллита и плотностью дислокационных петель материала наиболее эффективно управлять при различных видах упрочнения материала. Однако здесь существует неоднозначность – увеличение размера кристаллита материала сопровождается понижением плотности дислокационных петель. Такая неоднознач-

ность должна быть решена с помощью подбора оптимального технологического процесса упрочнения материала деталей СП.

Зажимная способность СП и постоянство размеров взаимосвязаны между собой через параметры процессов релаксации напряжений и ползучести материала. В этой взаимосвязи основным параметром является градиент релаксации напряжений в материале. Снижение значения градиента релаксации напряжения повышает зажимную способность материала СП, но это обстоятельство может как повысить, так и понизить ползучесть материала. В этом случае можно рекомендовать: поверхностно-пластическое деформирование без перенаклепа сталей кроме жаропрочных перлитного (25X2M1Ф), мартенситного (15X12BMФ), аустенитного (ХН35ВТ) классов, стали на никелевой основе (ХН70ВМЮТ, ХН70ВМТЮФ, ХН75ВМЮ), аустенитные и перлитные стали (15Г2СМФ, 30Х2ГМТ) повышают зажимную способность и постоянство размеров деталей СП.

**Заключение.** Исходя из рассмотренных взаимосвязей эксплуатационных свойств, можно сделать вывод: для проектирования СП с оптимальными параметрами качества необходимо решать многокритериальные оптимизационные задачи взаимосвязей эксплуатационных свойств относительно критериев: обеспечения требуемого качества обрабатываемой заготовки, требуемого межремонтного периода СП, минимальной себестоимости изготовления и эксплуатации СП.

### **Список литературы**

1. Ерохин, В.В. Обеспечение качества станочных приспособлений: дис. ... доктора технических наук. – Брянск. 2007. – 412 с.
2. Ерохин, В.В. Влияние процесса релаксации напряжений на параметры станочных и контрольных приспособлений / В.В. Ерохин, В.В. Камынин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 1. – С. 20-23.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Т.IV-3. Надежность машин / ред. совет: К.В. Фролов (пред.), В.В. Клюев, А.П. Гусенков, К.С. Колесников. – М.: Машиностроение, 1998. – 592 с.

### **Сведения об авторе**

Ерохин Виктор Викторович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные информационные системы и технологии» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», erohinvv@mail.ru.

## **ENGINEERING OF SURFACES OF DETAILS OF MACHINE TOOL ADAPTATIONS**

V.V. Erokhin

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The interrelation of operational properties of the machine adaptation among themselves is considered. Qualitative interrelations between operational properties for the solution of an optimizing problem of a choice or design of the machine adaptation with the set functionality and durability are defined. The solution of an optimizing problem of design of the machine adaptation it is put concerning such operational properties as durability, contact durability, fatigue durability, rigidity, contact rigidity, wear resistance, a frettingostoykost, friction, vibrostability, tightening ability, constancy of the sizes (consideration is conducted with positions of a relaxation and creep of a material).

**Keywords:** *operational properties, machine adaptations, quality.*

### **References**

1. Erokhin V.V. Ensuring the quality machine tool adaptations. Doct. Diss. (Engineering). Bryansk. 2007. 412 p.
2. Erokhin V.V., Kamynin V.V. The effect of stress relaxation on the parameters of machining and inspection tooling, *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015 , No.1, pp. 20-23.
3. Mechanical Engineering. Encyclopedia. T.IV-3. Reliability of machines / Ed. advice is K.V. Frolov (prev.), V.V. Klyuyev, A.P. Gusenkov, K.S. Kolesnikov. – M.: Mechanical Engineering, 1998. – 592 p.

### **Author' information**

Viktor V. Erokhin - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, erohinvv@mail.ru.

УДК 62-192

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛОВ СОЕДИНЕНИЙ СЕКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СТРЕЛ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК МОБИЛЬНЫХ МАШИН

И.А. Лагереv

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Обоснован новый конструктивный способ повышения трещиностойкости и живучести проушин шарнирного соединения секций стрелы крана-манипулятора с силовыми гидроцилиндрами. Выполнен анализ его эффективности на основе прогнозирования роста усталостных трещин для традиционного и модифицированного вариантов конструктивного исполнения узлов соединения гидроцилиндров с секциями стрелы.

**Ключевые слова:** крано-манипуляторная установка, трещиностойкость, живучесть, плоское напряженное состояние, плоская деформация, скорость роста трещины, коэффициент интенсивности напряжений, проушина

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук № МК-92.2014.8.

В конструкциях крано-манипуляторных установок мобильных машин, предназначенных для механизации широкого круга погрузочно-разгрузочных, перегрузочных, транспортных, складских и строительно-монтажных работ практически во всех отраслях современной экономики, нашли преимущественное распространение шарнирно-сочлененные грузоподъемные стрелы, состоящие из нескольких последовательно закрепленных между собой секций [1-3]. Как правило, взаимное поворотное или линейное смещение смежных секций в процессе перемещения грузозахватного органа в пространстве обеспечивается работой силовых гидроцилиндров. У каждого гидроцилиндра его корпус и выходной конец штока имеют неподвижное закрепление на металлоконструкции смежных секций грузовой стрелы, причем обеспечивается цилиндрическое шарнирное соединение между гидроцилиндром и секцией. На рис. 1 в качестве примера показана шарнирно-сочлененная грузоподъемная стрела крано-манипуляторной установки мобильной энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов [4].

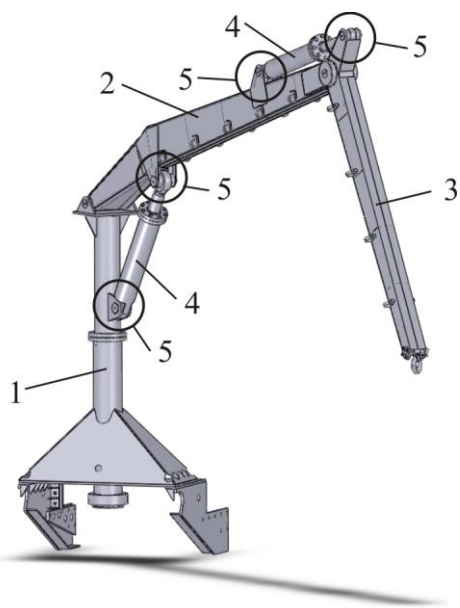


Рис. 1. Конструкция стрелы машины АСТ-4-А:  
1 – колонна; 2 – секция №1; 3 – секция №2;  
4 – гидроцилиндр; 5 – узел крепления

Конструктивно цилиндрические шарниры представляют собой по две проушины, которые попарно неподвижно закреплены посредством сварки на поверхности металлоконструкций смежных секций стрелы. Они выполняются из толстостенного листового проката и имеют соосные отверстия для установки в них соединительной оси, что и обеспечивает формирование цилиндрического шарнирного соединения. В процессе эксплуатации крано-манипуляторной установки проушины являются одними из наиболее нагруженных конструктивных элементов шарнирного соединения, так как в них действуют переменные во времени напряжения от статических и инерционных усилий, обусловленные весом и неравномерным движением груза и части секций грузоподъемной стрелы. Как результат, в перемычках проушин возможно появление и последующее развитие усталостных трещин (рис. 2), что является потенциальным источником уста-



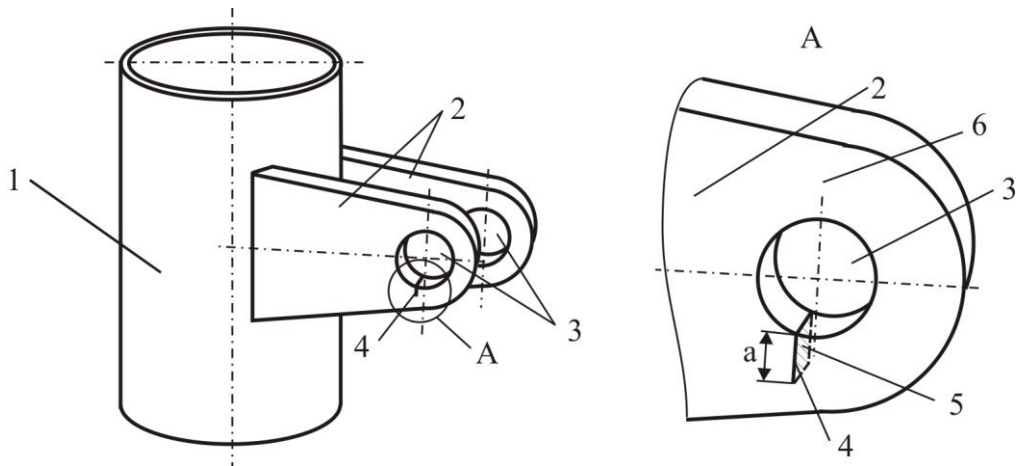


Рис. 2. Трещина в перемычке проушины узла крепления силового гидроцилиндра к металлоконструкции секции грузоподъемной стрелы:

1 – секция стрелы; 2 – проушина; 3 – отверстие для формирования шарнирного соединения; 4 – трещина; 5 – плоскость трещины; 6 – перемычка проушины

лостного разрушения шарнирного соединения и возникновения аварийной ситуации.

С целью повышения надежности работы узлов соединений секций грузовых стрел в [5, 6] был предложен конструктивный способ повышения трещиностойкости и живучести проушин шарнирного соединения секции с силовым гидроцилиндром. Суть указанного способа заключается в том, что со стороны одной из боковых плоскостей проушины в ее перемычках выполняется расположенный радиально относительно отверстия паз глубиной не менее  $2/3 \dots 3/4$  толщины листового проката, который затем наплавляется материалом, имеющим коэффициент ударной вязкости выше, чем коэффициент ударной вязкости основного материала проушины (рис. 3, а). Как вариант исполнения, со стороны обеих боковых плоскостей проушины могут выполняться симметрично два пазы, имеющих одинаковую глубину, ширину и форму поперечного сечения, причем суммарная глубина обоих пазов составляет не менее  $2/3 \dots 3/4$  толщины листового проката (рис. 3, б).

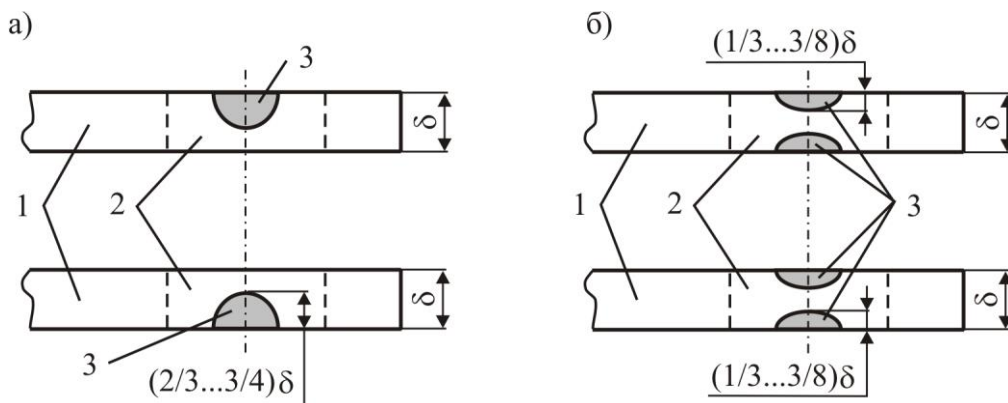


Рис. 3. Конструктивное исполнение способа повышения трещиностойкости и живучести проушины: а – расположение пазов с одной боковой плоскости; б – расположение пазов с обеих боковых плоскостей: 1 – проушина; 2 – отверстие в проушине; 3 – паз с наплавленным материалом повышенной трещиностойкости

В основу предложенного подхода положен эффект уменьшения скорости роста усталостных трещин при наличии плоского напряженного состояния вблизи ее вершины [7]. В этом случае площадь зоны пластичности  $r_p$  у вершины трещины оказывается в несколько раз больше, чем в условиях плоской деформации. Согласно [8] для металлов и сплавов при коэффициенте Пуассона  $\nu = 0,25$  соотношение размеров зоны пластичности в направлении роста трещины при плоском напряженном состоянии и плоской деформации составляет 4:1,

при  $\nu = 0,25 - 9:1$ , при  $\nu = 0,35 - 11:1$ . Поэтом в условиях плоского напряженного состояния для роста трещины многоциклового усталости требуется большее количество подводимой энергии, так как она главным образом расходуется на постоянное формирование зоны пластичности вблизи вершины растущей трещины.

Известны результаты многочисленных экспериментальных исследований по разрушению пластин и панелей, проведенных как отечественными [7, 9], так и зарубежными [10] исследователями, согласно которым существует зависимость между их толщиной и характеристиками разрушения – критическим коэффициентом интенсивности напряжений в вершине трещины  $K_{Ic}$  и скоростью ее роста  $da/d\tau$ . Исследования показали, что имеется оптимальная толщина пластины, при которой  $K_{Ic}$  достигает своего максимального значения  $(K_{Ic})_{max}$ . Удовлетворительного объяснения указанного явления пока не найдено, однако предложено несколько полуэмпирических теорий, позволяющих прогнозировать изменение коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины в зависимости от толщины пластины.

Согласно модели Д. Броека [10], соотношение между критическим коэффициентом интенсивности напряжений при переходном напряженном состоянии и плоской деформацией в случае  $B_0/B \leq 1$  составляет:

$$\frac{K_{Ic}}{K_{Ic}} = \sqrt{1 + \frac{\varepsilon_f EB_0}{24\sigma_T B}}, \quad (1)$$

где  $B$  - толщина пластины;  $B_0$  - наибольшая толщина пластины, при которой полностью развивается плоское напряженное состояние;  $K_{Ic}$  - критический коэффициент интенсивности напряжений материала при плоской деформации;  $\varepsilon_f$  - истинная деформация разрушения материала;  $\sigma_T$ ,  $E$  - предел текучести и модуль упругости материала пластины.

Условие  $B_0/B = 1$  соответствует случаю плоского напряженного состояния, для которого  $K_{Ic} = (K_{Ic})_{max}$ . Из рис. 4, на котором показана зависимость  $K_{Ic} = K_{Ic}(B/B_0)$  для углеродистой конструкционной стали Ст3, видно, что коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины при плоском напряженном состоянии  $(K_{Ic})_{max}$  в 3,1 раза больше коэффициента интенсивности напряжений при плоской деформации  $K_{Ic}$ .

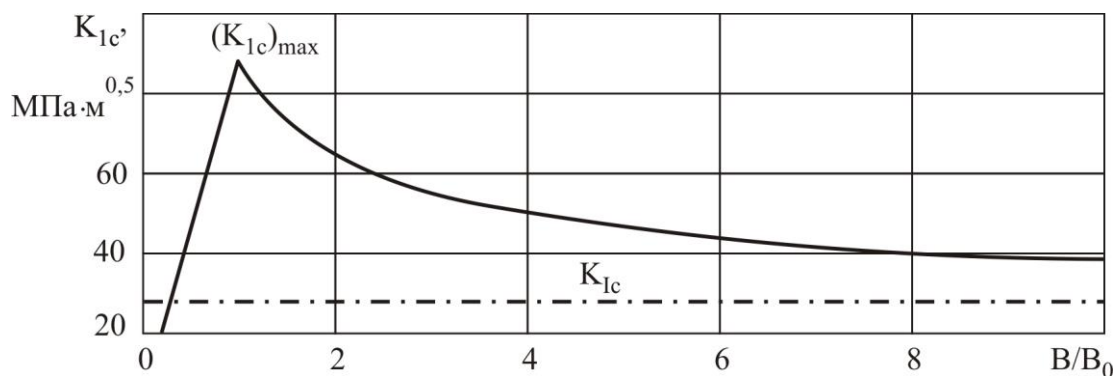


Рис. 4. Зависимость  $K_{Ic} = K_{Ic}(B/B_0)$  для углеродистой конструкционной стали Ст3, построенная на основе расчета по формуле (1)

Анализ применяющихся для изготовления металлоконструкций грузоподъемных стрел углеродистых и низколегированных сталей показывает, что развивающиеся в них в процессе эксплуатации трещины многоциклового усталости развиваются в условиях плоской деформации или в переходной зоне, т.е. в интервале толщин прокатного профиля

$$B \in \left[ B_0 = \frac{1}{3} \left( \frac{K_{Ic}}{\sigma_T} \right)^2 ; B_I = 2,5 \left( \frac{K_{Ic}}{\sigma_T} \right)^2 \right],$$

где  $B_I$  - наименьшая толщина пластины, при которой полностью развивается плоская деформация.

Следовательно, проушины в узлах крепления силовых гидроцилиндров к секциям грузовой стрелы обладают либо минимально возможной, либо пониженной трещиностойкостью.

В случае реализации предложенного в [5] подхода остаточная толщина перемычки проушины в зоне расположения паза обеспечивает максимально возможную трещиностойкость  $(K_{Ic})_{\max}$ , которая в наиболее благоприятном случае в  $\sqrt{1 + \varepsilon_f E / 24 \sigma_T}$  раз превышает критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ .

В общем случае, когда остаточная толщина перемычки проушины в зоне расположения паза (рис. 3, а) или двух пазов, расположенных на противоположных боковых поверхностях проушины (рис. 3, б), может соответствовать переходной зоне, критический коэффициент напряжений материала проушины может быть приближенно рассчитан по зависимости, вытекающей из соотношения (1):

$$K_{Ic} = K_{Ic} \sqrt{1 + \frac{\varepsilon_f E K_{Ic}^2}{72(1 - \varphi_p) \delta \sigma_T^3}}, \quad (2)$$

где  $\delta$  - толщина проушины;  $\varphi_p$  - коэффициент относительной глубины паза или суммарной глубины двух пазов, который рекомендуется как  $\varphi_p = (2/3 \dots 3/4) \delta$ .

Зависимость (2) также служит основанием для подбора той марки стали или сплава повышенной ударной вязкости, которая должна быть наплавлена в паз проушины для сохранения целостности поперечного сечения перемычки. Очевидно, в качестве такого материала следует использовать материал, у которого критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  приблизительно соответствует (чуть ниже или выше) величины  $K_{Ic}$ , определенной по зависимости (2).

Для количественной оценки эффективности предложенного способа повышения ресурса проушин был рассмотрен узел крепления силового гидроцилиндра к металлоконструкции колонны грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки мобильной энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов [4], конструкция которого показана на рис. 2. Материал проушины – низколегированная конструкционная сталь 09Г2С (класс прочности 390). Согласно [11] широкополосный листовой прокат, относящийся к 390 классу прочности, имеет предел текучести  $\sigma_T = 390$  МПа, предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_B = 530$  МПа, относительное удлинение 18%. В расчетах также было принято для материала проушины при исходном варианте ее конструктивного исполнения: предел выносливости материала -  $\sigma_{-1} = 245$  МПа, критический и пороговый коэффициенты интенсивности материала -  $K_{Ic} = 40$  МПа·м<sup>0,5</sup> и  $K_{Ith} = 9,5$  МПа·м<sup>0,5</sup>. Так как при модернизированном варианте конструктивного исполнения проушины расчет по формуле (2) показал значение критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic} \sim 72$  МПа·м<sup>0,5</sup>, то в качестве материала для наплавки паза была выбрана низколегированная сталь перлитного класса 30ХГСА ( $K_{Ic} = 71$  МПа·м<sup>0,5</sup>). Поэтому для материала проушины при модернизированном варианте ее конструктивного исполнения было принято: предел выносливости материала -  $\sigma_{-1} = 325$  МПа, критический и пороговый коэффициенты интенсивности материала -  $K_{Ic} = 71$  МПа·м<sup>0,5</sup> и  $K_{Ith} = 7,6$  МПа·м<sup>0,5</sup>.

Расчет ресурса проушины для ее исходного и модернизированного конструктивного исполнения проводился в соответствии с методикой, предложенной в [12]. Зависимость для расчетной оценки ресурса  $T_p$  имеет вид

$$T_p = \tau_1 + \frac{1}{C\nu} \int_{a_{th}}^{\varphi[a]} \frac{K_c - K_{\max}}{\Delta K^n} da, \quad (3)$$

где  $\tau_1$  - продолжительность стадии зарождения усталостной микротрещины;  $a_{th}$  - пороговая длина усталостной трещины;  $[a]$  - предельно допустимая длина усталостной трещины в перемычке проушины;  $\varphi$  - коэффициент безопасности для предельно допустимой длины трещины;  $\nu$  - частота приложения переменной во времени эксплуатационной нагрузки;  $a$  - длина трещины;  $K_c$  - критический коэффициент интенсивности напряжений для материала проушины;  $K_{\max}$  - коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины для максимального значения нагрузки цикла;  $\Delta K$  - размах коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины;  $C, n$  - эмпирические коэффициенты в зависимости Формана для прогнозирования скорости роста трещины [9], характеризующие свойства материала проушины.

Количественно эффективность предложенного способа удобно выразить коэффициентом повышения ресурса проушины, который имеет следующий вид:

$$\xi = \frac{T_{p,m}}{T_{p,b}} = \frac{\tau_{1,m} + \frac{1}{C_m \nu} \int_{a_{th,m}}^{\varphi[a]_m} \frac{K_{Ic,m} - K_{\max}}{\Delta K^{n_m}} da}{\tau_{1,b} + \frac{1}{C_b \nu} \int_{a_{th,b}}^{\varphi[a]_b} \frac{K_{Ic,b} - K_{\max}}{\Delta K^{n_b}} da}, \quad (4)$$

где нижний индекс « $m$ » соответствует модернизированному варианту, « $b$ » - исходному.

Расчет по зависимости (4) показал, что применительно к конкретному рассмотренному варианту повышения ресурса проушин узла крепления силового гидроцилиндра к металлоконструкции колонны грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки мобильной энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов эффективность предложенного способа выражается значением коэффициентом повышения ресурса проушины  $\xi = 1,47$ .

**Выводы.**

1. Как показал проведенный анализ, предложенный в [5] способ повышения трещиностойкости и живучести проушин узлов шарнирного соединения секций грузоподъемных стрел гидравлических крано-манипуляторных установок с силовыми гидроцилиндрами оказывается достаточно эффективным с точки зрения повышения ресурса указанных элементов.

2. Эффективность предложенного способа во многом определяется следующими факторами:

- исходной толщиной проушин, которая определяет степень соответствия условий распространения усталостных трещин условиям плоской деформации или плоского напряженного состояния;

- взаимным соотношением механических свойств материалов проушины и наплавки: их усталостных характеристик и показателей трещиностойкости.

3. Целесообразный выбор марки наплавляемого материала позволяет управлять величиной коэффициентом повышения ресурса проушины  $\xi$ .

### Список литературы.

1. Манипулятор (грузоподъемное устройство) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ru.wikipedia.org/wiki/Манипулятор\\_\(грузоподъемное\\_устройство\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Манипулятор_(грузоподъемное_устройство)).

2. Емтыль, З.К. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование / З.К. Емтыль, И.М. Бартенев, М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, А.П. Татаренко, Л.Д. Бухтояров. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2011. – 408 с.
3. Лагерев, И.А. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 196 с.
4. Лагерев, А.В. Оптимизация конструкции крана-манипулятора машины для сварки магистральных трубопроводов при модернизации / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Подъемно-транспортное дело. – 2013. - № 1 (71). – С. 4-7.
5. Патент 153946 Российская Федерация В66С 23/44. Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев. – Заявл. 10.12.14, № 2014149984. Опубл. 10.08.15. – Бюл. № 22.
6. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Патент RU № 153946 на полезную модель «Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор» / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 1. – С. 79-80.
7. Ярема, С.Я. Исследование роста усталостных трещин и кинематические диаграммы усталостного разрушения / С.Я. Ярема // Физико-химическая механика материалов. – 1977. - № 4.
8. Коцаньда, С. Усталостное разрушение металлов / С. Коцаньда. – М.: Металлургия, 1976. – 456 с.
9. Трощенко, В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справ. Т. 1. / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – Киев: Наукова думка, 1987. – 505 с.
10. Брок, Д. Основы механики разрушения / Д. Брок. – М.: Высш. шк., 1980. – 368 с.
11. ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия. – Введ. 1991-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1991. – 23 с.
12. Лагерев, А.В. Прогнозирование ресурса типовых конструктивных элементов наземных транспортно-технологических средств при усталостных отказах / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 48 с.

#### **Сведения об авторе**

Лагерев Игорь Александрович - кандидат технических наук, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», lagerev-bgu@yandex.ru.

### **INCREASING THE CRACKING RESISTANCE AND THE SURVIVABILITY OF THE ELEMENTS THE JOINTS OF THE SECTIONS OF THE JIB CRANE-MANIPULATING INSTALLATIONS OF MOBILE MACHINES**

I.A.Lagerev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The new constructive method of increasing the cracking resistance and survivability of eyes swivel boom crane with hydraulic cylinders. Analysis of its efficiency on the basis of predicting the growth of fatigue cracks for the conventional and modified variants of the constructive execution of the connection nodes of the cylinders with the boom sections. This research was supported by the grant no. МК-92.2014.8 of the President of Russian Federation for young scientist support.

**Keywords:** crane-manipulator installation, crack resistance, survivability, plane stress, plane strain, the rate of crack growth, the stress intensity factor, eye

### References

1. *Manipulator (gruzopodemnoe ustroystvo)* [Manipulator (he lifting device)]. Available at: [ru.wikipedia.org/wiki/Манипулятор\\_\(грузоподъёмное\\_устройство\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Манипулятор_(грузоподъёмное_устройство)).
2. Emtyl Z.K., Bartenev I.V., Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Tatarenko A.P., Bukhtoyarov L.D. *Gidromanipulyatory i lesnoe tekhnologicheskoe oborudovanie* [Hydraulic manipulators and forestry process equipment]. Moscow, FLINTA, 2011. 408 p.
3. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Dinamika tryekhzhvennykh gidravlicheskiy kranov-manipulatorov* [Dynamics three-tier hydraulic crane-manipulators]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2012. 196 p.
4. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Trunk pipeline welding machine crane-manipulator optimization during its modernization, *Podyemno-transportnoe delo*, 2013, No.1(71), pp. 4-7.
5. Patent RU 153946. *Tryekhzhvennyy gidravlicheskiy kran-manipulyator* [The three-tier hydraulic crane-manipulator]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 10.12.2014. Published 10.08.2014. Bulletin No. 22.
6. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Patent RU 153946. The three-tier hydraulic crane-manipulator, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 79-80.
7. Yarema S.Ya. Study of the growth of fatigue cracks and kinematic diagrams of fatigue failure, *Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov*, 1977, No. 4.
8. Kocanda S. *Zmeczeniowe niszczenie metali*. Warszawa, Wydawnictwa naukowo-techniczne, 1972.
9. Troshchenko V.T., Sosnovskiy L.A. *Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov* [Fatigue resistance of metals and alloys]. Kiev, Naukova dumka, 1987, Vol. 1. 505 p.
10. Broek D. *Elementary engineering fracture mechanics*. Leyden, Noordhoff International Publishing, 1974.
11. *GOST 19281-89. Prokat iz stali povyshennoy prochnosti. Obshchie tekhnicheskie usloviya*. [GOST 19281-89. Rolled steel with increased strength. General specifications]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1991. 23 p.
12. Lagerev A.V. *Prognozirovanie resursa tipovykh konstruktivnykh elementov nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv pri ustalostnykh otkazakh* [The resource forecasting of typical structural elements of ground transport-technological machines under fatigue failures]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2012. 48 p.

### Author' information

Igor A. Lagerev - Candidate of Technical Sciences, Vice rector for Innovations at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, lagerev-bgu@yandex.ru.

УДК 621. 86

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЦИОНАРНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ

П.В. Бословяк, Е.П. Зуева

Брянский государственный технический университет

Установлена зависимость распределения масс основных узлов металлоконструкции от длины конвейера с подвесной лентой. Представлено влияние массовой производительности конвейера на напряженно-деформированное состояние оптимального варианта металлоконструкции.

**Ключевые слова:** металлоконструкция, конвейер с подвесной лентой, производительность, оптимальное проектирование, оптимизация, параметры, конструктивные узлы, силовые факторы.

Современным и перспективным типом конвейерного транспорта является конвейер с подвесной лентой (КПЛ), который хорошо зарекомендовал себя при транспортировке сыпучих грузов в сложных условиях: в пожаро- и взрывоопасных условиях, при большом угле наклона конвейерной трассы и повышенных экологических требованиях [1, 2, 5].

Главными особенностями и преимуществами КПЛ являются [1, 2]:

- отсутствие просыпей груза на всей протяженности рабочей ветви ленты;
- уменьшенная до 1,5 раз энергоемкость транспортирования груза;
- увеличение срока службы ленты в 1,5-2 раза;
- уменьшение пыления и дробления груза при его транспортировке;
- возможность изгиба конвейера с подвесной лентой в горизонтальной плоскости с радиусами до 15-20 метров.

Конвейеры с подвесной лентой используются в промышленности при транспортировании железной руды, окатышей, аммиачной селитры, глины, гранулированной серы и других материалов. Основные технические характеристики разработанных конструкций конвейеров следующие: производительность – 60...700 т/ч; скорость движения ленты – 0,75...1,3 м/с; ширина грузонесущей ленты – 0,8...1,2 м; длина конвейера – 24...98 м [1, 2, 5].

Важной технической задачей при проектировании стационарных конвейеров с подвесной лентой является снижение его массы [4, 9]. Процедура оптимального проектирования металлоконструкций конвейеров с подвесной лентой приведена в работах [2, 3, 6-8].

В зависимости от значений технических характеристик (длины, производительности) конвейера с подвесной лентой, процедура проведения оптимального проектирования металлоконструкции (МК) может изменяться. Возможно исключение из оптимизации основных узлов, не оказывающих существенного влияния на общий вклад масс в металлоконструкцию КПЛ. Поэтому целесообразно провести анализ конструктивных и режимных параметров с целью выявления и установления зависимостей, существенно влияющих на результат оптимального проектирования МК конвейера [2].

В работе рассмотрено распределения масс основных конструктивных узлов металлоконструкции КПЛ в зависимости от изменения его длины (рис. 1). С увеличением производительности стационарного КПЛ от 50 до 300 т/ч распределение масс основных конструктивных узлов МК менялось до 5% и его целесообразно принять постоянным при определенной длине конвейера.

Величины вклада массы отдельных основных узлов в общую массу МК определялись по следующим формулам

$$\delta_{лч} + \delta_{нс} + \delta_{нс} = 1;$$
$$\delta_{лч} = \frac{m_{лч}}{m_{МК}}; \quad \delta_{нс} = \frac{m_{нс}}{m_{МК}}; \quad \delta_{нс} = \frac{m_{нс}}{m_{МК}}.$$

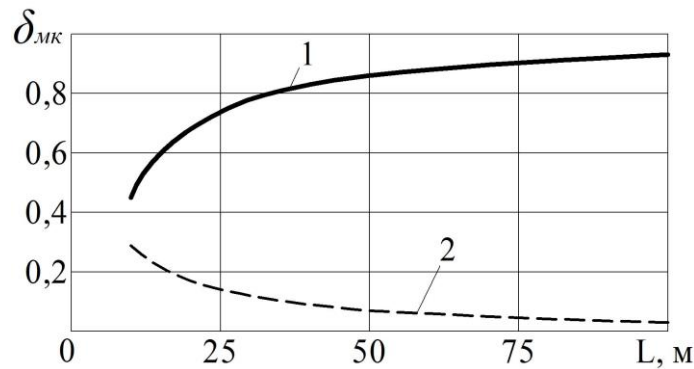


Рис. 1. Графики соотношения вклада масс основных конструктивных узлов в металлоконструкцию в зависимости от длины КПЛ:

1 – вклад массы линейной части  $\delta_{ЛЧ}$ ;

2 – вклад массы приводной и натяжной станций  $\delta_{НС} + \delta_{НС}$

График вклада масс от линейной части, приводной и натяжной станции КПЛ имеет параболический характер. Возрастание  $\delta_{ЛЧ}$  и убывание  $\delta_{НС} + \delta_{НС}$  осуществляется в основном при длинах конвейера до 50 метров. Далее зависимости приобретают приближенно линейный характер.

При длине конвейера с подвесной лентой более 50 метров общий вклад масс от основных конструктивных узлов приводной и натяжной станций составляет менее 10...15% суммарной массы конвейера, что объясняется увеличением числа линейных секций. Поэтому при длине КПЛ более 50 метров целесообразно переходить от полной оптимизации к параметрической, включающей оптимальное проектирование только линейной части металлоконструкции конвейера с подвесной лентой.

При определении внутренних силовых факторов оптимальной металлоконструкции учитывались эксплуатационные нагрузки, действующие на металлоконструкцию при различных режимах работы (стационарный и нестационарный режим работы конвейера с подвесной лентой при транспортировании груза и без него) и производительностях  $Q$  стационарного конвейера с подвесной лентой [2].

Результаты внутренних силовых факторов оптимального варианта МК данного конвейера при различных производительностях с учетом ограничения на коррозионное воздействие, сведенные в табл. 1, изображены на рис. 2, 3.

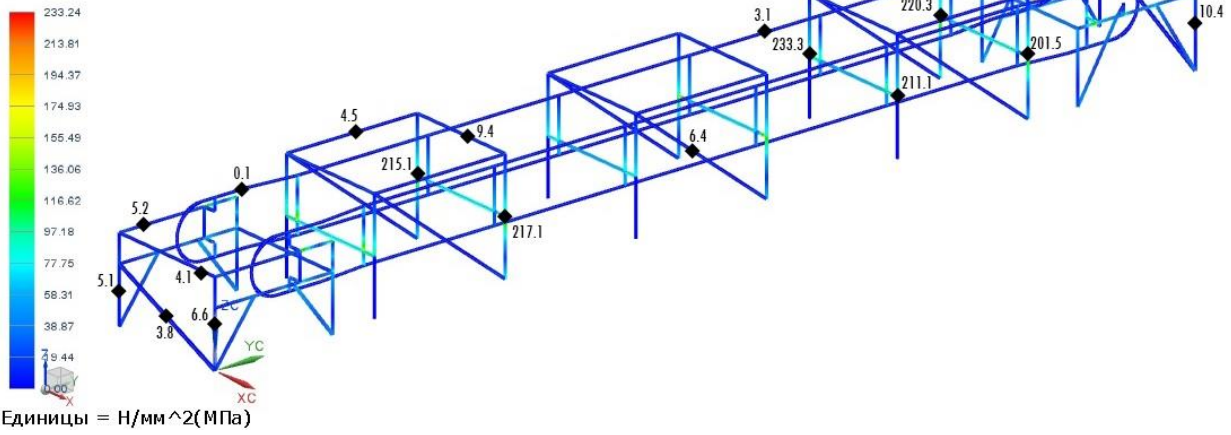
Таблица 1

Значения внутренних силовых факторов оптимальной МК

Режим работы КПЛ	Эквивалентные напряжения $\sigma$ и деформации (стрела прогиба) $f$ металлоконструкции КПЛ при следующей производительности $Q$ , т/ч					
	50		120		300	
	$\sigma$ , МПа	$f$ , мм	$\sigma$ , МПа	$f$ , мм	$\sigma$ , МПа	$f$ , мм
Стационарный, с грузом	233	10,9	221	10,1	219	11,8
Нестационарный, с грузом	271	13,1	262	12,2	266	14,5
Нестационарный, без груза	211	9,7	205	6,6	177	4,2

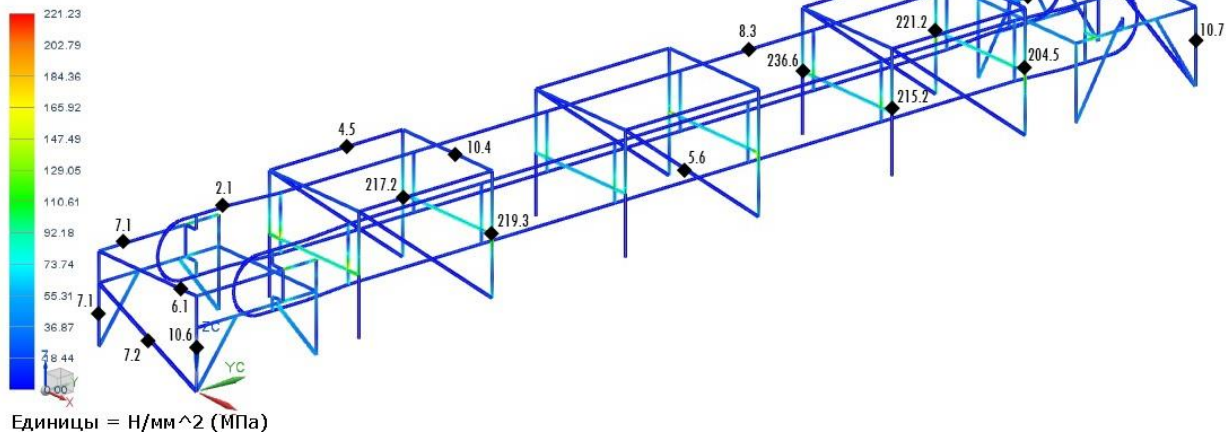


Статический шаг 1  
 Напряжение - По элементам/узлам,  
 Мин. : 0.0 Макс. : 233.2, Единицы = Н/мм<sup>2</sup>(МПа)



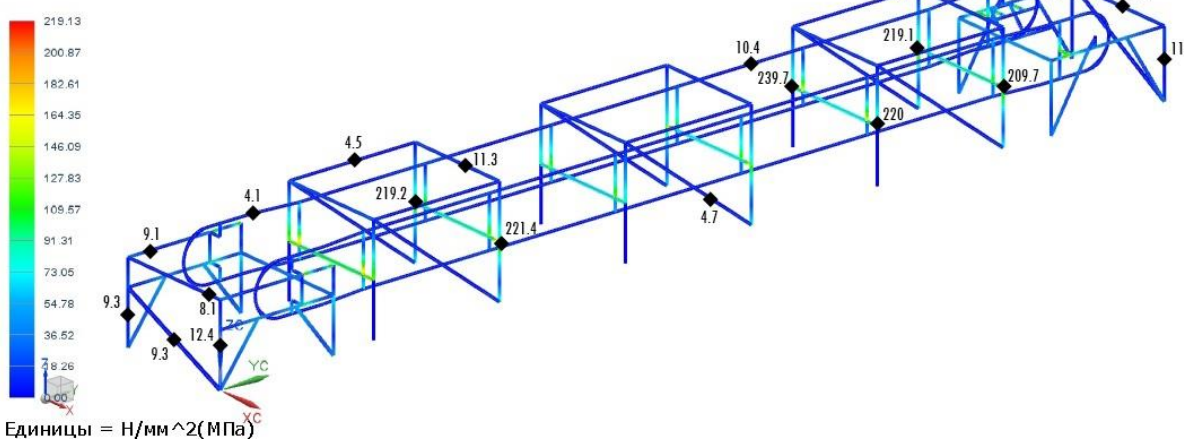
а)

Статический шаг 1  
 Напряжение - По элементам/узлам,  
 Мин. : 0.00 Макс. : 221.2, Единицы = Н/мм<sup>2</sup> (МПа)



б)

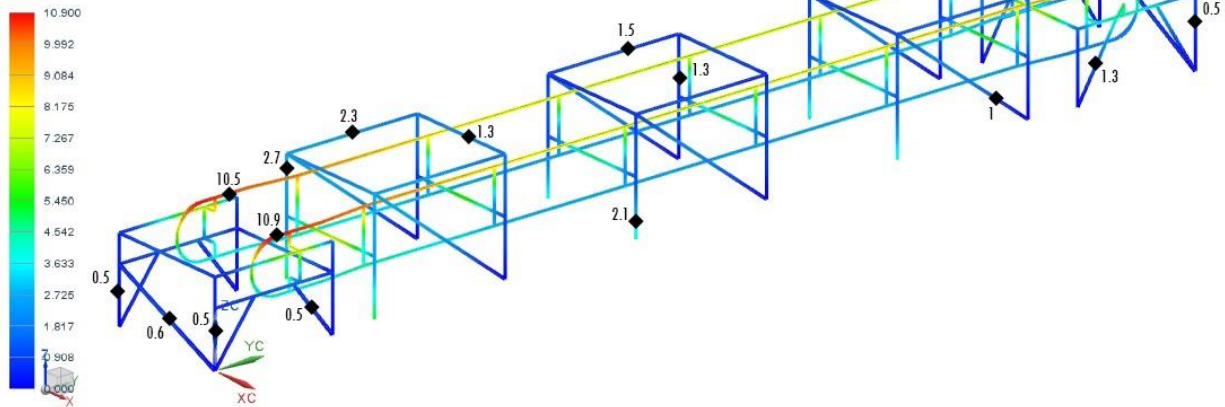
Статический шаг 1  
 Напряжение - По элементам/узлам,  
 Мин. : 0.0 Макс. : 219.1, Единицы = Н/мм<sup>2</sup>(МПа)



в)

Рис. 2. Эквивалентные напряжения в стержнях оптимальной МК при различной массовой производительности КПЛ: а) – Q = 50 т/ч; б) – Q = 120 т/ч; в) – Q = 300 т/ч

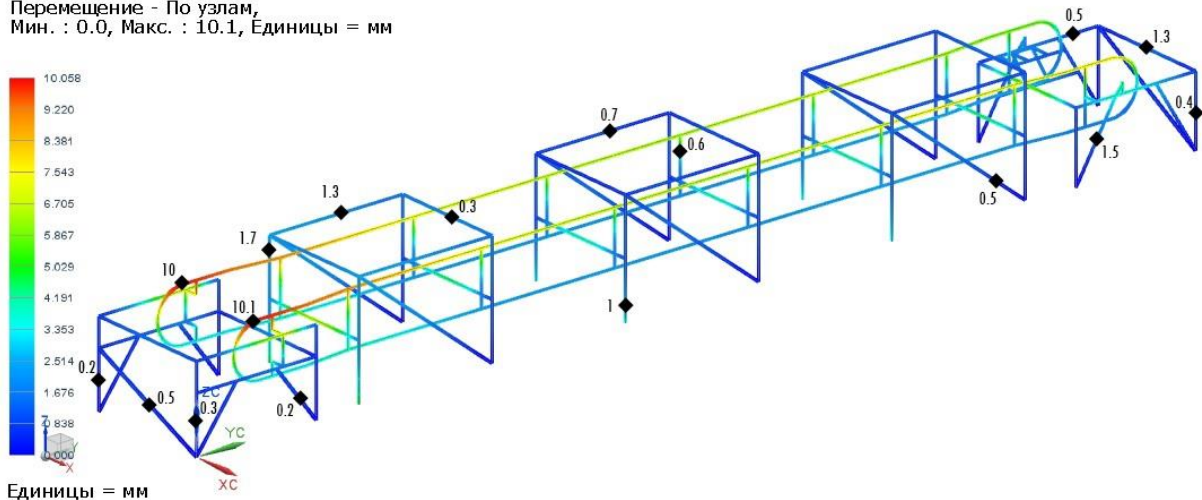
Статический шаг 1  
 Перемещения - По узлам,  
 Мин. : 0.0 Макс. : 10.9, Единицы = мм



Единицы = мм

а)

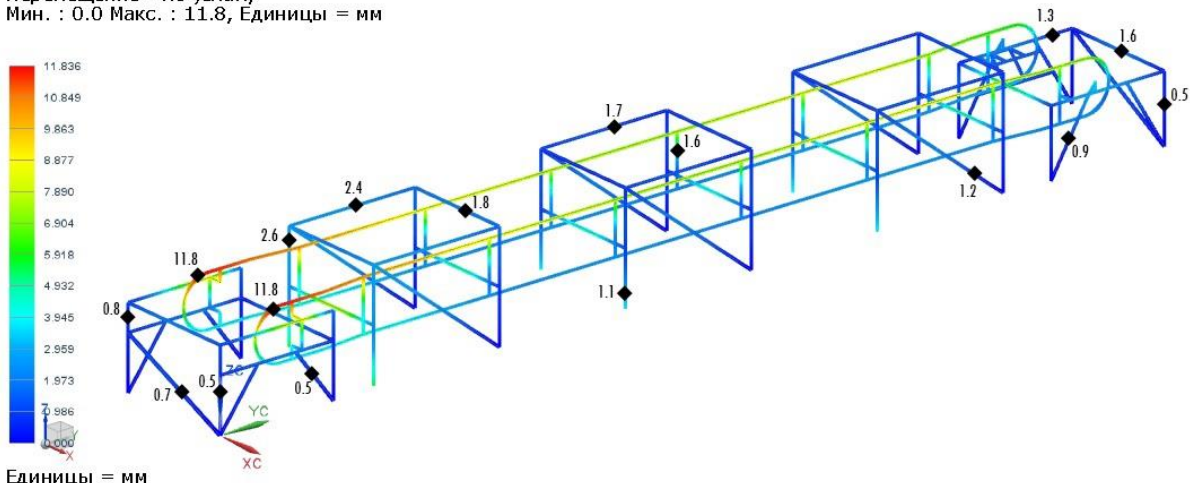
Статический шаг 1  
 Перемещение - По узлам,  
 Мин. : 0.0, Макс. : 10.1, Единицы = мм



Единицы = мм

б)

Статический шаг 1  
 Перемещение - По узлам,  
 Мин. : 0.0 Макс. : 11.8, Единицы = мм



Единицы = мм

в)

Рис. 3. Стрела прогиба стержней оптимальной МК при различной массовой производительности КПЛ: а) –  $Q = 50$  т/ч; б) –  $Q = 120$  т/ч; в) –  $Q = 300$  т/ч

Изменение производительности стационарного конвейера с подвесной лентой выполнялось за счет транспортирования материала различной плотности.

На основании полученных данных табл.1 построены графики зависимостей максимальных эквивалентных напряжений и прогибов от массовой производительности конвейера с подвесной лентой (рис. 4).

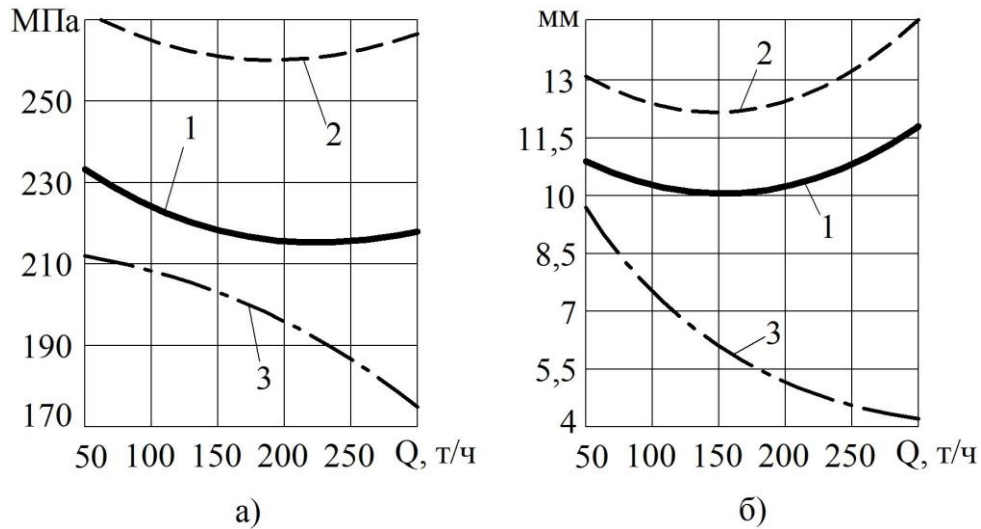


Рис. 4. Графики зависимостей внутренних силовых факторов и деформаций от производительности КПЛ:

а – эквивалентные напряжения; б – стрела прогиба;

1 – стационарный режим с грузом; 2 – нестационарный режим с грузом;

3 – нестационарный режим без груза

С увеличением массовой производительности возрастают нагрузки на металлоконструкцию стационарного конвейера с подвесной лентой и, как следствие, увеличиваются размеры поперечных сечений деталей. При этом значения внутренних силовых факторов в металлоконструкции стационарного КПЛ меняются нелинейно (рис. 4), что связано с окончательным определением и выбором стандартных размеров поперечных сечений деталей в результате процедуры оптимального проектирования.

При увеличении массовой производительности для стационарного и нестационарного режима работы конвейера с подвесной лентой с грузом эквивалентные напряжения и прогибы меняются на 5...10%. Для нестационарного режима работы КПЛ без груза происходит снижение значений эквивалентных напряжений на 5...15% и прогибов на 30...60% соответственно.

Максимальные эквивалентные напряжения и прогибы в стержнях и раскосах металлоконструкции возникают при нестационарном режиме работы КПЛ с грузом. Они превышают значения, возникающие для расчетного случая (стационарный режим работы КПЛ с грузом), на 15...25%.

В табл. 2 представлены поперечные сечения основных конструктивных узлов оптимальной МК конвейера при различных производительностях.

С учетом данных табл. 2 построен график зависимости массы основных конструктивных узлов металлоконструкции от производительности КПЛ (рис. 5).

С увеличением производительности линейно возрастают массы основных конструктивных узлов металлоконструкции (рис. 5). Причем зависимость графиков является линейной, что связано с изменением производительности за счет увеличения плотности транспортируемого материала. Графики масс линейной секции 1 и приводной станции 2 расположены параллельно, что способствует увеличению (уменьшению) данных конструктивных узлов на одинаковую величину.

Таблица 2

Результаты оптимального проектирования основных узлов МК при различных производительностях Q конвейера с подвесной лентой

Узел конвейера	Профиль поперечного сечения МК для производительности Q, т/ч			Масса оптимальной МК для производительности Q, т/ч, кг		
	50	120	300	50	120	300
Линейная секция	труба ПП-50×25×2 и труба ПП-20×10×1	труба ПП-50×25×2 и труба ПП-20×10×2	труба ПП-50×40×3,5 и труба ПП-15×10×2	36	42	51
Приводная станция				35	41	50
Натяжная станция				32	36	44

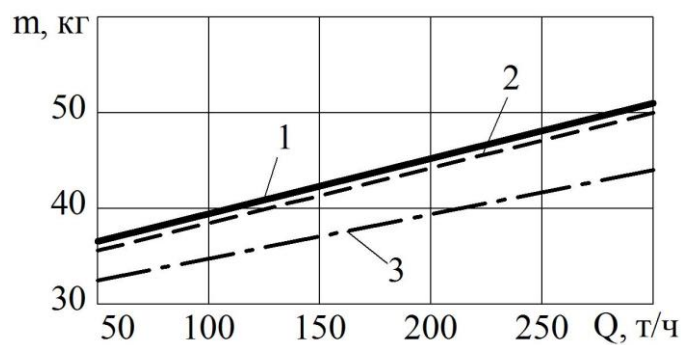


Рис. 5. Графики зависимости масс основных конструктивных узлов от производительности КПЛ: 1 – линейная секция; 2 – приводная станция; 3 – натяжная станция

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. С увеличением длины стационарного конвейера с подвесной лентой происходит рост массы металлоконструкции за счет увеличения числа линейных секций. При длине КПЛ более 50 метров общий вклад масс от основных конструктивных узлов приводной и натяжной станций составляет менее 10...15% от общей массы металлоконструкции КПЛ, поэтому целесообразно переходить от общей к параметрической оптимизации металлоконструкции КПЛ. Из процедуры оптимального проектирования исключаются приводная и натяжная станции.

2. При стационарном и нестационарном режимах работы конвейера с подвесной лентой повышение его массовой производительности в интервале от 50 до 300 т/ч за счет увеличения плотности транспортируемого материала вызывает рост эквивалентных напряжений и прогибов наиболее нагруженных элементов металлоконструкции в пределах 5...10%.

### Список литературы

1. Аверченков, В.И. Конвейеры с подвесной лентой / В.И. Аверченков, С.В. Давыдов, В.П. Дунаев, В.Н. Ивченко, С.В. Куров, М.Ю. Рытов, В.И. Сакало; Под общ. ред. В.И. Аверченкова, В.Н. Ивченко. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 256с.
2. Бословяк, П.В. Оптимальное проектирование металлоконструкций стационарных конвейеров с подвесной лентой: дис. ... канд. техн. наук (05.05.04) / П.В. Бословяк. – Москва, 2015. – 160 с.
3. Бословяк, П.В. Универсальная методика оптимального проектирования основных конструктивных узлов металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой /

П.В. Бословяк, Е.П. Зуева // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2015. – №1. – С. 32-42.

4. Вершинский, А.В. Численный анализ металлических конструкций подъемно-транспортных машин / А.В. Вершинский, И.А. Лагереv, А.Н. Шубин, А.В. Лагереv. – Брянск: РИО БГУ, 2014. – 186 с.

5. Лагереv, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагереv, В.П. Дунаев // Инженерный журнал. Справочник. – 2009. – №10 – С. 9-14.

6. Лагереv, А.В. Универсальная методика оптимального проектирования металлоконструкций конвейеров с подвесной лентой / А.В. Лагереv, П.В. Бословяк // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №1. – С. 31-36.

7. Лагереv А.В., Бословяк П.В. Оптимальное проектирование узлов металлоконструкции конвейера с подвесной лентой в программном комплексе NX // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №2. – С. 38-44.

8. Лагереv, А.В. Оптимальное проектирование металлоконструкций стационарных конвейеров с подвесной лентой на основе разработанной базы конструктивных схем / А.В. Лагереv, П.В. Бословяк // Вестник развития науки и образования. – 2014. - №3. – С. 63-67.

9. Лагереv, И.А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / И.А. Лагереv, А.В. Лагереv. – Брянск: БГТУ, 2013. – 228 с.

#### **Сведения об авторах**

Бословяк Павел Валерьевич – ассистент ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», *boslovyak89@mail.ru*.

Зуева Елена Павловна – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет».

### **ANALYSIS OF INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND REGIME PARAMETERS STATIONARY CONVEYOR WITH HANGING RIBBON FOR THEIR OPTIMUM DESIGN OF STEEL STRUCTURES**

P.V. Boslovyak, E.P. Zueva

Bryansk State Technical University

Dependence is distribution of the masses of the main sites of steel structures from the length conveyor with hanging ribbon. Present an influence mass productivity conveyor on the tensely state of strain of an optimal variant of steel structures.

**Keywords:** *steel structures, conveyor with hanging ribbon, efficiency, optimal design, optimization, parameters, structural nodes, power factors*

#### **References**

1. Averchenkov V.I., Davydov S.V., Dunaev V.P., Ivchenko V.N., Kurov S.V., Rytov M.Yu., Sakalo V.I. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with hanging ribbon]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2004. 256 p.

2. Boslovyak P.V. *Optimalnoe proektirovanie metallkonstruktsiy statsionarnykh konveyerov s podvesnoy lentoy* [Optimal design of steel structures fixed conveyors with hanging belt]. Cand. Diss. (Engineering). Moscow, 2015. 160 p.

3. Boslovyak P.V., Zueva E.P. *Universalnaya metodika optimalnogo proektirovaniya osnovnykh konstruktivnykh uzlov metallkonstruktsiy konveyerov s podvesnoy lentoy* [Universal method for optimal design main structural assemblies of steel structures stationary conveyor with hanging ribbon]. *Nauchno-tekhnicheskii Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 32-42.

4. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskikh konstruktsey pod'yemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.

5. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenernyy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.

6. Lagerev A.V., Boslovyak P.V. Universalnaya metodika optimalnogo proektirovaniya metallkonstruktsey konveyerov s podvesnoy lentoy [Universal method for optimal design of steel structures conveyors with hanging belt], *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 31-36.

7. Lagerev A.V., Boslovyak P.V. Optimalnoe proektirovanie uzlov metallkonstruktsii konveyera s podvesnoy lentoy v programmnom komplekse NX [Optimal design of joints of steel structures conveyor with hanging belt in the software package NX], *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.2, pp. 38-44.

8. Lagerev A.V., Boslovyak P.V. Optimalnoe proektirovanie metallkonstruktsey statsionarnykh konveyerov s podvesnoy lentoy na osnove razrabotannoy bazy konstruktivnykh skhem [Optimal design of steel structures fixed conveyors with hanging belt designed on the basis of database design schemes], *Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2014, No.3, pp. 63-67.

9. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Optimalnoe proektirovanie pod'yemno-transportnykh mashin* [Optimal design of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 228 p.

#### **Authors' information**

Pavel V. Boslovyak – Assistant at Bryansk State Technical University, *boslovyak89@mail.ru*.

Elena P. Zueva - Candidate of Technical Sciences, Associate professor at Bryansk State Technical University.

УДК 621.86

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ОТНОСИТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ И ПОКОЯ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ И ТЯГОВОЙ ЛЕНТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРИВОДОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

К.А. Гончаров

Брянский государственный технический университет

Предложен способ определения зон относительного скольжения и покоя грузонесущей и тяговой лент на участках установки промежуточных приводов ленточных конвейеров, выполненных в виде тяговых контуров. На примере показаны возможности предложенного способа в процессе проектирования многоприводных ленточных конвейеров.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, система приводов, тяговый расчет, зона относительного скольжения лент, зона относительного покоя лент, промежуточный привод.

Применение промежуточных приводов ленточных конвейеров (ЛК), выполненных в виде тяговых контуров, является одним из наилучших решений при необходимости транспортирования грузов на значительные расстояния без возможности их промежуточной перегрузки. Корректный выбор грузонесущей и тяговой лент, а также элементов системы приводов (СП), напрямую зависит от точности проведенного тягового расчета.

В работах [1, 2] описаны основные теоретические принципы формирования зон упругого скольжения и покоя в районе контакта грузонесущей и тяговой лент, непосредственно влияющих на распределение натяжений между ними. В источнике [1] определение длин указанных зон производится исходя из величины тягового усилия соответствующего привода, задаваемого проектировщиком. В работах [2, 6] предложена идея, заключающаяся в учете механических характеристик СП посредством выражения тяговых усилий промежуточных приводов через тяговое усилие главного привода с учетом продольного растяжения лент. В данном подходе можно выявить следующие недостатки:

- приближенность решения, заключающаяся в отбрасывании малых величин изменения скоростей лент, совокупный учет которых при определенной жесткости механических характеристик приводов [3] может оказать существенное влияние на распределение тяговых усилий между ними;
- сопротивления передвижению лент задаются в общем виде без разделения на сопротивления, зависящие от натяжения лент и не зависящие от них; так как многоприводные ЛК в большинстве своем имеют сложную пространственную трассу, вопрос определения необходимых натяжений лент, создаваемых натяжными устройствами, особенно актуален и связывает воедино два фактора: с одной стороны – уменьшение сопротивления движению лент, с другой – обеспечение сцепления лент и приводных барабанов;
- механические характеристики двигателей учитываются посредством угловых коэффициентов наклона их рабочих ветвей (жесткостей характеристик), что соответствует их линейному виду; данное обстоятельство в определенных проектных ситуациях может привести к значительным погрешностям расчетах [4].

Из-за описанных выше недостатков данный подход не дает качественный результат при определении длин зон упругого скольжения и покоя в районе контакта грузонесущей и тяговой лент.

В настоящей статье предлагается способ решения данной задачи с опорой на методику тягового расчета, предложенную в [5].

При набегании несущей ленты на промежуточный привод (рис. 1) согласно [1] образуется зона относительного покоя лент длиной  $l_{on}$ .

На участке  $l_{on}$  натяжение грузонесущей ленты увеличивается на величину

$$\Delta S_{oni} = \left[ (q_l^h + q_l^m + q_{gp} + q_{pe}) \omega \cos \beta + (q_l^h + q_l^m + q_{gp}) \sin \beta \right] \frac{E_n l_{on}}{E_n + E_m} = w_{iy} \frac{E_n l_{on}}{E_n + E_m},$$

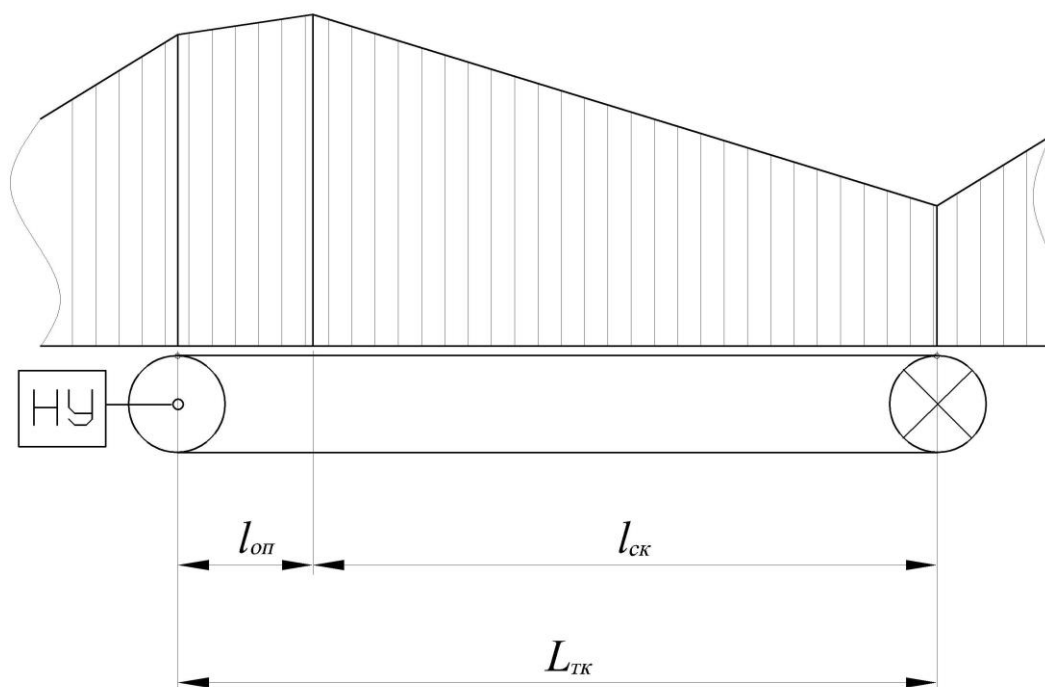


Рис. 1. Положение зон относительного покоя и скольжения:  
НУ – натяжное устройство

где  $q_l^h$  – распределенная нагрузка от веса несущей ленты;  $q_l^m$  – распределенная нагрузка от веса тяговой ленты;  $q_{zp}$  – распределенная нагрузка от веса груза;  $q_{pв}$  – распределенная нагрузка от вращающихся частей роlikоопор грузовой ветви конвейера;  $\omega$  – обобщенный коэффициент сопротивления движению на грузовой ветви конвейера;  $\beta$  – угол наклона привода к горизонту;  $E_n$  – жесткость на растяжение несущей ленты;  $E_m$  – жесткость на растяжение тяговой ленты.

На участке относительного скольжения  $l_{ск}$  натяжение несущей ленты изменяется на величину

$$\Delta S_{ски} = ((q_l^h + q_{zp}) \sin \beta - (q_l^h + q_{zp}) \mu \cos \beta) (L_{mk} - l_{он}) = (w_{ni} - W_{nni}) (L_{mk} - l_{он}),$$

где  $\mu$  – коэффициент сцепления между тяговой и несущей лентой соответствующего привода;  $L_{mk}$  – длина промежуточного ленточного привода (расстояние между концевым и приводным барабанами);  $w_{ni}$  – удельное сопротивление от подъема груза на заданном перепаде высот при наклонном расположении промежуточного привода;  $W_{nni}$  – удельное полезное тяговое усилие промежуточного привода, передаваемое несущей ленте.

Таким образом, при обходе замкнутого контура несущей ленты, содержащего участки барабанных и ленточных приводов, можно записать

$$k S_{сб1} + \Sigma W_{ли} + \Sigma \Delta S_{они}(l_{они}) + \Sigma \Delta S_{ски}(l_{они}) - \Sigma W_{бни} = S_{сб1}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий сопротивления движению ленты, зависящие от её натяжения;  $\Sigma W_{ли}$  – сумма сопротивлений движению ленты, не зависящих от её натяжения;  $\Sigma W_{бни}$  – сумма тяговых усилий барабанных приводов конвейера;  $S_{сб1}$  – натяжение несущей ленты в точке её сбегания с приводного барабана в начальной точке отсчета.

Уравнения механических характеристик барабанных приводов записываются аналогично [5]. Для промежуточных ленточных приводов

$$W_{nni} \cdot (L_{mki} - l_{они}) = W_{ли}(n_i) - F_{mki}, \quad (2)$$

где  $W_{ли}(n_i)$  – функция механической характеристики  $i$ -го ленточного привода, в которой в качестве аргумента выступает частота вращения вала двигателя  $n_i$ ;  $F_{mki}$  – собственное сопротивление движению тягового контура, определяемое зависимостью



$$F_{m\kappa i} = k_{m\kappa} S_{c\delta i} + (q_l^m + q_{pn}) \omega_1 \cos \beta L_{m\kappa i} + q_l^m \sin \beta L_{m\kappa i} + w_{iy} \frac{E_m l_{oni}}{E_n + E_m} + (q_l^h + q_l^m + q_{cp} + q_{pe}) \omega \cos \beta (L_{m\kappa i} - l_{oni}) + q_l^m \sin \beta (L_{m\kappa i} - l_{oni}),$$

где  $k_{m\kappa}$  – коэффициент, учитывающий сопротивления движению тяговой ленты привода, зависящие от её натяжения;  $S_{c\delta i}$  – натяжение тяговой ленты в точке её сбегания с приводного барабана в начальной точке отсчета;  $q_{pn}$  – распределенная нагрузка от вращающихся частей роликкоопор порожней ветви конвейера;  $\omega_1$  – обобщенный коэффициент сопротивления движению на порожней ветви конвейера.

Частоты вращения барабанов приводов аналогично [2, 5] свяжем друг с другом через продольное растяжение лент

$$n_{lni} = f(n_{\delta ni}, E_n, E_m, S_{c\delta i}, l_{oni}). \quad (3)$$

Добавив условия отсутствия буксования приводных барабанов с варьируемым параметром коэффициента запаса по сцеплению, в общем виде получим следующую систему уравнений

$$\begin{cases} kS_{c\delta 1} + \Sigma W_{li} + \sum \Delta S_{oni}(l_{oni}) + \sum \Delta S_{cki}(l_{oni}) - \sum W_{\delta ni} = S_{c\delta 1} \\ W_{\delta ni} = W_{\delta ni}(n_i); \\ W_{nni} \cdot (L_{m\kappa i} - l_{oni}) = W_{\delta ni}(n_i) - F_{m\kappa i}(l_{oni}, S_{c\delta i}); \\ n_j = f(n_i, E_n, E_m, S_{c\delta i}, l_{oni}); \\ k_{zi} \cdot W_{\delta ni} = S_{c\delta i} (e^{\mu_i \cdot \alpha_i} - k_{zi}) \end{cases} \quad (4)$$

В системе уравнений (4)  $\mu_i$  – коэффициент сцепления ленты с приводным барабаном,  $\alpha_i$  – угол обхвата лентой приводного барабана.

Неизвестными переменными в данной системе являются  $S_{c\delta 1}$ ,  $S_{c\delta i}$ ,  $l_{oni}$ ,  $n_i$ .

В качестве примера определим зоны упругого скольжения и покоя в районе контакта грузонесущей и тяговой лент на примере конвейера (рис. 2), имеющего следующие параметры: мощность каждого электродвигателя 55 кВт,  $\mu_i = 0,3$ ,  $\alpha_i = 240^\circ$ . Несущая и тяговая ленты изготовлены из стандартной резинотканевой ленты 2ШТК200-2×3 с жесткостью на растяжение  $E_n = E_m = 3,2$  МН. Производительность конвейера 300 т/ч. Механические характеристики приводов идентичны.

Для данного примера система уравнений (4) примет вид

$$\begin{cases} kS_{c\delta 1} + \Sigma W_{li} + w_{1y} \frac{E_n l_{on}}{E_n + E_m} + (w_{n1} - W_{nn1})(L_{m\kappa} - l_{on}) - W_{\delta n1} = S_{c\delta 1} \\ W_{\delta n1} = W_{\delta n1}(n_1) \\ W_{\delta n2} = W_{\delta n2}(n_2) \\ W_{nn1} \cdot (L_{m\kappa} - l_{on}) = W_{\delta n2}(n_2) - F_{m\kappa 2}(l_{on}, S_{c\delta 2}) \\ n_2 = n_1 \cdot \left( 1 + \frac{S_{\delta n}(l_{on}, S_{c\delta 1}) - S_{\delta n}(l_{on}, S_{c\delta 1})}{E_n} \right) \cdot \left( 1 + \frac{S_{\delta m}(l_{on}) - S_{\delta m}(l_{on})}{E_m} \right); \\ k_{z1} \cdot W_{\delta n1} = S_{c\delta 1} (e^{\mu_1 \cdot \alpha_1} - k_{z1}) \\ k_{z2} \cdot W_{\delta n2} = S_{c\delta 2} (e^{\mu_2 \cdot \alpha_2} - k_{z2}) \end{cases} \quad (5)$$

При задаваемых коэффициентах запаса по сцеплению  $k_{zi} = 1,6$  длина зоны относительного покоя лент составит 31,364 м (участок 6 – 7), при этом максимальное натяжение несущей ленты наблюдается в точке 7 (точка окончания зоны относительного покоя) и составляет 43785 Н. Головной барабанный привод развивает тяговое усилие 22790 Н, промежуточный ленточный привод – 17230 Н. Полезное тяговое усилие, передаваемое промежуточным приводом несущей ленте, составляет 13280 Н.

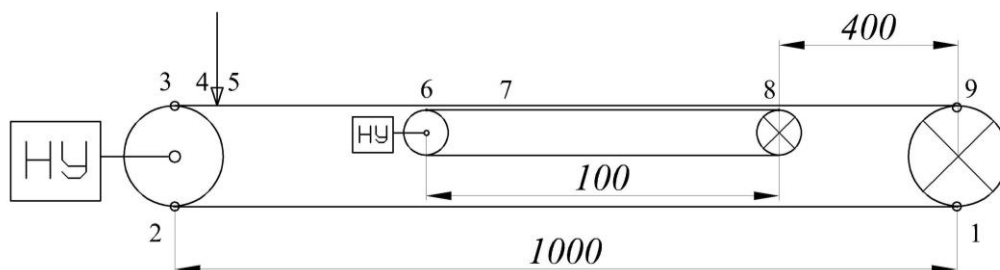


Рис. 2. Схема трассы конвейера для расчета

Для сравнения, при проведении тягового расчета без учета зон относительного покоя и скольжения при тех же значениях коэффициента запаса по сцеплению максимальное натяжение ленты наблюдается в точке 6 и составляет 43291 Н. Головной барабанный привод развивает тяговое усилие 22790 Н, промежуточный ленточный привод – 17230 Н. Полезное тяговое усилие, передаваемое промежуточным приводом несущей ленте, составляет 12780 Н.

Длина зоны относительного покоя составляет 31,3 % длины промежуточного привода, что существенно снижает эффективность привода. При сокращении длины промежуточного привода до 80 м (с сохранением расстояния между точками 8 и 9 равным 400 м) длина зоны относительного покоя лент составит 10,127 м. Максимальное натяжение несущей ленты наблюдается в точке 7 и составляет 44019 Н. Головной барабанный привод развивает тяговое усилие 22780 Н, промежуточный ленточный привод – 17050 Н. Полезное тяговое усилие, передаваемое промежуточным приводом несущей ленте, составляет 13510 Н.

То есть, при сохранении основных показателей работы системы приводов и натяжения несущей ленты длину тяговой ленты промежуточного привода можно уменьшить на 40 погонных метров, а также устранить из конструкции порядка восьми холостых роликоопор, сократив при этом длину става конвейера.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Расчеты без учета зон относительного покоя и скольжения лент и с их учетом дают сопоставимые по точности результаты, однако расчет без учета зон менее трудоемок, что позволяет судить о целесообразности его использования на предварительных этапах проектирования СП ЛК при определении параметров различных вариантов систем приводов [7].

2. Расчет с учетом зон относительного покоя и скольжения лент целесообразно проводить для выбранного к реализации варианта СП ЛК. Как было показано на примере, особенности данного расчета позволяют избежать лишних затрат и повысить эффективность конструкции еще на стадии проектирования.

### Список литературы

1. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко [и др.]. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 543 с.
2. Шахмейстер, Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987 – 336 с.
3. Гончаров, К.А. Подход к тяговому расчету многоприводных ленточных конвейеров с учетом возможных отклонений механических характеристик двигателей приводов / К.А. Гончаров // Проведение исследования по приоритетным направлениям современной науки для создания инновационных технологий: Материалы IV региональной научно-практической конференции молодых исследователей и специалистов: [Текст] + [Электронный ресурс] / под ред. И.Г. Чернышовой. – Брянск: БГТУ, 2012. – С 7.
4. Денисов, И.А. Особенности построения механических характеристик совместной работы электродвигателей и гидромурфт приводов ленточных конвейеров / И.А. Денисов, К.А. Гончаров / Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: материалы XIX Московской международной межвузовской

научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С.47-49.

5. Гончаров, К.А. Совершенствование тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров с учетом механических характеристик приводов / К.А. Гончаров // Подъемно-транспортное дело. – 2011. – № 4. – С. 2–5.

6. Реутов, А.А. Моделирование приводов ленточных конвейеров / А.А. Реутов. - Брянск: БГТУ, 2011. - 152 с.

7. Реутов, А.А. Методика проектирования системы приводов ленточного конвейера / А.А. Реутов, К.А. Гончаров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы международной научно-технической конференции 21-22 апреля 2011 г./ под ред. И. С. Сазонова. - Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – Ч. 2. – С. 25-26.

### **Сведения об авторе**

Гончаров Кирилл Александрович - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», ptm\_bstu@mail.ru.

## **DETERMINATION OF RELATIVE IMMOBILE AND SLIDING AREAS BETWEEN CARRYING AND TRACTIVE BELTS IN USING OF BELT CONVEYOR INTERMEDIATE DRIVES**

K.A. Goncharov

Bryansk State Technical University

Method of determination of relative immobile and sliding areas between carrying and tractive belts in places of mounting of belt conveyor intermediate drives made in the form of tractive contours is proposed. The example shows potential of this method in multidrive belt conveyor design process.

**Keywords:** *belt conveyor, drive system, calculation of tractive efforts, relative sliding area of belts, relative immobile area of belts, intermediate drive.*

### **References**

1. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornykh predpriyatiy* [Actual theory of belt conveyors in mining]. Moscow, MSMU publishing company, 2005. 543 p.

2. Shakhmeister L.G., Dmitriev V.G. *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyors]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 336 p.

3. Goncharov K.A. The approach to the calculation of traction of multi-drive belt conveyors taking into account the possible deviations of the mechanical characteristics of drives. *Materialy IV regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Provedeniye issledovaniy po prioritetnym napravleniyam sovremennoy nauki dlya sozdaniya innovatsionnykh tekhnologiy»* (Materials of the IV regional scientific and practical conference of young researchers and specialists «Conducting of research in priority areas of modern science to create innovative technologies»). Bryansk, BSTU, 2012, pp. 7.

4. Denisov I.A., Goncharov K.A. Features of construction of mechanical characteristics of joint operation of electric motors and hydraulic couplings of the conveyor belt drives. *Materialy XIX Moskovskogo mezhdunarodnoy mezhuniversitetskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Podyemno-transportnye, stroitelnye, dorozhnye, putevye mashiny i robototekhnicheskie komplekсы»* (Materials of the XIX Moscow international interuniversity scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists «Lifting-transportation, building, road, track machines and robotic systems»). Moscow, MSTU N.E. Bauman, 2015, pp. 47-49.

5. Goncharov K.A. Sovershenstvovanie tyagovogo rascheta mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov s uchetom mekhanicheskikh kharakteristik privodov [Improving the calculation of traction of multi-drive belt conveyors taking into account the mechanical characteristics of drives]. *Podyemno-transportnoe delo*, 2011, No.4, pp. 2–5.

6. Reutov A.A. *Modelirovanie privodov lentochnykh konveyerov* [Modeling of the conveyor belt drives]. Bryansk, BSTU, 2011.

7. Reutov A.A., Goncharov K.A. Method of belt conveyor drive system design. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Materialy, oborudovanie i pesursosberegayushchie tekhnologii»* (Materials of the international scientific and technical conference «Materials, equipment and resource saving technologies»). Mogilev, Belarusian-Russian University, 2011, vol.2, pp. 25-26.

#### **Author' information**

Kirill A. Goncharov - Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Head of chair at Bryansk State Technical University, ptm\_bstu@mail.ru.

УДК 621.86

## СНИЖЕНИЕ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ, ВЫЗЫВАЕМОЙ ЛЮФТОМ В ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЗВЕНЬЕВ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК

И.А. Лагереv, А.А. Мильто, А.В. Лагереv

Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского

Предложено конструкционное решение, позволяющее снизить ударную нагрузку, обусловленную наличием зазоров в петлевых шарнирных соединениях звеньев гидравлических крано-манипуляторных установок (КМУ). Рассмотрены механизмы возникновения ударной нагрузки в классическом и модифицированном петлевом сочленении. В разработанном программном комплексе KBCrane выполнена серия динамико-прочностных расчетов КМУ с люфтом в шарнирном сочленении, демонстрирующая снижение напряжений в несущих элементах металлоконструкции КМУ в 1,4-2,9 раза и ускорения груза в 1,8-10,3 раза при использовании предложенного конструкционного решения.

**Ключевые слова:** люфт шарнирного соединения, удар, крано-манипуляторная установка, динамика, прочность

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых-кандидатов наук №МК-92.2014.8.

В шарнирных соединениях звеньев крано-манипуляторных установок (КМУ) неизбежно присутствуют зазоры, величина которых зависит от точности изготовления деталей и степени износа их контактирующих поверхностей. Рекомендациями Ростехнадзора [1] установлены максимальные величины зазоров в шарнирных соединениях звеньев КМУ, при которых допускается их эксплуатация. Во многом это обусловлено возникновением существенных ударных нагрузок, возникающих при работе КМУ с люфтом в шарнирных сочленениях.

Рассмотрим более подробно механизм возникновения данных нагрузок. Для этого обратимся к примеру, изображенному на рис. 1. КМУ, имеющая люфт  $\Delta d$  в шарнирном сочленении, соединяющем рукоять с грузоподъемной корзиной, начинает поворот в направлении  $q_1$  с угловым ускорением из состояния покоя. Наличие зазоров в шарнире приводит к тому, что в нем появляются дополнительные степени свободы  $s_1$  и  $s_2$ , и грузоподъемная корзина под действием сил инерции начинает совершать движение относительно рукояти не только в направлении  $q_4$ , изначально заложенном в конструкции, но и в направлениях  $s_1$  и  $s_2$ . Поскольку перемещения по степеням свободы  $s_1$ ,  $s_2$  возможны лишь в небольших пределах, то вскоре после начала движения имеющийся в шарнире люфт выбирается полностью: шарнирный палец упирается в поверхность отверстия проушины, и накопленная корзиной с грузом кинетическая энергия переходит в энергию удара. В момент удара повышенную нагрузку испытывают не только элементы металлоконструкции КМУ, но и сам груз, что может быть недопустимо при транспортировке хрупких или взрывоопасных грузов. Кроме того, многократно повторяющиеся ударные нагрузки приводят к ускоренному

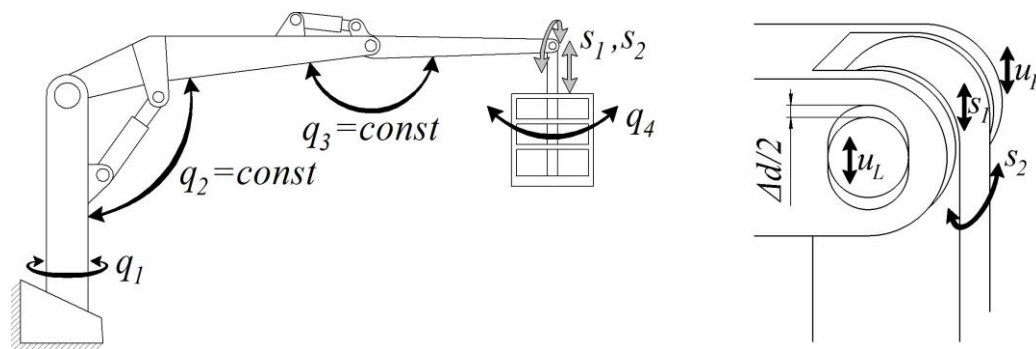


Рис. 1. КМУ с зазором  $\Delta d$  в отверстии проушины рукояти, приводящим к появлению дополнительных степеней свободы  $s_1$  и  $s_2$  в шарнирном соединении

накоплению усталости в несущих элементах металлоконструкции КМУ, а также способствуют износу в узлах с контактирующими поверхностями и, соответственно, дальнейшему росту зазоров в шарнирах.

Для снижения возникающих ударных нагрузок предложено следующее конструктивное решение: к обеим сторонам проушины рядом с отверстиями под шарнирный палец привариваются цилиндрические втулки, внутри которых по окружности устанавливаются упругие элементы, взаимодействующие с шарнирным пальцем через кольцо, имеющее возможность свободного проскальзывания относительно пальца (рис. 2).

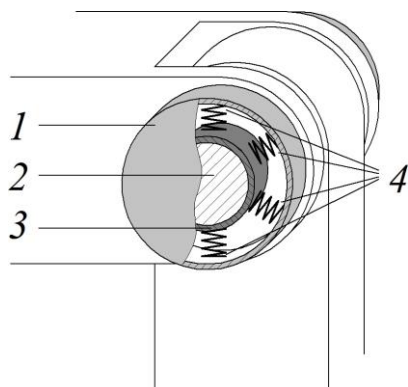


Рис. 2. Конструктивное исполнение устройства, поглощающего ударную нагрузку, обусловленную наличием зазоров в отверстиях проушины рукояти:

1 – цилиндрическая втулка; 2 – шарнирный палец; 3 – кольцо; 4 – упругие элементы

При отсутствии зазоров работа такого сочленения принципиально не отличается от работы обычного петлевого шарнира (рис. 3, а), однако с появлением люфта имеющиеся в нем упругие элементы включаются в работу по поглощению энергии удара (рис. 3, б). По мере роста зазоров длина пути, на котором упругие элементы совершают работу, а также величина их максимальной деформации увеличивается, тем самым позволяя компенсировать возрастающие при этом ударные нагрузки.

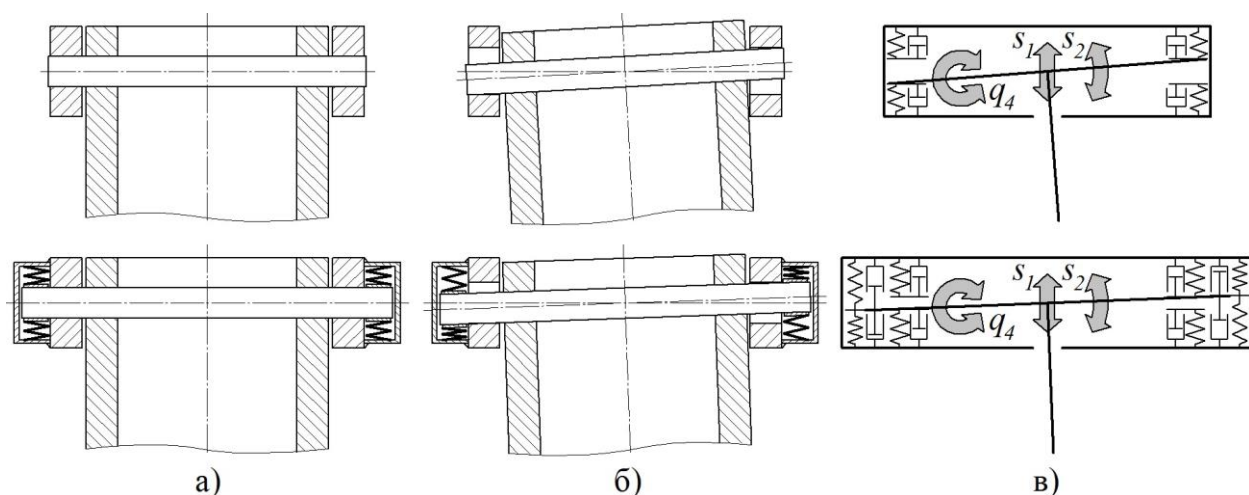


Рис. 3. Исходное и модифицированное петлевое шарнирное соединение:  
а – без люфта; б – при наличии люфта; в – расчетная схема

Чтобы оценить эффективность работы предложенного конструктивного решения, была смоделирована ударная нагрузка, возникающая в рассмотренном выше примере. Для этого использовалась методика динамико-прочностного расчета КМУ с зазорами в шарнирных соединениях, предложенная ранее [2]. КМУ была представлена набором твердых

тел, соединенных шарнирами (рис. 4). Люфт в шарнире моделировался путем добавления в него соответствующих степеней свободы  $s_1, s_2$  и наложения на них ограничений с помощью упругих и демпфирующих элементов (рис. 3, в).

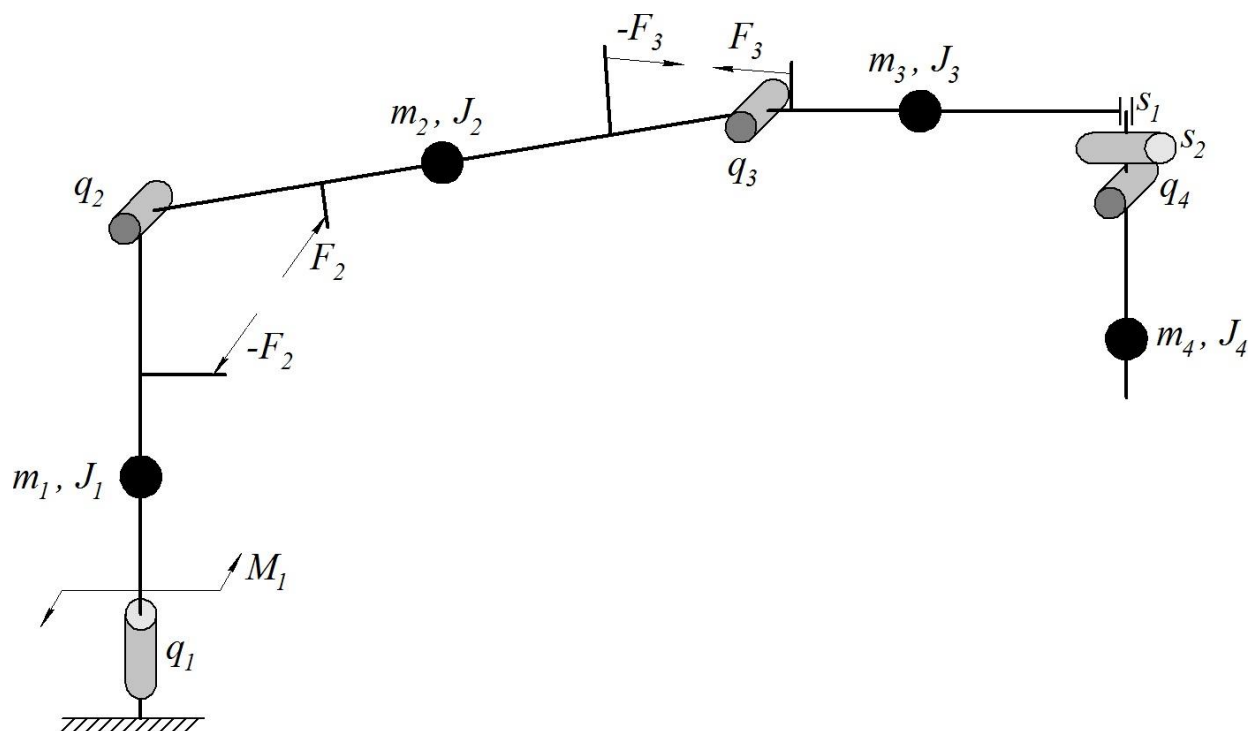


Рис. 4. Расчетная схема КМУ для решения задачи динамики. Здесь  $q_i, s_i$  – обобщенные координаты, соответствующие степеням свободы изначально заложенным в конструкцию и появившимся с образованием зазора в шарнире;  $m_i, J_i$  – масса и тензор инерции в центре тяжести  $i$ -го звена;  $M_i, F_i$  – момент или сила, развиваемые  $i$ -м гидродвигателем

Непосредственно расчет был выполнен в разработанном программном комплексе KBScrane [3, 4]. Для решения задачи динамики и определения напряжений использовались методики, представленные в работах [5–7]. Поскольку поставленная задачи динамики является гибридной, то для ее решения использовалась комбинация алгоритмов Ньютона-Эйлера (RNEA) и составного твердого тела (CRBA) [8]. В процессе решения задачи динамики на каждом шаге интегрирования уравнений движения по времени требовалось определять усилия, действующие со стороны ограничителей на палец шарнира, имеющего зазор. В модифицированном шарнирном соединении усилия  $F_1$  и  $F_2$ , действующие со стороны поглощающих ударную нагрузку устройств, определялись по формулам:

$$u_1 = s_1 - \frac{b}{2} \sin s_2, \quad \dot{u}_1 = \dot{s}_1 - \frac{b}{2} s_2 \cos s_2, \quad F_1 = -2(c_1 u_1 + \alpha_1 \dot{u}_1);$$

$$u_2 = s_1 + \frac{b}{2} \sin s_2, \quad \dot{u}_2 = \dot{s}_1 + \frac{b}{2} s_2 \cos s_2, \quad F_2 = -2(c_2 u_2 + \alpha_2 \dot{u}_2);$$

где  $u_i, \dot{u}_i$  – вертикальные перемещения и скорости соответствующих точек пальца шарнира;  $s_i, \dot{s}_i$  – обобщенные координаты и скорости;  $b$  – расстояние между центрами поглощающих ударную нагрузку устройств;  $\alpha_i, c_i$  – приведенные коэффициенты демпфирования и жесткости поглощающих ударную нагрузку элементов.

Аналогичным образом определялись усилия  $F_k$  в зонах контакта пальца и отверстий проушины. При этом вход и выход из контакта учитывался в условии, имеющем следующий вид [9]:

$$F_k = \begin{cases} F_{\text{верх}} & u > u_{\text{верх}} \wedge F_{\text{верх}} < 0; \\ F_{\text{нижн}} & u < u_{\text{нижн}} \wedge F_{\text{нижн}} > 0; \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

где  $u_{\text{верх}}$ ,  $u_{\text{нижн}}$  – верхняя и нижняя граница люфта;  $F_{\text{верх}}$ ,  $F_{\text{нижн}}$  – реакции со стороны верхнего и нижнего ограничителей;  $F_k$  – контактная сила.

Расчет был выполнен для зазора в отверстиях проушины  $\Delta d = 2$  мм, что соответствует максимально допустимой величине выработки отверстия диаметром 50 мм, согласно рекомендациям Ростехнадзора [1]. Зависимости перемещений в вертикальном направлении центров  $R$  и  $L$  сечений шарнирного пальца  $u_L$  и  $u_R$ , ускорения груза  $a$ , максимальных напряжений в стреле  $\sigma_2$  и рукояти  $\sigma_3$  КМУ от времени для шарнирного соединения, не оснащенного и оснащенного поглощающими ударную нагрузку устройствами, представлены на рис. 5, а и рис. 5, б соответственно.

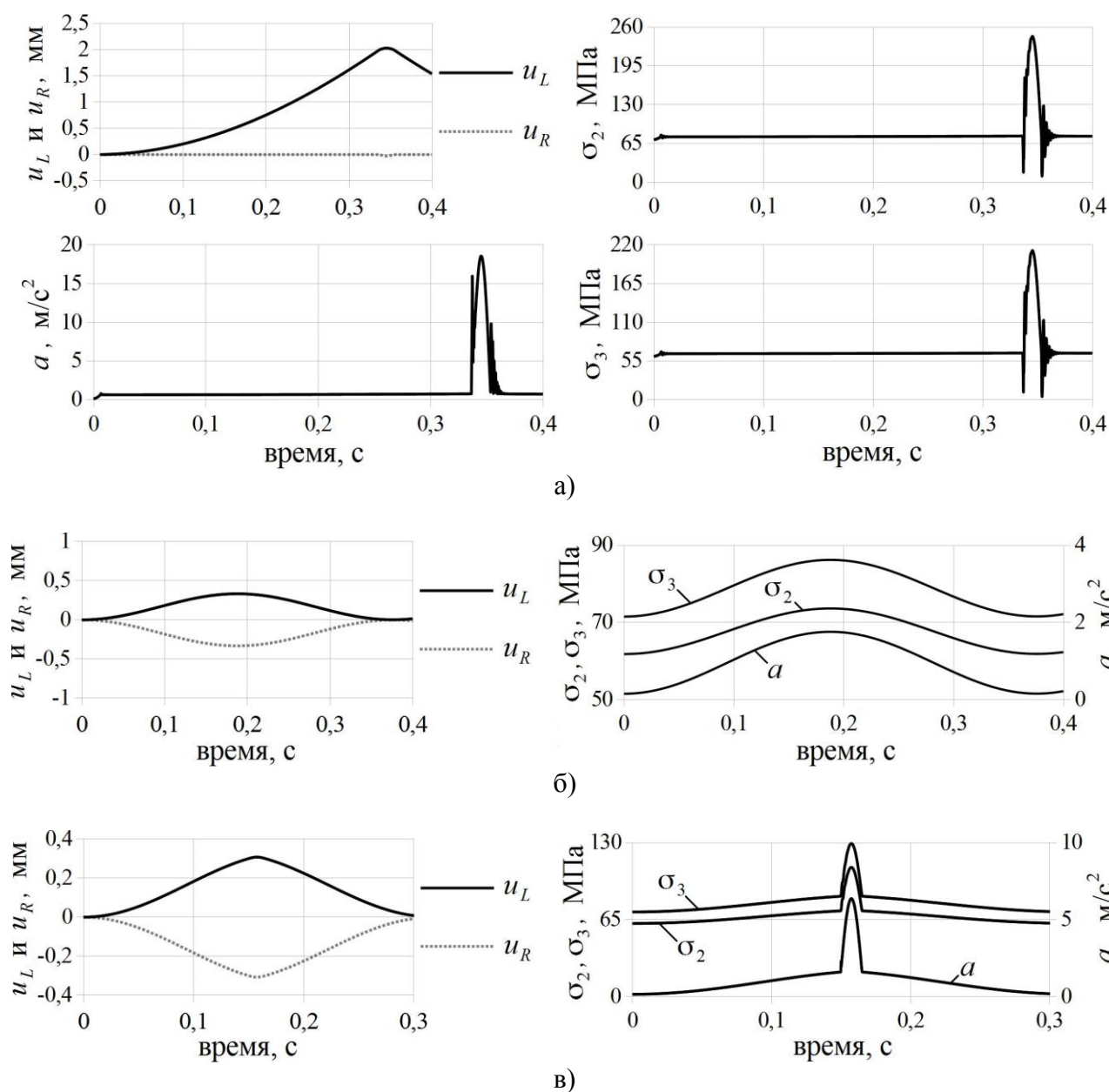


Рис. 5. Графики зависимостей параметров КМУ от времени:

- а – шарнир с зазором 2 мм без поглощающих ударную нагрузку устройств;
- б – шарнир с зазором 2 мм с поглощающими ударную нагрузку устройствами;
- в – шарнир с зазором 0,6 мм с поглощающими ударную нагрузку устройствами



В первом случае максимальные напряжения в стреле и рукояти зарегистрированы в момент удара, произошедшего при выборе люфта в шарнире, и достигли значений в 245 МПа и 212 МПа соответственно, а максимальное ускорение груза составило  $18,5 \text{ м/с}^2$ . Во втором случае удара не произошло: края шарнирного пальца, удерживаемые упругими элементами, совершили колебания в вертикальной плоскости с амплитудой 0,31 мм, таким образом, люфт в шарнире не был выбран полностью, а нагрузка была целиком воспринята поглощающими устройствами. При этом максимальные напряжения в стреле и рукояти, а также максимальное ускорение груза составили  $1,8 \text{ м/с}^2$ , 86 МПа и 74 МПа соответственно (в 10,3 раза, 2,8 раза и 2,9 раза меньше первого случая).

Очевидно, что при достаточно малой величине зазора в шарнире (например, в аналогичных случаях нагружения – меньше 0,62 мм) поглощающие ударную нагрузку устройства не смогут предотвратить полного выбора люфта в сочленении, а значит, будут работать менее эффективно. Так, при зазоре в отверстиях проушины  $\Delta d = 0,6 \text{ мм}$  (рис. 5, в) происходит удар пальца о поверхности отверстий проушин, при котором напряжения в стреле и рукояти достигают 129 МПа и 109 МПа, а ускорение груза –  $6,4 \text{ м/с}^2$ . Для сравнения, при отсутствии поглощающих ударную нагрузку устройств соответствующие максимальные напряжения и ускорения составляют 177 МПа, 152 МПа и  $11,4 \text{ м/с}^2$  (то есть в 1,4 раза, 1,4 раза и 1,8 раза больше). Таким образом, несмотря на то, что данные устройства при малом люфте в шарнире не позволяют избежать удара, они существенно снижают его энергию за счет уменьшения скорости сближения контактирующих поверхностей. Применяя в поглощающих ударную нагрузку устройствах элементы с более высокой жесткостью и демпфируемостью можно предотвратить соударение поверхностей пальца и отверстий проушины при меньшем по величине зазоре в сочленении. В тоже время, использование таких элементов может потребовать усиления конструкции поглощающих ударную нагрузку устройств и их крепления к рукояти, а также приводить к негативным динамическим эффектам, связанным с повышением собственной частоты колебаний груза.

В целом, можно сделать вывод, что предложенное конструкционное решение позволяет в ряде случаев не только существенно снизить ударную нагрузку, возникающую в момент выбора люфта в шарнире, имеющего зазор, и обеспечить большую сохранность при транспортировке хрупких и взрывоопасных грузов, но также замедлить рост люфта в шарнирном сочленении за счет торможения перед ударом сближающихся поверхностей контакта. Для обеспечения эффективности работы предлагаемого устройства выбор упругих и демпфирующих характеристик поглощающих ударную нагрузку элементов целесообразно проводить индивидуально для каждого шарнира с учетом предполагаемых условий эксплуатации КМУ. При этом для расчета может быть применена методика динамико-прочностного анализа КМУ при наличии зазоров в шарнирах, затронутая в данной статье и более подробно освещенная в научных публикациях [2, 5-7, 10, 11].

### **Список литературы**

1. РД 10-112-2-09. Методические рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Ч. 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные. М.: ООО «НИИКраностроения», 2009. - 120 с.
2. Лагерев, А.В. Динамика гидравлических крано-манипуляторных установок при наличии зазоров в шарнирных соединениях звеньев / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Приводы и компоненты машин. - 2015. - № 2. - С. 2–4.
3. Лагерев А.В., Мильто А.А. Программа для ЭВМ KBSCrane Dynamics. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614195 от 17 апреля 2014 года (Федеральная служба по интеллектуальной собственности).
4. Лагерев А.В., Мильто А.А. Программа для ЭВМ KBSCrane Graphics. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614196 от 17 апреля 2014 года (Федеральная служба по интеллектуальной собственности).

5. Лагереv, А.В. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, А.А. Мильто // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2013. - № 3. - С. 24–31.
6. Лагереv, А.В. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических кранов-манипуляторов в задачах динамики / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, А.А. Мильто // Вестник Брянского государственного университета. - 2013. - № 4. - С. 21–26.
7. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes // International Review on Modelling and Simulations. 2014. Vol. 7, N. 4. P. 644–652.
8. Featherstone R. Rigid Body Dynamics Algorithms. N.Y.: Springer, 2008. 272 p.
9. Jönsson A., Bathelt J., Broman G. Implications of Modelling One-Dimensional Impact by Using a Spring and Damper Element // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics. 2005. Vol. 219, N. 3. P. 299–305.
10. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes using Finite Element Method // International Review on Modelling and Simulations. 2015. Vol. 8, N. 2. P. 223–226.
11. Лагереv, А.В. Исследование динамики и прочности гидравлических крано-манипуляторных установок на подвижном шасси / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, А.А. Мильто // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2015. - № 1. - С. 43–48.

#### **Сведения об авторах**

Лагереv Игорь Александрович – кандидат технических наук, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», lagerev-bgu@yandex.ru.

Мильто Андрей Александрович – инженер, miltoandrey@ya.ru.

Лагереv Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», bsu-avl@yandex.ru.

## **REDUCING THE IMPACT LOAD ARISING FROM THE LOOSENESS IN JOINTS OF ARTICULATING CRANES**

I.A. Lagerev, A.A. Milto, A.V. Lagerev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

A modification of hinge joints in articulating cranes is proposed in order to reduce the impact load arising from the joint looseness. The idea is to provide an additional support for the joint pin using elastic elements. As the contact surfaces of the pin and the eyes of the joint wear out these elements start absorbing the shock load, caused by developed looseness in the joint. The dynamics and stress analysis of an articulating crane with one loose joint is performed to illustrate the difference between the classic and modified joint assembly. The numerical simulations are performed using the developed software KBCrane. The simulation results demonstrate a decrease in peak boom stress and cargo acceleration by up to 2.9 and 10.3 times respectively in a crane with modified hinge joint compared to a crane with classic hinge joint.

**Key words:** joint looseness, impact, articulating crane, dynamics, strength

### References

1. RD 10-112-2-09. *Metodicheskiye rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniyu gruzopodyemnykh mashin. Ch. 2. Krany strelovyye obshchego naznacheniya i krany-manipulyatory gruzopodyemniye*. Moscow, OOO «NIIKranostroyeniya», 2009. 120 p.
2. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Dynamics simulation of hydraulic crane-manipulator with gaps in hinge joints of a boom, *Privody i komponenty mashin*, 2015, No.2, pp. 2–4.
3. Lagerev A.V., Milto A.A. *KBCrane Dynamics. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [KBCrane Dynamics. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2014614195, 2014.
4. Lagerev A.V., Milto A.A. *KBCrane Graphics. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [KBCrane Graphics. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2014614196, 2014.
5. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for analysing hydraulic articulating crane dynamics, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.3, pp. 24-31.
6. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for stress analysis of beam elements of articulating cranes in case of dynamic load, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 21-26.
7. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes, *International Review on Modelling and Simulations*, 2014, Vol. 7, No. 4, pp. 644–652.
8. Featherstone R. *Rigid Body Dynamics Algorithms*. N.Y.: Springer, 2008. 272 p.
9. Jönsson A., Bathelt J., Broman G. Implications of Modelling One-Dimensional Impact by Using a Spring and Damper Element, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics*, 2005, Vol. 219, No. 3, pp. 299–305.
10. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes using Finite Element Method, *International Review on Modelling and Simulations*, 2015, Vol. 8, No. 2, pp. 223–226.
11. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. The study of dynamics and strength of hydraulic crane-manipulating installations on a movable chassis, *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 43-48.

### Authors' information

Igor A. Lagerev - Candidate of Technical Sciences, Vice rector for Innovations at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, lagerev-bgu@yandex.ru.

Andrei A. Milto – graduate engineer, miltoandrey@ya.ru.

Alexander V. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, bsu-avl@yandex.ru.

УДК 621.867

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ, ПРИЛОЖЕННЫХ К ПОДВЕСКАМ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ТРАССЕ

Е.Н. Толкачев

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Рассмотрен базовый вариант трассы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, включающий основные участки транспортирования. Проанализировано поведение подвесок на соответствующих участках при их перемещении. Представлены зависимости для определения действующих на подвески усилий.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, подвесная лента, распределенный привод, подвеска.

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом – новейшая разработка последних лет в области машин непрерывного транспорта [2]. Описание конструкции конвейера и процесс взаимодействия между его элементами во время работы неоднократно приводились в научных публикациях [2, 5, 8, 11].

Развитие конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, помимо разработки новых конструкторских решений [9, 10], сопровождается научно-исследовательской работой в области моделирования его динамики [3-6, 11]. В указанных работах описаны уравнения динамики подвесок конвейера и представлены результаты моделирования их движения, однако, вопрос определения усилий, действующих на элементы подвесок, в зависимости от расположения на трассе конвейера в полной мере остался не освещенным.

Типовая конфигурация направляющих качения става конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом включает базовые участки, изображенные на рис. 1.

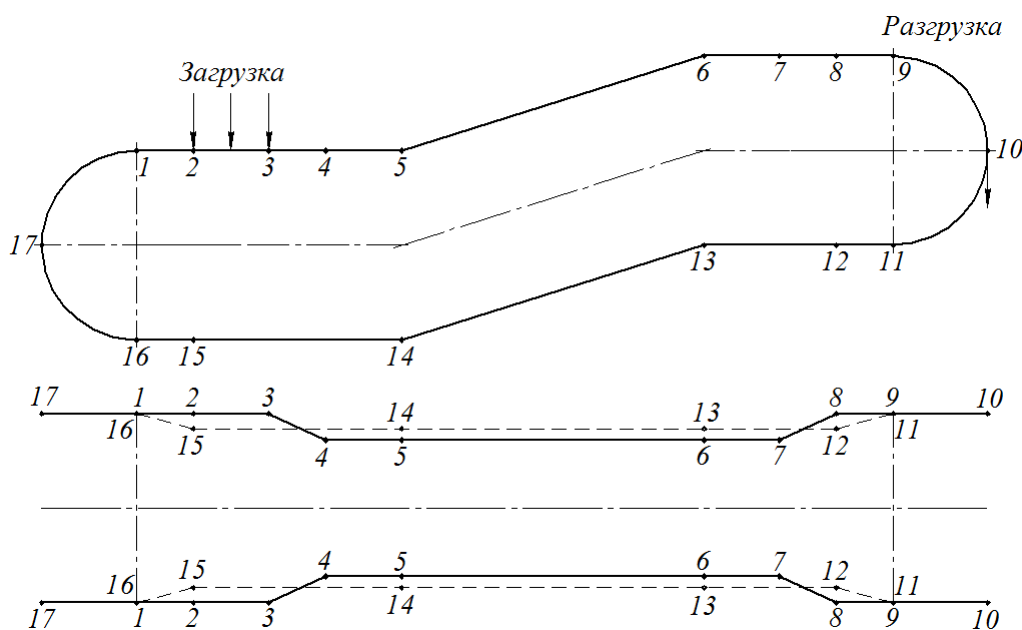


Рис. 1. Конфигурация направляющих качения става конвейера:

- 1–9 – грузовая ветвь; 11–16 – холостая ветвь; 2–3 – загрузочный пункт;
- 3–4, 11–12 – желобообразующие участки; 7–8, 15–16 – выполаживающие участки;
- 5–6 и 13–14 – наклонные участки; 9–11 и 16–1 – концевые поворотные участки;
- 9–0 – разгрузочный пункт.

На различных участках трассы в зависимости от назначения соответствующих секций става расстояние между направляющими качения отличается, в результате чего при движении подвесок изменяется угол наклона борта ленты к горизонту (рис. 2).

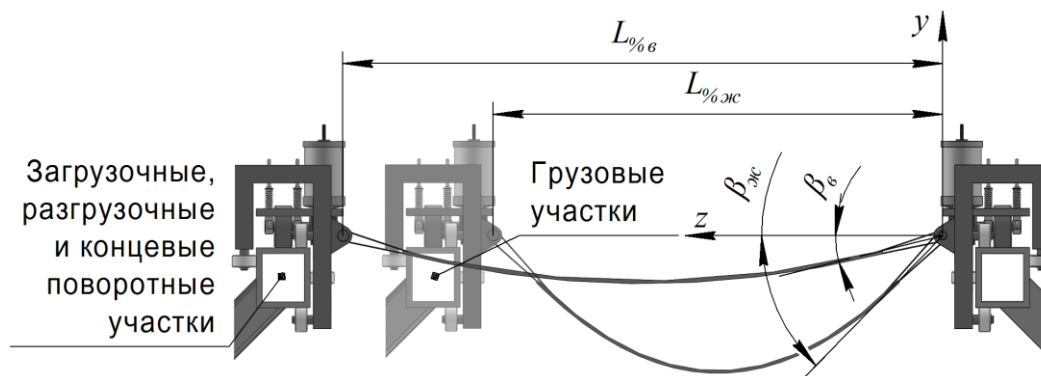


Рис. 2. Поперечные разрезы грузовой ветви конвейера на участках с желобчатой (4–7) и выположенной (1–3, 7–9) формой ленты

В работе [7] расстояние между точками подвеса ленты  $L_{\%}$  конвейера с подвесной лентой задается в долях от ее ширины  $B$  и варьируется в пределах от 0,5 до 0,9. Максимально возможная теоретическая производительность конвейера с подвесной лентой достигается при расстоянии между точками подвеса ленты (в долях от ее ширины)  $L_{\%}$  по формуле:

$$L_{\%} = 0,0046\varphi + 0,62 ,$$

где  $\varphi$  – угол естественного откоса транспортируемого груза.

В связи с чем, для обеспечения рациональной наполненности поперечного сечения ленты транспортируемым материалом, расстояние между точками ее подвеса на грузонесущей ветви (4–7) предлагается определять по приведенной формуле. Расстояния между точками подвеса ленты в долях от ее ширины для концевых поворотных участков (9–11, 16–1) трассы конвейера, оборудованных стационарными поддерживающими роликовыми опорами, выбираются наибольшими с целью обеспечения выположенного состояния ленты при повороте. Расстояние между точками подвеса ленты на переходных участках (7–8 и 15–16; 3–4 и 11–12) изменяется пропорционально его длине в пределах величин  $L_{\%}$ , соответствующих соединяемым участкам трассы.

В соответствии с теорией трубчатых конвейеров, для которых длина переходного участка  $L_{пер}^{mp}$  ориентировочно определяется как 30 диаметров трубчатого сечения ленты  $D_{mp}$  [1], протяженность переходного участка  $l_{пер}$  конвейера с подвесной лентой может быть определена аналогично (рис. 3).

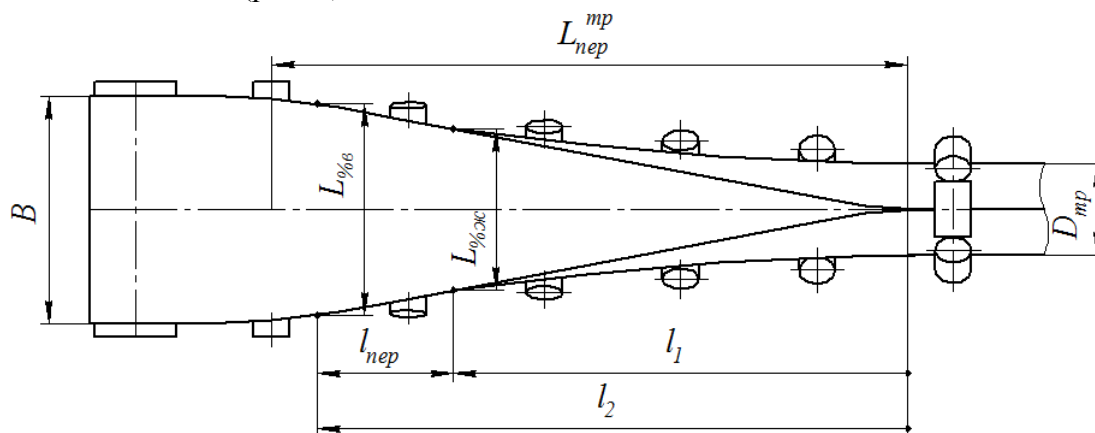


Рис. 3. Переходный участок трубчатого конвейера

Длину переходного участка

$$l_{пер} = l_2 - l_1 = 10(L_{\%в} - L_{\%жс}) .$$

получаем из соотношения расстояний

$$\frac{B}{L_{неp}^{mp}} = \frac{L_{\%в}}{l_2} = \frac{L_{\%жс}}{l_1},$$

где  $L_{неp}^{mp} = 30 \cdot D_{mp} = 30 \cdot \frac{B}{\pi} \cong 10B$ .

Учитывая непостоянство вдоль трассы величины расстояния между точками подвеса ленты  $L_{\%}$  (в долях от ее ширины), представим его функцией от перемещения  $i$ -й подвески  $L_{\%}(x_i)$ . В результате чего, угол наклона к горизонту бортов ленты конвейера с подвесной лентой по аналогии с работой [7] определяется как

$$\beta(x_i) = \arctan \left[ \left( \frac{1730}{L_{\%}^{1,87}(x_i)} - 1580 \right) \times \right. \\ \left. \times \left( 0,0338e^{0,0338 L_{\%}(x_i)} + \frac{(2 - e^{0,0338 L_{\%}(x_i)}) \ln(2 - e^{0,0338 L_{\%}(x_i)})}{L_{\%}(x_i)} \right) \right].$$

Для представленного на рис. 1 варианта конфигурации трассы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом изменение угла наклона бортов ленты к горизонту  $\beta(x_i)$  в зависимости от перемещения  $i$ -й подвески вдоль трассы происходит следующим образом (рис. 4).

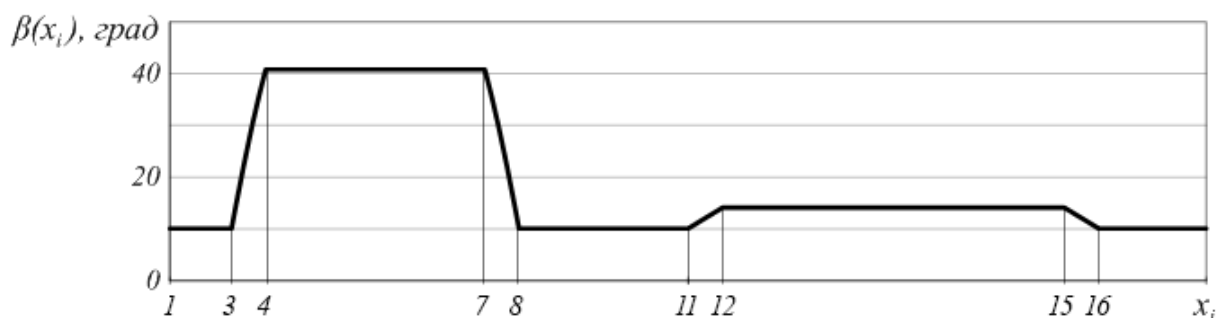


Рис. 4. График изменения угла наклона бортов ленты к горизонту от перемещения  $i$ -й подвески вдоль соответствующих участков трассы конвейера

Перемещаясь по наклонным и вертикальным поворотным участкам трассы конвейера, ведущая подвеска поворачивается вслед за направлением направляющей качения. Поэтому угол поворота ведущей подвески в вертикальной плоскости, определяется конфигурацией трассы и задается функцией от линейного перемещения подвески вдоль трассы  $\alpha(x_i)$ . Ниже на рис. 5 представлен график изменения угла поворота ведущей подвески в вертикальной плоскости  $\alpha(x_i)$  при движении ее вдоль трассы (рис. 1).

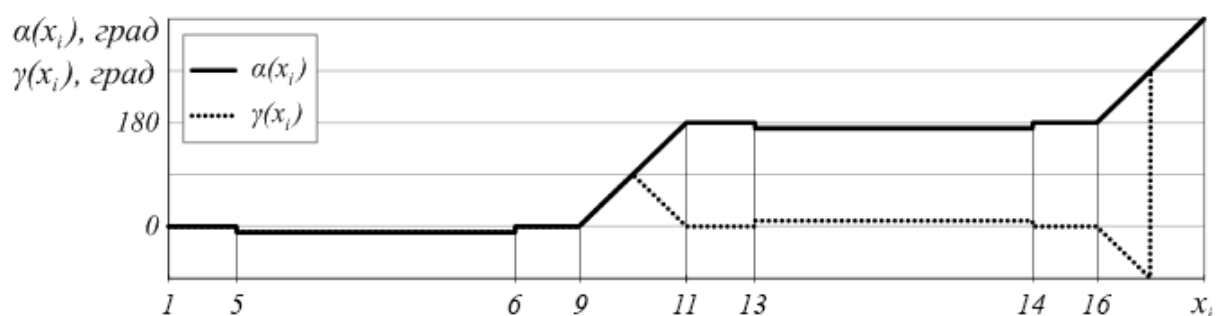


Рис. 5. Графики изменения углов поворота  $i$ -ых подвесок в вертикальной плоскости при движении вдоль соответствующих участков трассы конвейера:  
 $\alpha(x_i)$  –  $i$ -й ведущей подвески;  $\gamma(x_i)$  –  $i$ -й ведомой подвески

Перемещаясь по концевым поворотным участкам ведомые холостые подвески, переносят опору с ролика, движущегося по вертикальной направляющей качения снаружи контура трассы, на ролик, движущийся внутри. При этом привязанная к подвеске система координат меняет свое направление на противоположное (рис. 6). Поэтому угол поворота  $i$ -й ведомой подвески  $\gamma(x_i)$  задается условием:

$$\gamma(x_i) = \begin{cases} \alpha(x_i), & 0 \leq \alpha(x_i) \leq \frac{\pi}{2}; \\ \pi - \alpha(x_i), & \frac{\pi}{2} \leq \alpha(x_i) \leq \frac{3\pi}{2}; \\ \alpha(x_i), & \frac{3\pi}{2} \leq \alpha(x_i) \leq 2\pi. \end{cases}$$

Графическое изображение зависимости угла поворота  $i$ -й ведомой подвески от ее перемещения вдоль трассы  $\gamma(x_i)$  представлено на рис. 5.

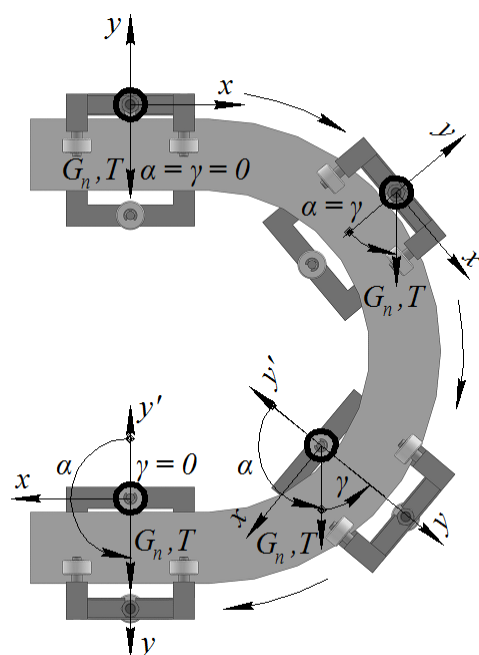


Рис. 6. Положения  $i$ -й ведомой подвески при движении по концевому поворотному участку трассы конвейера

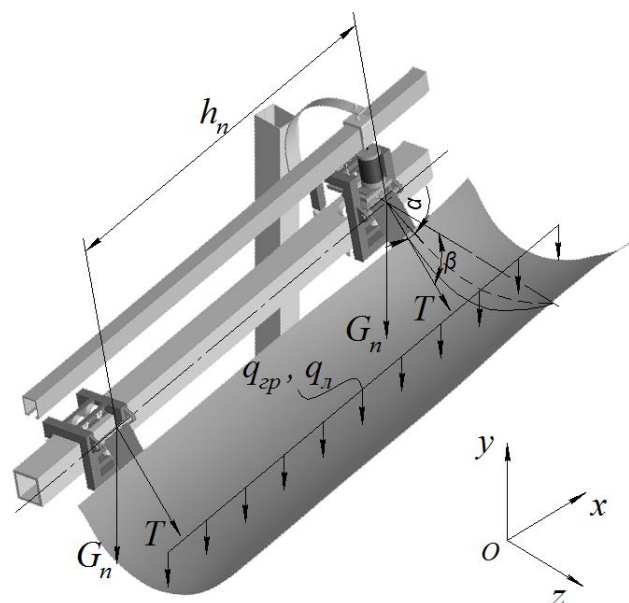


Рис. 7. Расчетная схема сил, действующих на подвески со стороны ленты

На подвески конвейера непосредственно действуют силы тяжести входящих в их состав узлов (рис. 7). Сила тяжести ведущей подвески, включающей несущую и прижимную секции, определяется как

$$G_n = G_{nc} + G_{nc} = (m_{nc} + m_{nc})g,$$

где  $G_{nc}$ ,  $G_{nc}$  – силы тяжести несущей и прижимной секций ведущей подвески;  $m_{nc}$ ,  $m_{nc}$  – массы несущей и прижимной секций ведущей подвески;  $g$  – ускорение свободного падения.

Сила тяжести ведомой подвески равна

$$G_n = m_n g,$$

где  $m_n$  – масса ведомой подвески.

Кроме сил тяжести к подвескам приложены сосредоточенные нагрузки от ленты и транспортируемого материала, передаваемые через узел крепления к ленте.

Усилие, передаваемое через узел крепления к ленте  $i$ -й подвески, определяется как

$$T(x_i) = \frac{(q_{zp}(x_i) + q_l)h_n}{2 \sin \beta(x_i)},$$

где  $q_{zp}(x_i)$ ,  $q_l$  – распределенные нагрузки от груза и ленты соответственно;  $h_n$  – расстояние между смежными подвесками на направляющем пути;  $x_i$  – перемещение  $i$ -й подвески вдоль трассы конвейера.

Распределенная нагрузка от груза вычисляется по формуле

$$q_{zp} = \frac{Q_p}{3,6v_n} g,$$

где  $Q_p$  – расчетная массовая производительность конвейера;  $v_n$  – номинальная скорость транспортирования груза;

Однако, учитывая, что материал транспортируется только грузовой ветвью, величина распределенной нагрузки на конечном разгрузочном участке конвейера убывает до нуля и остается неизменной на всем протяжении холостой ветви. Поэтому распределенная нагрузка от груза задается функцией линейного перемещения  $i$ -й подвески  $q_{zp}(x_i)$ .

Распределенная нагрузка от ленты постоянна и может быть определена как

$$q_l = 1,1(\delta_0 i_0 + \delta_1 + \delta_2) B g,$$

где  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – толщины прокладки и резиновых обкладок на верхней и нижней стороне конвейерной ленты;  $i_0$  – количество прокладок тягового каркаса.

Под действием приложенных к подвескам сил в местах контакта роликов с направляющей качения возникают нормальные реакции опорных поверхностей, которые оказывают сопротивление движению. В общем виде сила сопротивления движению  $j$ -го неприводного ролика  $i$ -й подвески по направляющей определяется следующим образом:

$$F_{conp_j}(x_i) = N_j(x_i) \frac{\mu_{np_o} r_{oij} + f_{np}}{r_{np ij}},$$

где  $N_j(x_i)$  – нормальная реакция опоры  $j$ -го неприводного ролика  $i$ -й подвески;  $r_{np ij}$ ,  $r_{oij}$  – наружный и внутренний радиусы  $j$ -го неприводного ролика  $i$ -й подвески;  $\mu_{np_o}$  – коэффициент трения скольжения в оси  $j$ -го неприводного ролика;  $f_{np}$  – коэффициент трения качения неприводного ролика.

Величина нормальной реакции опорной поверхности неприводного ролика определяется в зависимости от его конструктивного положения в подвеске и сочетания приложенных внешних сил.

К вертикальным неприводным роликам ведущей подвески приложено действующее в обратном направлении усилие со стороны прижимного устройства  $F_{np}$ , а также усилия со стороны ленты с грузом  $T(x_i)$  и тяжести несущей секции  $G_{nc}$ . Конструктивно предусмотренный зазор между направляющей качения и симметрично расположенными относительно нее неприводными роликами в сочетании с возможностью взаимного перемещения секций ведущей подвески, приводят к тому, что на различных участках конвейера с направляющей качения могут взаимодействовать как ролики, установленные снаружи контура трассы, так и ролики, установленные внутри (рис. 8). Если величина усилия, действующего со стороны прижимного устройства, не превышает суммы проекций сил от ленты, груза и тяжести несущей секции подвески:

$$[G_{nc} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) \geq F_{np},$$

то качение по направляющей осуществляют ролики, установленные с внешней стороны контура трассы (рис. 8, а), а нормальная реакция опорной поверхности неприводного ролика определяется по выражению



$$N_{вн}(x_i) = [G_{нс} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) - F_{np},$$

где  $F_{np}$  – сила прижатия приводного ролика к направляющей качения прижимным устройством.

Если же величина усилия, действующего со стороны прижимного устройства, больше суммы проекций сил от ленты, груза и тяжести несущей секции подвески:

$$[G_{нс} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) < F_{np},$$

то в таком случае с направляющей качения контактируют неприводные ролики, установленные с внутренней стороны контура трассы конвейера (рис. 8, б), а нормальная реакция опорной поверхности неприводного ролика ведущей подвески определяется как

$$N_{вн}(x_i) = -[G_{нс} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) + F_{np}.$$

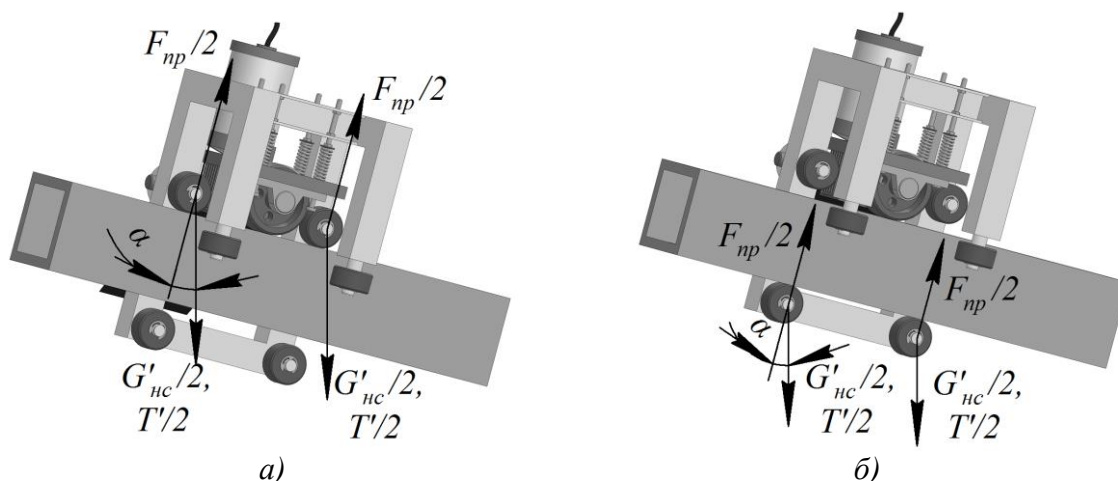


Рис. 8. Варианты расположения несущей секции приводной подвески относительно направляющей качения при движении по трассе конвейера: а – с направляющей качения взаимодействуют ролики, установленные снаружи контура трассы; б – с направляющей качения взаимодействуют ролики, установленные внутри контура трассы.

Нормальная реакция опорной поверхности вертикального несущего ролика  $i$ -й ведомой подвески определяется по зависимости

$$N_{вн}(x_i) = [G_n + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \gamma(x_i).$$

Нормальные реакции опорных поверхностей горизонтальных несущих роликов подвесок, расположенных снаружи направляющего пути:

$$N_z(x_i) = T(x_i) \cos \beta(x_i).$$

Рассмотренные особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, позволяют выполнять моделирование динамических характеристик таких конвейеров с вертикально-замкнутыми трассами неограниченной длины и произвольных конфигураций.

### Список литературы

1. Дьяченко, А.В. Выбор основных геометрических параметров участка формирования желоба трубчатого ленточного конвейера / А.В. Дьяченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007, № 10. - С. 229–231.
2. Лагерев, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал. – 2009, № 10. - С. 9–14.
3. Лагерев, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014, №3. - С. 44–52.

4. Лагерев, А.В. Исследование движения подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально-замкнутой трассой с помощью одномассовой динамической модели / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013, №4. – С. 33–40.

5. Лагерев, А.В. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом / А.В. Лагерев, Д.Ю. Кулешов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №2. – С. 50–56.

6. Толкачев, Е.Н. Обоснование рациональной схемы дискретного участка конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой [Электронный ресурс] / Е.Н. Толкачев // Будущее машиностроения России: электрон. сб. тр. VII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24 – 27 сент. 2014 г. – ФГУП НТЦ «Информрегистр» № 0321402784 – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

7. Лунев, Д.Е. Обоснование рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров конвейеров с подвесной лентой для предприятий горной промышленности: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2007. – 119 с.

8. Пат. 2424170 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В65G 15/08, В65G 15/60. Конвейер с подвесной лентой / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев, Д.Ю. Кулешов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет». – № 2009118980/11; заявл. 19.05.2009; опубл. 19.05.2009.

9. Пат. 153945 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В65G 15/60. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров, Д.Ю. Кулешов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2015102372/11; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.08.2015.

10. Лагерев, А.В. Патент RU № 153945 на полезную модель «Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой» / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров, Д.Ю. Кулешов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015, № 1. – С. 77-78. URL: <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2015/>.

11. Толкачев, Е.Н. Анализ динамики подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом [Электронный ресурс] / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015, № 1. – С. 55-64. URL: <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2015/>.

#### **Сведения об авторе**

Толкачев Евгений Николаевич – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru).

### **SPECIFICS OF DETERMINING THE FORCES ARE APPLIED TO THE SUSPENSIONS OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE, DEPENDING ON THEIR SPATIAL CONFIGURATION ON THE ROUTE**

E.N. Tolkachev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The basic version of the route, which includes the main areas of transportation of conveyor with suspended belt and distributed drive, was reviewed. Action of the suspension on respective areas, which occurs at moving of their, was analyzed. Relations necessary for determining the forces, which are affected on the suspensions, was represented.

**Key words:** conveyor belt, suspended belt, distributed drive, suspension.

### References

1. Dyachenko A.V. Selection of the basic geometrical parameters of section forming of chute a tubular conveyor belt, *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2007, No.10, pp. 229–231.
2. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport mashines, *Inzhenerniy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44 – 52.
4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. The study of the motion of suspensions of discrete section of a conveyor with suspended belt, distributed drive, and the vertically-closed track with the single-mass di-namic model, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 33–40.
5. Lagerev A.V., Kuleshov D.Yu. Dynamic processes of discrete section of a conveyor with suspended belt and distributed drive at transient state of work, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.2, pp. 50-56.
6. Tolkachev E.N. Justification of rational scheme discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive and vertical closed route. *Future Engineering of Russia. Proceedings of the 7 All-Russian Conference of young scientists and specialists. Moscow, MGTU im. N.E.Baumana, 24-27 Sept. 2014.* FSUE STC «Informregistr» № 0321402784 – 1 electronic. optical disk (CD-R).
7. Lunev D.E. Justification of rational design and operational parameters of conveyor with suspended belt for the mining industry. Cand. Diss. (Engineering). SPb, 2007. 119 p.
8. Patent RU 2424170. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Kuleshov D.Yu. Declared 19.05.2009. Published 19.05.2009.
9. Patent RU 153945. *Privodnaya podveska lentochnogo konveyera s podvesnoy lentoy* [Driving suspension of conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu. Declared 26.01.2015. Published 10.08.2015.
10. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu. Patent RU № 153945. Suspension drive belt conveyor with hanging ribbon, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 77-78.
11. Tolkachev E.N. Analysis of the dynamics of suspensions of discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 55-64. available at: <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2015/>.

### Author' information

Evgeniy N. Tolkachev - specialist at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru).

УДК 004.725.7

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

Ф.Ю.Лозбинеv, Е.В.Колесник, А.А.Гамов

Российская академия народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации, Брянский филиал

Рассмотрены организационные и информационно-технологические особенности объекта исследований. Выполнен анализ принципов построения, процесса создания и эволюции топологической схемы сети. Приведена характеристика используемых радиоэлектронных средств. На основе логико-вероятностного подхода разработаны алгоритмы расчета коэффициента готовности сети по отказам (сбоям). Выполнена расчетная оценка Южной, Северной и Западной магистралей сети при различных вариантах оборудования и топологических схем.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, радиоэлектронные средства, волоконно-оптическая линия связи, показатели надежности сети, коэффициент готовности оборудования.

Теоретические исследования российских ученых по проблеме создания беспроводных локальных сетей на основе стандартов IEEE 802.11 ранее выполнялись в Институте проблем передачи информации Российской академии наук (ИППИ РАН) под руководством профессора В.М.Вишнеvского. В работах [7-9] изложены принципы построения, логическая и физическая структура беспроводных сетей передачи данных городского и регионального масштабов, показаны особенности беспроводных сетей IEEE 802.11, описана архитектура и принципы организации WiMAX-сетей. Детально показаны технология радиодоступа IEEE 802.16, включая мобильные сети (IEEE 802.16e), и принципы технологии MIMO. Приведены примеры реализации региональных WiMAX-сетей, а также представлены теоретические основы передачи информации (теоремы Шеннона, Котельникова, Найквиста), методы кодирования и модуляции в беспроводных сетях.

Актуальным проблемам построения сетей связи, а также развитию моделей и методов их исследования и проектирования посвящены работы профессора А.Н.Назарова [3, 4]. В работе [3] на основе анализа архитектуры и телекоммуникационных технологий для сетей связи следующего поколения разработаны модели и методы векторной (многокритериальной) оптимизации построения, синтеза сетевых структур по критерию устойчивости, расчета показателей качества функционирования узлов коммутации на основе логико-вероятностного подхода, оптимизации пропускной способности каналов передачи.

Актуальность данной работы обусловлена следующими обстоятельствами. Брянская область является субъектом Российской Федерации, имеющим собственную региональную телекоммуникационную сеть органов власти, построенную на основе комбинированной технологии волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и радиоэлектронных средств (РЭС) наземного радиодоступа [5, 6]. Сеть была создана в 2009-2010 годах. Как каждый конкретный объект связи, сеть обладает своими уникальными особенностями. В процессе её опытной и промышленной эксплуатации был выявлен ряд проблем, требующих осмысленного решения с целью дальнейшего развития и улучшения эксплуатационных характеристик.

Эффективное использование сети органами государственного и муниципального управления на территории региона позволяет достичь существенной экономии финансовых ресурсов консолидированного бюджета в процессе реализации служебных полномочий органов власти всех уровней.

Исследованиям указанного объекта - мультисервисной корпоративной сети связи (МКСС) Правительства Брянской области - посвящен ряд опубликованных работ [5, 6, 10, 11], выполненных под руководством автора настоящей статьи, в которых показаны основные этапы создания сети: системный проект, её начальный кластер, принципы управления сетью и система видеоконференцсвязи. Представлены варианты топологической схемы сети на разных этапах её создания. Приведены характеристики работы сети в разных топологических схемах и показаны перспективы дальнейшего развития телекоммуникационной ин-

фраструктуры электронного правительства в регионе. Представлены этапы процесса присвоения радиочастот в Российской Федерации, требования к регистрации радиоэлектронных средств органах Роскомнадзора и перечень исходных данных. Приведена информация о разработанной комплексной автоматизированной системе мониторинга, учета и регистрации оборудования телекоммуникационной сети на территории субъекта Российской Федерации.

В 2007 году в процессе разработки целевой программы «Информатизация Брянской области (2007-2010 годы)» [12] рассматривались несколько вариантов технологических схем организации единой телекоммуникационной сети органов власти в регионе: на основе волоконно-оптических линий связи, систем спутниковой связи, мобильной сотовой связи и систем наземного радиодоступа. В результате анализа рассмотренных вариантов было принято решение о построении сети на основе систем наземного радиодоступа. Такой выбор был поддержан Координационным советом по информатизации при администрации Брянской области. В рамках создаваемой сети предполагалось решение следующих основных задач: видеоконференцсвязь (ВКС), электронный документооборот, корпоративная IP-телефония. Проект создания сети по технологии preWiMAX был ориентирован на использование отечественных радиомаршрутизаторов R2-AP1-F5060 и R2-AP1-F5060-T, разработанных в ИППИ РАН [8] и выпускаемых научно-производственным объединением «Рапира» (г. Москва). Обязательным условием эффективной работы выбранного оборудования является следующее: радиомаршрутизаторы участка сети (линка) должны находиться в зоне прямой видимости на расстоянии не более 40 км с жесткими требованиями к юстировке антенн. В таком случае достигается максимальная скорость передачи данных (54 Мбит/с). Предварительная проработка топологической схемы сети приведена на рис. 1а.

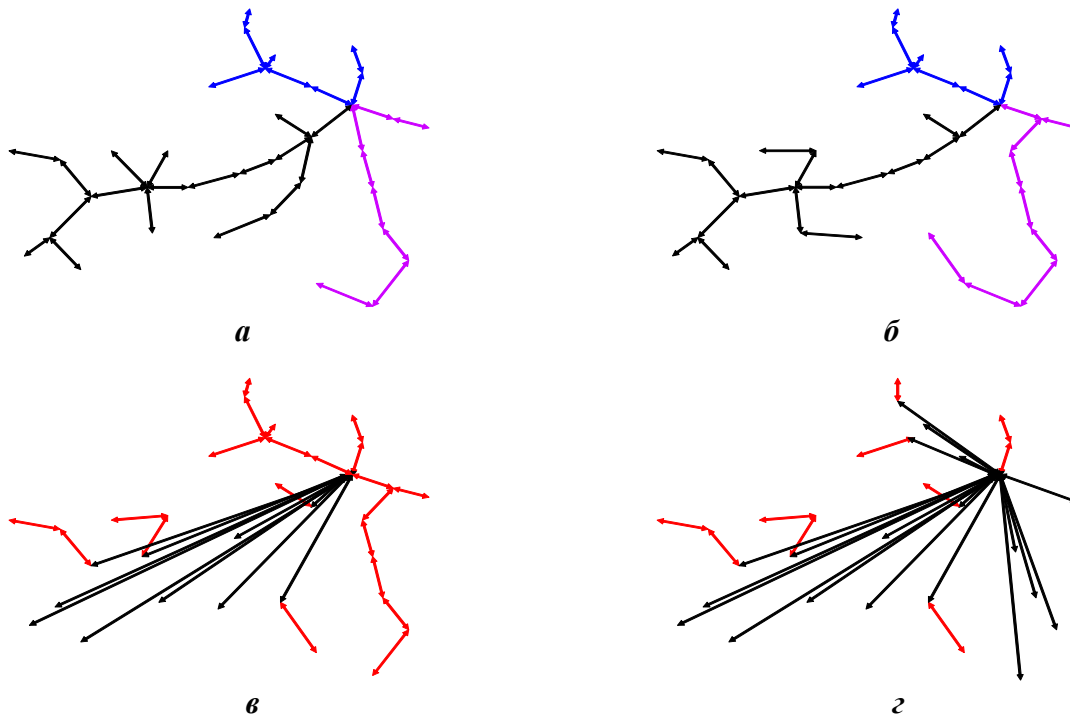


Рис. 1. Эволюция топологической схемы сети:  
а – предварительная; б – системный проект; в – 2012 год; г – 2014 год

В 2008 году был проведен открытый конкурс на разработку системного проекта сети, который выиграла московская компания «Интеллект Телеком». В системном проекте [2] были представлены прогнозные значения показателей надежности и показателей функционирования сети, подтверждающие выполнение требований [1] по организационно-техническому

обеспечению устойчивого функционирования. Проект прошел экспертизу в ИППИ РАН. Топологическая схема сети, предложенная в системном проекте, представлена на рис. 1б.

В декабре 2008 года был реализован пусковой комплекс сети на основе технологии preWiMAX в виде центрального узла связи в г. Брянске, двух районных узлов связи в п. Выгоничи, г. Жуковке и узла ретрансляции в г. Сельцо.

В основе работы preWiMAX-оборудования - стандарт IEEE 802.11. Этот класс оборудования имеет измененные внутренние радиопротоколы, добавленные сервисы, возможности приоритезации, различные частотные диапазоны.

В настоящее время preWiMAX-сети в России имеют широкое распространение. PreWiMAX - беспроводной стандарт, позволяющий передавать данные по радиоканалу с высокой скоростью и на большие расстояния.

В 2009 году был завершен монтаж оборудования Северной магистрали. В сеть были включены администрации Жуковского, Выгоничского, Дятьковского, Дубровского, Клетнянского, Рогнединского районов и г. Фокино. Монтаж Южной и Западной магистралей завершен в 2010 году в рамках топологической схемы, предложенной в системном проекте [2] (рис. 1б).

Одновременно с построением магистральных участков к сети были подключены студии видеоконференцсвязи в администрациях районов и городов области.

В 2011 году было получено разрешение на использование трёх номиналов радиочастот в диапазоне 5,6 ... 5,7 ГГц на территории Брянской области на период 10 лет, и началась опытная эксплуатация всей сети, построенной на основе радиомаршрутизаторов R2-AP1-F5060 и R2-AP1-F5060-T. Размеры сети, в сравнении с начальным кластером, существенно увеличились: фактически была создана уникальная в России preWiMAX-сеть органов власти с охватом достаточно большой территории и большим количеством базовых станций (74 на магистральных участках и 58 на участках «последней мили»).

В результате анализа полученных статистических данных о работе сети руководителем проекта со стороны разработчика проф. В.М.Вишневым было предложено заменить оборудование на ряде участков на более производительное, которое к тому времени уже стало выпускать НПО «Рапира»: радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D с канальной скоростью передачи данных 300 Мб/с. Замена оборудования была осуществлена, устойчивость работы сети улучшилась. Тогда было принято согласованное со всеми участниками проекта решение о переводе на радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D всех оставшихся участков Западной магистрали. К концу 2011 года необходимое оборудование было приобретено и установлено. Устойчивость работы сети заметно улучшилась.

В 2012 году Брянский филиал оператора мобильной связи «Мегафон» предоставил возможность перевести все участки Западной магистрали на ВОЛС. Такая задача была реализована. Топологическая схема сети существенно изменилась (рис. 1в). В это же время все участки Северной и Южной магистралей были переведены на 300-мегабитные радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D. Устойчивость работы сети существенно улучшилась. При этом участки т.н. «последней мили» продолжали функционировать на оборудовании R2-AP1-F5060-T [5]. Также в 2012 году в сеть были подключены службы социальной защиты населения во всех районных центрах для реализации процесса оказания государственных и муниципальных услуг в рамках электронного правительства.

Схема основных участков Западного направления с 2013 года стала представлять собой классический вариант топологии «звезда», что позволило обеспечить более надежную работу каналов связи.

В 2014 году осуществлен перевод на топологию типа «звезда» большинства опорных точек Южной и Северной магистралей (рис. 1г), что позволило значительно повысить отказоустойчивость и создать дополнительные условия для дальнейшего развития сети на территории региона.

При построении МКСС Правительства Брянской области использованы РЭС отечественного производства R2-AP1-F5060, R2-AP1-F5060-T и DreamStation 5n-24D (рис. 2), раз-

работанные в ИППИ РАН и серийно выпускаемые научно-производственным объединением «Рапира» (г. Москва).



Рис. 2. Радиоэлектронные средства, используемые в сети:  
*а* – R2-AP1-F5060; *б* – DreamStation 5n-24D

Радиомаршрутизатор R2-AP1-F5060 (рис. 2а) производства НПО «Рапира» (г. Москва) – всепогодная базовая станция беспроводной системы абонентского доступа с передачей сигнала на дистанции до 100 км. РЭС R2-AP1-F5060-Т – всепогодная клиентская станция беспроводной системы абонентского доступа с передачей сигнала на дистанции до 50 км, имеющая встроенную направленную антенну.

Краткая характеристика основных параметров используемых РЭС приведена в табл.1.

Таблица 1

Основные характеристики используемых радиомаршрутизаторов

Параметры РЭС	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D
Размеры, мм	200x165x55	370x370x40
Частоты, ГГц	5,0 ... 6,0	5,15 ... 5,825
Скорость передачи, Мб/с	54	300
Эффективная скорость, Мб/с	до 38	до 170
Расстояние, км	до 50	до 50

Корпус устройств, выполненный из алюминиевого сплава, в комплексе с металлическими кабельными вводами обеспечивает надёжную герметизацию всех электронных компонентов.

Встроенная грозозащита построена по трёхконтурному принципу:

1) первый контур отсекает высоковольтные и сильнотоочные импульсы - здесь используются мощные разрядники, имеющие большое время срабатывания и обеспечивающие стекание потенциала на массу устройства;

2) второй контур исключает прохождение высоковольтных импульсов малой мощности – контур выполнен на микросборке, отсекающей импульсы с крутыми фронтами;

3) третий контур – аварийный, срабатывает в случае, если импульс имеет очень высокую мощность, с которой не справились два первых контура; он отключает устройство от источника импульса.

Система термостабилизации обеспечивает функционирование устройств широкополосного беспроводного доступа в самом широком температурном диапазоне от -60 до 55°C, обеспечивая при необходимости холодный пуск устройств. Система холодного пуска функционирует следующим образом: контрольный модуль включает систему, которая обеспечивает про-

грев её элементов до необходимого уровня. После предварительного прогрева и достижения необходимой температуры воздуха внутри устройства, производится отключение нагревателя и подача напряжения на основные узлы радиомаршрутизатора. Если в процессе работы устройства происходит понижение температуры внутреннего объёма, термостабилизатор вновь включается в работу, обеспечивая постоянный температурный баланс. В этом случае устройство стабильно обеспечивается электропитанием вне зависимости от температуры.

При этом успешность холодного старта устройства отслеживается сторожевым таймером (watchdog-таймером), восстанавливающим работу системы: устройство будет временно отключено, если текущий режим не допускает корректной работы радиомаршрутизатора.

Удаленная аудио-визуальная юстировка устройств обеспечивается дополнительно встроенным мощным бипером и позволяет точно настраивать угол места и азимут устройства. Частота звучания бипера меняется прямо пропорционально уровню принимаемого сигнала.

На ряде участков исследуемой МКСС установлены радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D (рис. 2б) – первая полностью адаптированная к широкому спектру условий эксплуатации линейка продукции для создания базовых станций AirMAX и высокоскоростных магистральных каналов с пропускной способностью более 150 Мбит/с. DreamStation полностью совместим с оборудованием Ubiquiti серии AirMAX и может применяться на сетях операторов в качестве базовых станций фиксированного беспроводного доступа, а также при создании каналов «точка-точка».

DreamStation 5n-24D выполнен в металлическом литом корпусе, интегрированном с высококачественной панельной ММО антенной 24 дБ, а также с двухступенчатой грозозащитой по порту Ethernet и встроенным подогревом с термостатом.

Используемое в сети оборудование отечественного производства обладает следующими ключевыми функциональными возможностями:

1. Создание одно- и многосекторных точек доступа. Использование решений как с интегрированной, так и с внешними антеннами позволяют гибко настраивать инфраструктуру сети, при необходимости устанавливая внешние антенны с различными диаграммами направленности для решения специфических задач.

2. Герметичные алюминиевые корпуса устройств и надежная грозозащита снижают риски, связанные с погодными условиями и повышают «живучесть» сети.

3. Механизмы приоритизации и контроля качества обслуживания дают возможность предоставить надежные каналы для разнородных трафиков.

4. Временное разделение полосы между клиентами позволяет гарантировать качественное обслуживание каждого из них.

5. Система мониторинга решает вопросы управления надежностью сети.

Функционал базовых станций и клиентского оборудования включает в себя все необходимые инструменты для обеспечения быстрой настройки и продолжительной эксплуатации сети без сбоев.

Созданная на территории Брянской области телекоммуникационная сеть с использованием беспроводных технологий, РЭС и ВОЛС может рассматриваться как целостная применительно к установлению соединения и предоставлению пользователям услуг передачи данных, а также услуг мультимедиа.

Отсюда целостность сети в отношении ее способности предоставления той или иной услуги определяется возможностью в любой момент времени предоставить сквозной канал связи (виртуальный или физический) от вызывающего абонента к вызываемому, который будет соответствовать по своим характеристикам запрашиваемой услуге [2].

Основными требованиями по обеспечению целостности сети связи являются её соответствие техническим нормам по показателям функционирования, функциональная и физическая совместимость средств связи, единство измерений в сети связи [1].

Основными требованиями к обеспечению устойчивости являются следующие [1]:

- выполнение требований к построению сетей при их проектировании;
- выполнение мероприятий гражданской обороны;



- разработка мер по обеспечению показателей надежности;
- соблюдение условий эксплуатации, установленных правилами применения соответствующих средств связи и документацией производителя;
- выполнение требований к эксплуатации в части технического обслуживания средств и линий связи;
- выполнение требований к управлению сетями связи в части контроля показателей нагрузки и анализа технических неисправностей для определения показателей надежности в процессе ее эксплуатации (эксплуатационные показатели надежности).

Из перечисленного следует, что к основным системам обеспечения функционирования сети связи для поддержания ее целостности и устойчивости относятся система управления и система восстановления.

Система управления предназначается для обеспечения работы сети связи с заданным качеством обслуживания пропускаемого трафика путем оптимального использования имеющихся ресурсов, а система восстановления — для оперативного создания работоспособных в экстремальных условиях эквивалентов, временно заменяющих неработающие стационарные средства связи, и последующего их восстановления.

Для проведения обобщенных оценок надежности оборудования связи в комплексе и для оценок надежности направлений (соединений) сети связи применяется коэффициент готовности  $K_2$ , определяемый показателями  $T_o$  и  $T_в$  по формуле [3]:

$$K_2 = T_o / (T_o + T_в), \quad (1)$$

где  $T_o$  – время наработки на отказ объекта связи (наработка от начала эксплуатации до возникновения отказа);  $T_в$  – время восстановления объекта связи (продолжительность восстановления до работоспособного состояния).

Коэффициент готовности определяет вероятность того, что объект связи окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых его применение по назначению не предусматривается. Такое определение коэффициента готовности позволяет применить этот показатель, как для отдельных элементов оборудования связи, так и для оценки комплекса оборудования линий связи [3].

В качестве показателя живучести канала связи применяется коэффициент оперативной готовности, определяемый по формуле [3]:

$$K = P(T)K_2, \quad (2)$$

где  $P(T)$  – вероятность сохранения работоспособности канала связи при внешнем воздействии;  $K_2$  - коэффициент готовности.

Последствия воздействия внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи [3] характеризуется низким, средним и высоким уровнем ущерба, наносимым сети внешним воздействием. Низкий уровень ущерба при воздействии внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи характеризуется выходом из строя 10% элементов сети, средний – 30% и высокий уровень ущерба – 50% элементов сети.

Для расчета коэффициента готовности объектов сети разработан следующий алгоритм.

1. Составляется топологическая схема рассматриваемой магистрали сети (в данном случае - Южной магистрали). Осуществляется нумерация всех объектов топологической схемы (рис. 3), построенной на средствах радиодоступа: радиомаршрутизаторов и сетевых коммутаторов.

В рассматриваемой схеме присутствуют 40 объектов - 26 радиомаршрутизаторов: 16 магистральных (номера 1, ..., 16) и 10 последней мили (17, ..., 26), а также 14 коммутаторов: 8 на базовых станциях (b, ..., q) и 6 в оконечных точках магистрали (a, r, ..., y).

2. Для каждого радиомаршрутизатора (объекта магистрали) задается значение  $T_в$  - среднее время восстановления объекта после сбоя в зависимости от расстояния от места расположения оператора связи в г. Брянске до объекта. Принимается, что резервные каналы связи отсутствуют, и для восстановления объекта необходимо добраться до него непосредственно.

ственно. Приближенные данные по результатам технического обслуживания исследуемой МКСС в 2010-2014 годах представлены в табл. 2.

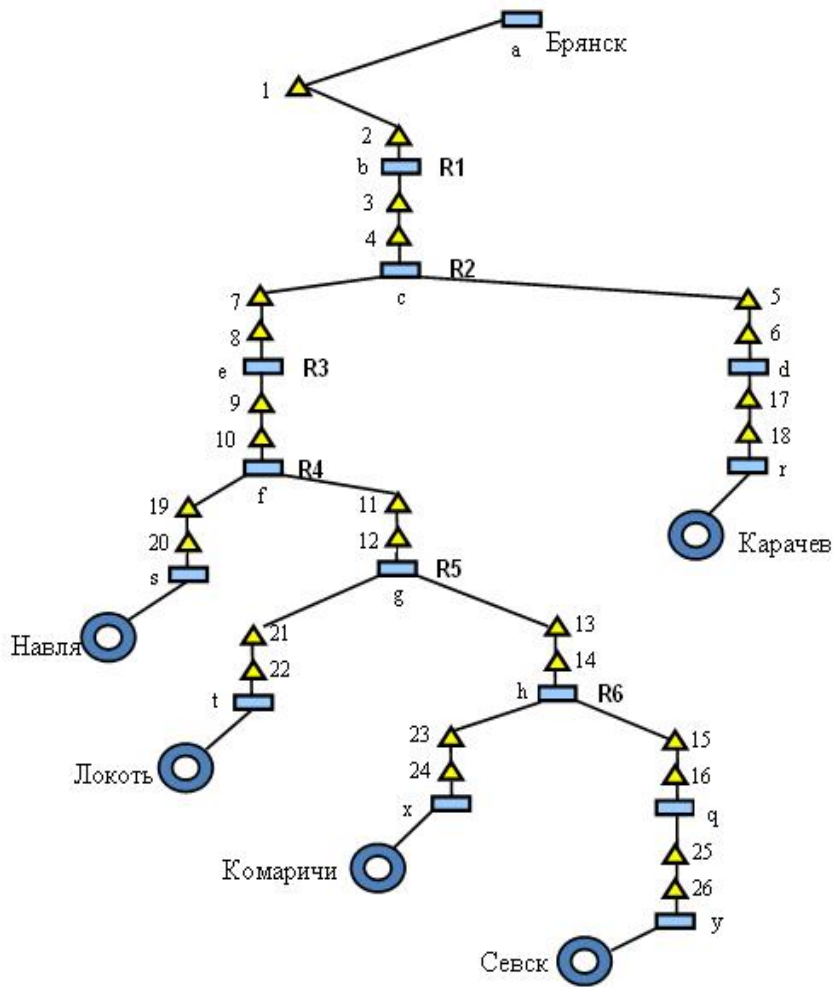


Рис. 3. Топология Южной магистрали корпоративной сети:  
R1 ... R6 - узлы ретрансляции

Таблица 2

Среднее время восстановления объекта

Расстояние $L$ от оператора связи до объекта, км	Среднее время восстановления объекта $T_v$ , час.
до 10	2
11 ... 30	3
31 ... 60	4
61 ... 90	5
91 ... 120	6
121 ... 150	7
151 ... 180	8
181 ... 210	9
211 ... 230	10
231 ... 260	12

3. Для каждого радиомаршрутизатора задаётся значение  $l$  - протяжённость участка трассы (линка) до объекта (в км).

4. Для каждого радиомаршрутизатора задаётся величина  $L$  - расстояние от места расположения оператора связи в г. Брянске до объекта (в км).

5. Для каждого радиомаршрутизатора (как объекта сети доступа) вычисляется величина среднего времени между отказами объекта  $T_o$  (в часах) [3]

$$T_o = T_{o \text{ д}200}(200/l), \quad (3)$$

где  $T_{o \text{ д}200}$  – показатель надёжности системы тактовой сетевой синхронизации [3] местной первичной сети (сети доступа);  $l$  - протяжённость участка трассы (линка) до объекта.

6. Для каждого радиомаршрутизатора (объекта магистрали) по формуле (1) вычисляется значение коэффициента готовности  $K_z$ .

7. Для каждого оконечного пункта магистрали (Карачев, Навля, Локоть, Комаричи, Севск) по схеме на рис. 3 определяется величина  $n_k$  - количество коммутаторов до оконечной точки.

8. Для каждого оконечного пункта магистрали по схеме на рис. 3 определяется величина  $n_{pэс}$  - количество РЭС до каждой оконечной точки.

9. Для каждого оконечного пункта магистрали осуществляется расчет коэффициента готовности  $K_z$

$$K_{z \text{ om}} = K_{зк}^{n_k} \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi}, \quad (4)$$

где  $K_{зк}$  – коэффициент готовности системы коммутации (принимается равным 0,99999 [2]);  $n_k$  - количество коммутаторов до оконечной точки;  $n_{pэс}$  - количество радиомаршрутизаторов до оконечной точки);  $K_{zi}$  - коэффициент готовности  $i$ -го РЭС.

10. Для каждого варианта построения сети вычисляется величина условного коэффициента готовности  $K_{zv}$  для магистрали

$$K_{zv} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{j=m} K_{zj}, \quad (5)$$

где  $m$  - количество абонентов (оконечных точек);  $K_{zj}$  - коэффициент готовности  $j$ -го абонента (оконечной точки).

11. Рассматривается вариант построения участка сети от центрального узла до оконечной точки с использованием ВОЛС (рис. 4).

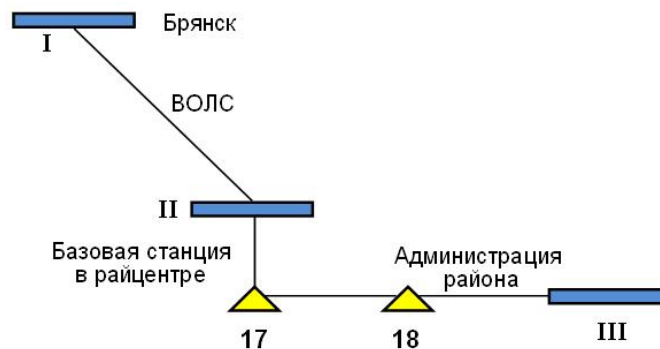


Рис. 4. Фрагмент топологии сети до оконечной точки с использованием ВОЛС

В таком варианте для каждой оконечной точки ( $n_k=3$ ) принимаются следующие исходные данные: коэффициент готовности системы коммутации  $K_{зк} = 0,99999$  [2]; коэффициент готовности транспортной сети  $K_{z \text{ mc}} = 0,99995$  [2].

12. Для каждого оконечного пункта магистрали определяются номера радиомаршрутизаторов последней мили и их коэффициенты готовности.

13. Для каждого оконечного пункта магистрали вычисляются коэффициенты готовности  $K_z$

$$K_{z\text{om}} = K_{z\text{ck}}^3 K_{z\text{mc}} \prod_{i=1}^{i=2} K_{zi}, \quad (6)$$

где  $K_{z\text{ck}}$  – коэффициент готовности системы коммутации;  $K_{z\text{mc}}$  – коэффициент готовности транспортной сети;  $K_{zi}$  – коэффициент готовности  $i$ -го РЭС последней мили.

14. По формуле (5) вычисляется величина условного коэффициента готовности магистрали при использовании ВОЛС.

С использованием разработанного алгоритма выполнена расчетная оценка Южной магистрали при различных вариантах оборудования и топологической схемы [5, 6]. В процессе выполнения расчетов приняты следующие допущения.

1. Показатель надёжности системы тактовой сетевой синхронизации местной первичной сети ( $T_{o\ 200}$ ) для РЭС типа R2-AP1-F5060 принят в соответствии с [3] равным 400 часов; для РЭС типа DreamStation 5n-24D по результатам опытной эксплуатации в 2011-2014 годах принят равным 800 часов.

2. Расстояние последней мили для всех районных центров принято равным 2 км.

3. Коэффициенты готовности системы коммутации  $K_{z\text{ck}}$  приняты одинаковыми для всех коммутаторов: 0,99999 [2].

4. Коэффициенты готовности участков транспортной сети на основе использования ВОЛС  $K_{z\text{mc}}$  приняты одинаковыми для всех участков: 0,99995 [2].

Результаты расчетов Южной магистрали сети представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета коэффициентов готовности конечных точек Южной магистрали

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек $K_z$			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
1. Карачев	0,99436	0,99652	0,99717	0,99972
2. Навля	0,99104	0,99472	0,99552	0,99968
3. Локоть	0,98700	0,99242	0,99351	0,99962
4. Комаричи	0,98400	0,99116	0,99200	0,99956
5. Севск	0,97882	0,98799	0,98938	0,99952
Магистраль	0,98704	0,99256	0,99352	0,99962

Примечания: 1) \* - на последней миле используются только R2-AP1-F5060;

2) \*\* - на последней миле используются только DreamStation 5n-24D.

Также выполнены расчеты Северной и Западной магистралей, которые в сочетании с ВОЛС имеют и участки (радиолинки), построенные на основе использования средств наземного беспроводного радиодоступа (Летошники-Клетня, Дубровка-Рогнедино, Выгоничи-Жирятино, Трубчевск-Суземка, Унеча-Мглин-Сураж, Клинцы-Рогнедино-Красная Гора).

Вариант топологической схемы Северной магистрали сети, реализованной только на РЭС (радиомаршрутизаторах и сетевых коммутаторах), представлен на рис. 5.

В рассматриваемой схеме присутствуют 35 объектов: 22 радиомаршрутизатора – 12 магистральных (номера 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 19, 20) и 10 последней мили (3, 4, 7, 8, 13, 14, 17, 18, 21, 22), а также 13 коммутаторов – 7 на базовых станциях (b, c, e, g, m, h, x) и 6 в конечных точках магистрали (a, d, f, l, n, y).

Формула (4) для расчета коэффициента готовности  $K_z$  принята в предположении, что все коммутаторы одинаковы и имеют одинаковый коэффициент готовности. Однако в сети могут быть использованы коммутаторы различного типа с различными значениями коэффициента готовности. В этом случае формула (4) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{z\text{om}} = \prod_{i=1}^{i=n_{\text{к}}} K_{zki} \prod_{i=1}^{i=n_{\text{рэс}}} K_{zi}. \quad (7)$$

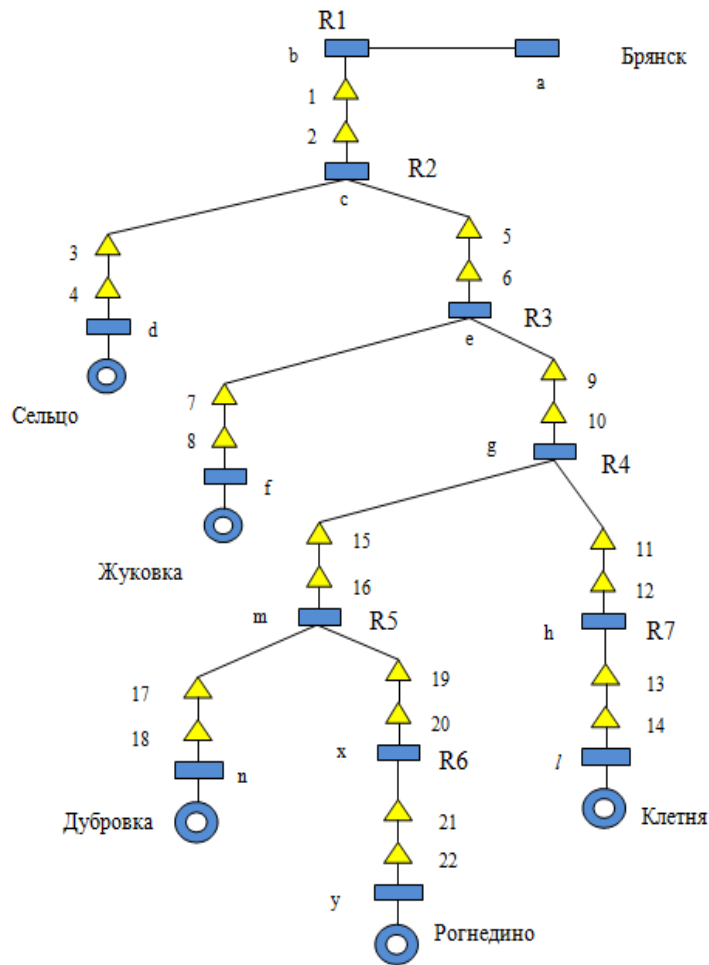


Рис. 5. Топология Северной магистрали корпоративной сети:  
R1 ... R7 - узлы ретрансляции

На участках Южной магистрали сети после ВОЛС присутствует только «последняя миля» на РЭС, и для расчёта коэффициента готовности  $K_{zom}$  предложена формула (6).

В Северной и Западной магистралях сети в топологической схеме присутствуют «радиолинки» на РЭС помимо «последней мили» (рис. 6), и могут быть использованы коммутаторы различного типа с различными значениями коэффициента готовности, формула (6) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{zom} = \left( \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \right) K_{zmc} \left( \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi} \right). \quad (8)$$

Результаты расчетов коэффициентов готовности Северной и Западной магистралей сети представлены в табл. 4-5.

В топологической схеме Западной магистрали присутствуют 104 объекта: 68 радиомаршрутизаторов – 36 магистральных и 32 последней мили, а также 36 коммутаторов – 19 на базовых станциях и 17 в оконечных точках магистрали.

Сводные результаты расчетов коэффициентов готовности по всем магистралям сети при различных вариантах технологической схемы и используемого оборудования представлены в табл. 6.

Процесс расчётной оценки коэффициентов готовности по изложенной методике автоматизирован в рамках возможностей табличного процессора Excel.

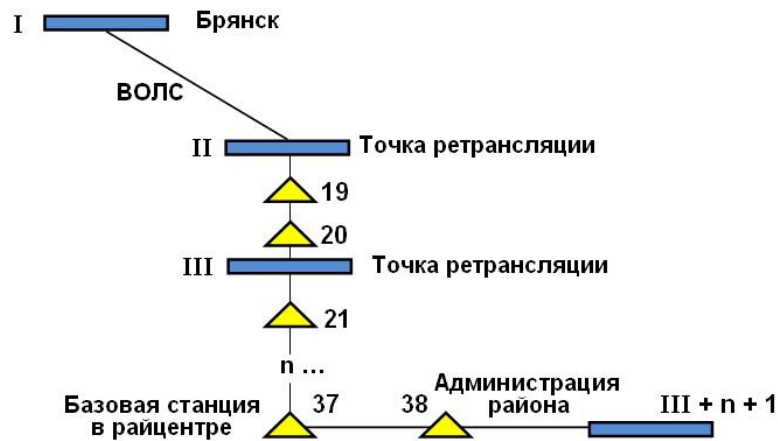


Рис. 6. Фрагмент топологии сети до конечной точки с использованием ВОЛС и радиолинков на магистральных участках

Таблица 4

Результаты расчета коэффициентов готовности конечных точек Северной магистрали

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек $K_2$			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
1. Сельцо	0,99839	0,99880	0,99917	0,99977
2. Жуковка	0,99534	0,99683	0,99764	0,99967
3. Клетня	0,98942	0,99342	0,99466	0,99270
4. Дубровка	0,99115	0,99472	0,99553	0,99967
5. Рогнедино	0,98963	0,99431	0,99476	0,99751
Магистраль	0,99279	0,99562	0,99635	0,99786

Примечания: 1) \* - на последней миле используются только R2-AP1-F5060;  
2) \*\* - на последней миле используются только DreamStation 5n-24D.

Таблица 5

Результаты расчета коэффициентов готовности конечных точек Западной магистрали

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек $K_2$			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
1. Выгоничи	0,99791	0,99844	0,99894	0,99972
2. Жирятино	0,99521	0,99686	0,99758	0,99577
3. Почеп	0,99324	0,99386	0,99658	0,99967
4. Унеча	0,98482	0,99139	0,99234	0,99957
5. Стародуб	0,97891	0,98777	0,98935	0,99952
6. Погар	0,97121	0,98340	0,98544	0,99947
7. Трубчевск	0,96321	0,97923	0,98137	0,99942
8. Суземка	0,95312	0,97351	0,97620	0,98403
9. Мглин	0,97774	0,98688	0,98876	0,98899
10. Сураж	0,97223	0,98446	0,98596	0,98342
11. Клинцы	0,97891	0,98777	0,98935	0,99952
12. Гордеевка	0,97295	0,98472	0,98633	0,99063
13. Кр. Гора	0,96771	0,98222	0,98366	0,98529

Окончание табл. 5

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек $K_z$			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
14. Новозыбков	0,97186	0,98389	0,98566	0,99947
15. Злынка	0,96699	0,98194	0,98329	0,99942
16. Климово	0,96602	0,98121	0,98280	0,99942
Магистраль	0,97575	0,98610	0,98772	0,99521

Таблица 6

Результаты расчетов коэффициентов готовности магистралей МКСС

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей, $K_{zy}$				
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*	ВОЛС**
Южная	0,98707	0,99252	0,99347	0,99962	0,99977
Северная	0,99279	0,99562	0,99635	0,99786	0,99889
Западная	0,97575	0,98610	0,98772	0,99521	0,99755

Примечания: 1) \* - на последней миле используются только R2-AP1-F5060;

2) \*\* - на последней миле используются только DreamStation 5n-24D.

Таким образом, в результате выполненного исследования впервые применительно к изучаемому конкретному объекту - мультисервисной корпоративной сети органов власти Брянской области - разработаны элементы методики проектирования структуры сетей связи следующего поколения на основе логико-вероятностного подхода к оценке надежности функционирования оборудования.

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Разработанные на основе логико-вероятностного подхода алгоритмы позволяют выполнять оценку коэффициентов готовности – как отдельного телекоммуникационного оборудования, так и в комплексе – для магистральных линий связи корпоративной сети органов власти Брянской области.

2. Процесс расчета коэффициента готовности для всех объектов сети является существенно трудоёмким, поэтому для дальнейшей работы его необходимо автоматизировать с учетом возможности решения перечисленных ниже перспективных задач.

3. В дальнейших исследованиях рассматриваемой МКСС представляется целесообразным решить следующие задачи:

- при расчёте среднего времени между отказами объекта  $T_o$  получить реальные статистические данные по отказам оборудования;

- оценить влияние на коэффициент готовности конечных точек  $K_{z\ om}$  уменьшения среднего времени восстановления объектов  $T_v$  на магистрали и в конечных точках с целью определения вариантов резервирования каналов связи и организации технического обслуживания сети;

- определить минимально допустимые значения среднего времени между отказами каждого объекта  $T_o$  для обеспечения нормативных значений коэффициента готовности в конечных точках  $K_{z\ om}$ ;

- оценить влияние на показатели целостности и устойчивости сети дестабилизирующих факторов;

- определить максимально допустимую монтированную ёмкость сети в районных центрах и точках ретрансляции;

- разработать обобщённую математическую модель для оценки показателей целостности и устойчивости сети;

- разработать предложения по совершенствованию объекта исследований и выполнить экономическую оценку предложенных мероприятий.

4. Сочетание ВОЛС на магистральных точках и РЭС (R2-AP1-F5060 и DreamStation 5n-24D) на последней миле позволяет обеспечить нормативные значения коэффициента готовности, в том числе на Южной магистрали - и для сетей следующего поколения [3].

В 2012-2015 годах на базе сети было проведено около 400 региональных совещаний в режиме видеоконференцсвязи, что позволило сэкономить рабочее время руководителей и специалистов, а также бюджетные средства на командировочные расходы, бензин, амортизацию транспортных средств и т.д.

Одновременно создана технологическая и программная основа для обеспечения органам местного самоуправления возможности связи с исполнительными органами государственной власти Брянской области в рамках единой телекоммуникационной сети посредством IP-телефонии, что позволит в дальнейшем существенно снизить расходы на междугородные звонки и сэкономить средства консолидированного бюджета региона.

На данный момент система корпоративной IP-телефонии в органах государственной власти и местного самоуправления Брянской области внедрена в городах Брянск и Стародуб. К системе подключены Правительство Брянской области и все региональные департаменты и управления. Включение в систему IP-телефонии администраций других муниципальных районов (помимо Стародубского) и городских округов, подключенных к МКСС, позволит абонентам совершать бесплатные звонки внутри сети, а также сократить расходы на дальнюю связь. Расчетная стоимость внедрения системы в администрации всех муниципальных районов – около 4,2 млн. рублей. При этом сумма годовой экономии консолидированного бюджета Брянской области составит около 3 млн. рублей. Срок окупаемости затрат на внедрение системы IP-телефонии на территории Брянской области - около 15 месяцев.

#### **Список литературы**

1. Требования к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования. Утверждены приказом Мининформсвязи РФ от 27.09.2007 г. № 113.

2. Системный проект на создание мультисервисной корпоративной сети на территории Брянской области. - М.: ОАО «Интеллект Телеком», 2008. - 117 с.

3. Назаров, А.Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А.Н.Назаров, К.И.Сычев. - Красноярск, Изд-во ООО «Поликом», 2010. -389 с.

4. Назаров, А.Н. Модели и методы структурно-сетевых параметров АТМ сетей / А.Н. Назаров. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 256 с.

5. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие телекоммуникационной основы формирования электронного правительства в Брянской области / Ф.Ю. Лозбинец // Вестник БГТУ. – 2012. – №3. – С.90-93.

6. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие топологии телекоммуникационной сети органов власти в Брянской области / Ф.Ю. Лозбинец // Сб. тр. Международной научно-практ. конф. «Инновации в профессиональном образовании и научных исследованиях вуза». Секция 1. – Брянск: БГТУ, 2014. - С.9-13.

7. Вишневский, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

8. Вишневский, В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М.Вишневский, С.Л.Портной, И.В.Шахнович. - М.: Техносфера, 2010. - 472 с.

9. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. - М.: Техносфера, 2003. - 512 с.



10. Лозбинец, Ф.Ю. Методика оценки готовности телекоммуникационных сетей органов власти на примере территории Брянской области / Ф.Ю.Лозбинец, А.П.Кобышев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. - №2. – С. 110-115.

11. Телепнёва, Т.Е. Разработка комплексной системы мониторинга, учёта и регистрации радиоэлектронных средств в наземных телекоммуникационных сетях. / Т.Е. Телепнёва, Ф.Ю. Лозбинец // Сб. тр. Международной научно-практ. конф. «Инновации в профессиональном образовании и научных исследованиях вуза». – Брянск: БГТУ, 2014. - С. 24-27.

12. Областная целевая программа «Информатизация Брянской области на 2007-2010 годы». Утв. постановлением администрации Брянской области от 27.08.2007 г., № 583.

### **Сведения об авторах**

Лозбинец Фёдор Юрьевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математики и информационных технологий, Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», *flozbinev@yandex.ru*.

Колесник Елена Владимировна - магистрант направления подготовки «Прикладная информатика», Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», *elen\_100@mail.ru*.

Гамов Александр Анатольевич - магистрант направления подготовки «Государственное и муниципальное управление», Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», *gaa@br.ranepa.ru*.

## **IMPROVEMENT OF THE METHODS OF THE ESTIMATION OF RELIABILITY OF MULTIFUNCTION CORPORATIVE TELECOMMUNICATIONS ON BASE OF LOGICIAN-PROBABILISTIC APPROACH**

F.Yu. Lozbinev, E.V. Kolesnik, A.A. Gamov

The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial

The organizing and information-technological particularities of the object of the research are considered. The analysis of principles of building, process of the creation and evolutions of the topological scheme of network is executed. The feature of used radio of the electronic facilities is brought. On base of logician-probabilistic approach the algorithms of the calculation of the factor of readiness of the equipment of network on refusal (malfunction) is designed. Estimation of South, North and West pathways with different variants of the equipment and topological schemes is executed.

**Key words:** *telecommunication network, radio electronic facilities, fiber-optic communication links, factors of reliability of network, the factors of readiness of the equipment.*

### **References**

1. The Requirements of organizing-technical of the firm operation of telecommunications of the general use. The Approved order Mininformsvyazi RF from 27.09.2007. № 113.
2. *System project on creation of multi-services corporative network on territory of Bryansk region.* Moscow, OAO "Intellect Telekom", 2008. - 117 p.
3. Nazarov A.N., Sychev K.I. *Models and methods of the calculation of the factors quality operating the node equipment and structured-network parameter telecommunications following generation.* Krasnoyarsk, publishers OOO "Polikom", 2010. - 389 p.

4. Nazarov A.N. *Models and methods of structured-network parameter of ATM networks*. Moscow, Hot line-Telekom, 2002. - 256 p.
5. Lozbinev F.Yu. Development of the telecommunication base of the shaping electronic government in Bryansk region, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No.3, pp. 90-93.
6. Lozbinev F.Y. The Development of topologies of telecommunication network of organs of government in Bryansk region. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy Konferentsii «New visions on vocational trainings and scientific of study and of the high school»*. Bryansk, BGTU, 2014, pp. 9-13.
7. Vishnevskiy V.M., Lyakhov A.I., Portnoy S.L., Shahnovich I.V. *Broadband without wires of network of the issue of information*. Moscow, Tehnosfera, 2005. 592 p.
8. Vishnevskiy V.M., Portnoy S.L., Shahnovich I.V. *The Encyclopedia WiMAX. The Way to 4G*. Moscow, Tehnosfera, 2010. - 472 p.
9. Vishnevskiy V.M. *Theoretical bases of the designing of the computer networks*. Moscow, Tehnosfera, 2003. - 512 p.
10. Lozbinev F.Yu., Kobyshev A.P. Methods of the estimation of readiness of the telecommunication networks of organs of administration on example of the territory of Bryansk region, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 110-115.
11. Telepneva T.E, Lozbinev F.Yu. Development of the complex system of the monitoring, account and registrations of radio electronic facilities in overland telecommunications. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy Konferentsii «New visions on vocational trainings and scientific of study and of the high school»*. Bryansk, BGTU, 2014, pp. 24-27.
12. *Regional target program «Informatization of Bryansk region on 2007-2010»*. The Approved of resolution of administrations Bryansk region 27.08.2007, № 583.

#### **Authors' information**

Fedor Yu. Lozbinev - Doctor of the Technical Sciences, Professor, Head of chair of mathematics and information technology at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *flozbinev@yandex.ru*.

Elena V. Kolesnik - Master of directions of preparation «Applied informatics» at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *elen\_100@mail.ru*.

Alexander A. Gamov - Master of directions of preparation «State and municipal management» at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *gaa@br.ranepa.ru*.

УДК 331.45

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ САМОХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Т.И. Белова<sup>1</sup>, С.С. Сухов<sup>2</sup>, С.В. Кончиц<sup>1</sup>

<sup>1</sup> - Брянский государственный аграрный университет

<sup>2</sup> - Брянский государственный университет им. акад. И.Г.Петровского

Предложена модель обеспечения безопасности системы самоходных транспортных машин, позволяющая учесть переменные случайные факторы, влияющие на вероятность столкновения машин за счет снижения уровней опасных и вредных производственных факторов и травмирования операторов, представленная в виде двухблочной вероятностной модели.

**Ключевые слова:** *безопасность, модель, оператор, самоходные транспортные машины, травмирование.*

В настоящее время проблема повышения безопасности труда операторов самоходных транспортных машин (СТМ) является актуальной по причине чрезвычайно высокого уровня производственного травматизма. Анализ производственного травматизма и результаты поисковых исследований выявили, что указанные машины являются источниками повышенной опасности при выполнении транспортных работ в отраслях экономики и на дорогах общей сети.

При использовании самоходных машин для выполнения транспортных работ можно выделить следующие причины травмирования операторов:

- превышение скорости движения ведомых транспортных машин из-за отсутствия визуальной информации о скорости движения ведущих машин, что может привести к их столкновению и травмированию операторов;
- превышение скорости движения ведомых транспортных машин из-за невозможности выбора оптимального скоростного режима с целью предотвращения их столкновения;
- временная ограниченность при совместном движении ведущих и ведомых транспортных машин, что требует большой квалификации оператора с целью предотвращения их столкновения;
- торможение ведущей транспортной машины тормозом или двигателем с отсутствием срабатывания стоп-сигнала и момента торможения, что повышает риск их столкновения;
- износ тормозной системы транспортных машин из-за отсутствия визуальной информации о значении его тормозного пути, как параметра эффективности тормозной системы [1].

Как показали исследования условий и безопасности операторов при эксплуатации системы СТМ, наиболее часто водители травмируются при столкновении транспортных средств, движущихся в попутном направлении. В реальных дорожных условиях, при плотном движении с высокой скоростью в одном ряду машин с различной длиной тормозного пути, опасность может появиться внезапно и информацию об опасности может иметь водитель ведущей машины, а водитель ведомой машины должен ориентироваться по ее средствам сигнализации. В случае если опасность неожиданно появилась перед второй машиной, то она уже будет ведущей машиной, а водителю третьей машины придется быть на месте водителя второй и т.д. В этой связи безопасность операторов при эксплуатации системы СТМ необходимо рассматривать в зависимости от количества используемых самоходных машин и опасных ситуаций, связанных с внезапным торможением самоходных машин.

С учетом указанного, в целях реализации принципов охраны труда и задач исследования, модель обеспечения безопасности системы СТМ может быть представлена в виде двухблочной вероятностной модели (рис. 1) [2].

Основными возмущающими воздействиями блока 1 являются процессы изменения скоростей движения  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$ , ...,  $V_n(t)$ ,  $V_{(n+1)}(t)$  ведущих и ведомых СТМ, выходными воздействиями – процессы изменения вероятностей столкновения ведомых СТМ с ведущими

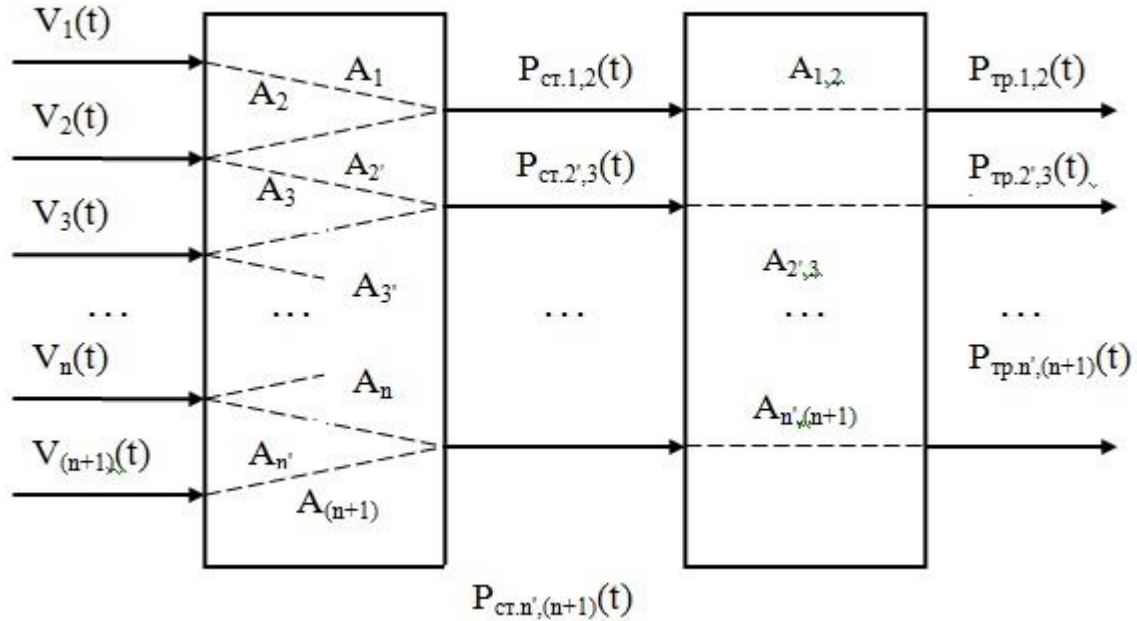


Рис. 1. Модель обеспечения безопасности системы самоходных транспортных машин

$P_{см.1,2}(t), P_{см.2',3}(t), \dots, P_{см.n',(n+1)}(t)$ , которые являются возмущающими процессами по отношению к блоку 2 и определяются как:

$$\begin{cases} P_{см.1,2i}(t) = S_{m2i} / S_{mn2}; \\ P_{см.2',3i}(t) = S_{m3i} / S_{mn3}; \\ P_{см.3',4i}(t) = S_{m4i} / S_{mn4}; \\ \dots \\ P_{см.n',(n+1)i}(t) = S_{m(n+1)i} / S_{mn(n+1)}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $S_{m2i}, S_{m3i}, S_{m4i}, \dots, S_{mn'i}, S_{(n+1)i}$  - тормозной путь ведомых СТМ в случае  $i$ -го торможения ведущих ССТМ;  $S_{mn2}, S_{mn3}, S_{mn4}, \dots, S_{mn(n+1)}$  - нормируемое значение тормозного пути ведомых СТМ в зависимости от условий эксплуатации.

Выходными процессами блока 2 являются изменения вероятности травмирования  $P_{тр.1,2}(t), P_{тр.2',3}(t), \dots, P_{тр.n',(n+1)}(t)$  операторов ведущих и ведомых СТМ, зависящие от надежности защиты работающих при использовании устройства определения тормозного пути. Операторы  $A_1, A_2, A_2', A_3, A_3', \dots, A_n', A_{(n+1)}$ ;  $A_{1,2}, A_{2',3}, \dots, A_{n',(n+1)}$  характеризуют процессы преобразования параметров входных процессов соответственно блоков 1 и 2 в выходные.

Операторы определяют как система преобразует входные воздействия, которые могут быть детерминированными функциями времени или случайными процессами.

Анализ процессов функционирования системы СТМ заключается в определении или прогнозировании параметров выходных процессов при известных входных воздействиях и операторах.

Синтез процессов функционирования заключается в установлении оператора (математической модели), обеспечивающего определенное преобразование входных воздействий.

В нашем случае оптимизация процессов функционирования сводится к определению такого оператора, который обеспечивает оптимальное преобразование этих входных воздействий. При определении динамических характеристик самоходных машин используются линейные операторы, характеризующие свойства линейных стационарных динамических систем, поведение которых описывается линейными уравнениями в полных производных и с постоянными коэффициентами.

В зависимости от вида моделей, возможностей получения экспериментальных реализаций процессов и требуемой точности оценок используются различные методы идентификации во временной и частотной области. В результате получают оценки операторов преобразования динамической системой входных сигналов в выходные в виде передаточных и частотных функций или импульсных характеристик, дифференциальных уравнений, уравнений регрессии. После идентификации производится оценка степени идентичности полученной модели.

Для решения поставленных в нашем случае задач представляется наиболее подходящим алгоритм идентификации по спектральным плотностям изучаемых процессов [3].

Простейшим уравнением идентификации в частотной области является выражение

$$S_a(\omega) = S_g(\omega)[A_{a,g}(\omega)]^2, \quad (2)$$

где  $[A_{a,g}(\omega)]^2$  - амплитудно-частотные характеристики транспортной безопасности СТМ;  $S_a(\omega)$ ,  $S_g(\omega)$  - спектральные плотности соответственно выходных и входных процессов при соответствующих условиях эксплуатации.

В случае использования системы СТМ уравнения идентификации в частотной области и полагая некоррелированными входные воздействия  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$ , ...,  $V_n(t)$ ,  $V_{n+1}(t)$ , можно записать следующие выражения:

$$\begin{aligned} P_{cm.1,2}(t) &= A_1[V_1(t)] + A_2[V_2(t)]; \\ P_{cm.2,3}(t) &= A_{2'}[V_{2'}(t)] + A_3[V_3(t)]; \\ P_{cm.3,n}(t) &= A_{3'}[V_{3'}(t)] + A_4[V_4(t)]; \\ &\dots\dots\dots \\ P_{cm.n',(n+1)}(t) &= A_{n'}[V_{n'}(t)] + A_{(n+1)}[V_{(n+1)}(t)], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_{Pmp1,2}(\omega) &= \{S_{P1cm.}(\omega) + S_{P2cm.}(\omega)\}[A_{1,2}(\omega)]^2; \\ S_{Pmp2',3}(\omega) &= \{S_{P2'cm.}(\omega) + S_{P3cm.}(\omega)\}[A_{2',3}(\omega)]^2; \\ S_{Pmp3',4}(\omega) &= \{S_{P3'cm.}(\omega) + S_{P4cm.}(\omega)\}[A_{3',4}(\omega)]^2; \\ &\dots\dots\dots \\ S_{Pmpn',(n+1)}(\omega) &= \{S_{Pn'cm.}(\omega) + S_{P(n+1)cm.}(\omega)\}[A_{n',(n+1)}(\omega)]^2, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} S_{Pmp1,2}(\omega) &= \{S_{V1}(\omega)[A_1(\omega)]^2 + S_{V2}(\omega)[A_2(\omega)]^2\}[A_{1,2}(\omega)]^2; \\ S_{Pmp2',3}(\omega) &= \{S_{V2'}(\omega)[A_{2'}(\omega)]^2 + S_{V3}(\omega)[A_3(\omega)]^2\}[A_{2',3}(\omega)]^2; \\ S_{Pmp3',4}(\omega) &= \{S_{V3'}(\omega)[A_{3'}(\omega)]^2 + S_{V4}(\omega)[A_4(\omega)]^2\}[A_{3',4}(\omega)]^2; \\ &\dots\dots\dots \\ S_{Pmpn',(n+1)}(\omega) &= \{S_{Vn'}(\omega)[A_{n'}(\omega)]^2 + S_{V(n+1)}(\omega)[A_{(n+1)}(\omega)]^2\}[A_{n',(n+1)}(\omega)]^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, предложенная модель обеспечения безопасности системы СТМ позволяет учесть переменные случайные факторы, влияющие на вероятность столкновения машин за счет снижения уровней опасных и вредных производственных факторов и травмирования операторов.

### Список литературы

1. Сухов, С.С. Повышение безопасности операторов сельскохозяйственных самоходных транспортных машин минимизацией опасностей столкновения и совершенствования технических систем: дис. ... канд. тех. наук / Сухов Сергей Сергеевич. - Орел: ФГНУ ВНИИ ОТ, 2006.
2. Белова, Т.И. Обеспечение безопасности операторов самоходных транспортных машин / Т.И. Белова, В.И. Растягаев, С.С. Сухов, А.А. Филиппов // Материалы VIII Междунар.

научно-техн. конф. «Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК». Брянск, 21 ноября 2014 г. – Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2014. – С.37-45.

3. Белова, Т.И. Выбор параметров с целью оптимизации условий функционирования самоходных транспортных машин / Т.И. Белова, С.С. Сухов, Л.М. Маркарянц, А.А. Филиппов // Вестник МАНЭБ. – 2010. – Т. 15. – №4. – С. 103-108.

### **Сведения об авторах**

Белова Татьяна Ивановна - доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Брянский государственный аграрный университет», belova911@mail.ru.

Сухов Сергей Сергеевич - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», bgd\_cc@bk.ru.

Кончиц Сергей Владимирович - аспирант ФГБОУ ВПО «Брянский государственный аграрный университет», st0974@mail.ru.

## **THEORETICAL SUBSTANTIATION OF MODEL OF SAFETY SYSTEM OF SELF-PROPELLED TRANSPORT VEHICLES**

*T.I. Belova, S.S. Sukhov, S.V. Konchits*

<sup>1</sup> – Bryansk State Agricultural University

<sup>2</sup> – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The proposed security model of the system of self-propelled transport vehicles that allow variables to take into account random factors that affect the probability of collision of cars by reducing levels of dangerous and harmful production factors and of injury to the operators presented in the form of a double-probability model.

**Keywords:** *security, model, operator, self-propelled transport vehicles, injury to.*

### **References**

1. Sukhov S.S. Improving the safety of operators of agricultural self-propelled transport vehicles to minimize the dangers of collision and improvement of technical systems. Cand. Diss. (Engineering). Orel. 2006.

2. Belova T.I., Rastyagaev V.I., Sukhov S.S., Filippov A.A. Ensuring the safety of operators of self-propelled transport vehicles. *Proceedings of the VIII Intern. scientific and technical. Conf. "Problems of energy, information and automation, security and natural resources management in agriculture"*. Bryansk. 2014, pp. 37-45.

3. Belova T.I., Sukhov S.S., Markaryants L.M., Filippov A.A. The selection of parameters to optimize conditions for functioning of self-propelled transport vehicles. *Vestnik MANEB*, 2010, Vol.15, No.4, pp. 103-108.

### **Authors' information**

Tatyana I. Belova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of chair of safety at Bryansk State Agricultural University, belova911@mail.ru.

Sergey S. Sukhov - Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Head of chair of safety at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, bgd\_cc@bk.ru.

Sergey V. Konchits – postgraduate at Bryansk State Agricultural University, st0974@mail.ru.

УДК 911.5

## **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК И ВОДНО-БОЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СУДЖАНСКОГО ЛАНДШАФТА В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.А. Чернышев, С.Г. Казаков

Курский государственный университет

Водно-болотные комплексы имеют оптимальную экологическую емкость на стадии развития ранних и средних растительных сукцессий. Нарушения питания водотоков из-за введения в севооборот большого количества площадей под яровые, особенно пропашные, культуры приводят к резкому нарушению питания рек и деградации водно-болотных комплексов.

*Ключевые слова:* водно-болотный комплекс, водоток, климат, климатические циклы, севооборот, яровые культуры, пропашные культур

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сельское хозяйство является одной из важнейших экономических отраслей в Центрально-Черноземном экономическом районе (ЦЧЭР) РФ, дающее до 30% материального производства. Развитие сельского хозяйства в Европейской лесостепи шло путем увеличения посевной площади. Развитие сельского хозяйства зависело как от природных факторов, так и от социально-экономических причин, часто имевших в своей основе субъективный характер. Меняющиеся подходы к освоению земель в течение всего исторического периода привели к занятию сельским хозяйством более 80% территории и изменениям компонентов лесостепных ландшафтов, в том числе пойменного типа местности и водно-болотных комплексов (ВБК).

### **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью исследования явилось изучения влияния типов севооборота на питание рек региона с учетом климатических особенностей, в том числе чередования тепло-засушливых и прохладно-влажных фаз. Объектом исследования выбран типичный физико-географический район Центральной лесостепи - Суджанский ландшафт [7].

В задачи исследования входило определение: тенденций количества выпадаемых осадков и средних температур; тенденций основных гидрологических характеристик водотоков; соотношения площадей, засеваемых различными типами сельскохозяйственных культур. Решение данных задач дает возможность выявления возможной взаимосвязи колебаний гидрологических характеристик водотоков от типа севооборота и климатических факторов и, соответственно, влияния на структуру ВБК.

### **ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ**

При районировании Центрально-Черноземных областей (ЦЧО) на территории Курской области выделялось 6 физико-географических районов [7]. Из них наибольшую площадь занимает Суджанский ландшафт, расположенный в бассейнах рек Псла, Сейма и Ворсклы (бассейн Днепра).

В геоморфологическом отношении данная территория представляет собой понижающийся склон, прорезанный широкими и глубокими речными долинами западного и юго-западного направления и многочисленными балками, врезающимися в эти долины. Основными рельефообразующими породами являются мергели и псчий мел нижнего и верхнего сенона, прикрытые на междуречьях ниже-третичными глинами и песком. В геоботаническом отношении район принадлежит к типичной лесостепи [5, 7] с выщелоченными и оподзоленными черноземами на плакорах. Соотношение типов местности: плакор - 53%; приречный - 29%; надпойменно-террасный - 8%, пойменный - 10%.

Все типы ВБК естественного происхождения на территории ландшафта сформированы деятельностью водотоков (основные - Псел, Сейм, Ворскла). Долины рек разработаны и асимметричны. Тектоническое происхождение водораздельных гряд и

прогибов обусловили сложно-разветвленную речную сеть. Глубина врезания речных долин – 70...160 м.

Питание рек осуществляется снеговыми водами (50...55%), грунтовыми (30...35%) и дождевыми (10...20%). Формирование и питание пойменных ВБК в первую очередь зависело от интенсивности половодья, его высоты и длительности, особенно в создании систем старичных озер.

Основополагающим компонентом развития ВБК, зависившем от высоты и интенсивности половодья, является уровень воды в весенне-летний период. Он определяет площадь открытых зеркал, глубину водоема или водотока, скорость течения (в водотоках), скорость и степень прогревания воды, что обуславливает проектное покрытие площадей ВБК растениями.

Затопление поймы в половодье и паводки являются с нашей точки зрения необходимыми условиями для максимальной биологической продуктивности ВБК. Природная энергия гидрологического режима приводит или к удержанию растительных сукцессий на уровне ранних и средних, или к быстрому обновлению затухающих стадий, которые характеризуются пониженной жизненной емкостью [2]. При интенсивном антропогенном воздействии на ВБК, и в первую очередь, на питание водотоков, процессы, приводящие к затуханию сукцессий, значительно ускоряются. Поэтому наше внимание было в первую очередь направлено на факторы, определяющие питание ВБК с марта по конец июля.

#### Климатические факторы

Важной составляющей, определявшей объем талых снеговых вод, являлось количество твердых осадков в холодные периоды. При этом количество твердых осадков не превышало 20% (около 130 мм/год) от годового объема. Изменения суммы годовых осадков, соотношение твердых, жидких и смешанных, в первую очередь были вызваны идущими климатическими циклами (внутривековыми и межвековыми) с чередованием (3...4 года, 10...11 лет, 35...40 лет) тепло-засушливых и влажно-прохладных фаз [2]. Неустойчивость климата лесостепи приводила к значительным колебаниям расхода воды на реках во все фенологические периоды с 1935 по 2013 год (табл. 1), за исключением 1941-1943 г.г., когда исследования не проводились

Климатические циклы оказывали значительное влияние на ВБК. При наступившей межвековой тепло-засушливой фазы (2006-2030 г.г.) отмечено уменьшение среднегодового количества осадков по сравнению с предыдущим периодом (рис. 1, табл. 2).

Таблица 1

Расход воды (м<sup>3</sup>/с) в основных реках Курской области (бассейн Днепра)<sup>1</sup>

Водо-ток	Площадь водосбора (км <sup>2</sup> )	Апрель			Июнь			Июль		
		max	min	сред.	Max	min	сред.	max	min	сред.
Бассейн Сейма										
Сейм	18 100	793	86,4	366	55,6	17,2	32	64,9	14,3	30,2
Тускарь	2 380	161	6,13	47,3	13,1	1,48	5,05	7,27	1,17	3,84
Свапа	3 690	264	16,2	81,9	30,6	2,5	7,51	15,7	2,01	6,68
Бассейн Псла										
Псел	4 700	237	11,9	80,5	17	1,93	6,92	16,7	1,61	5,15
Суджа	972	32,2	2,3	8,96	4,17	0,48	4,1	2,95	0,38	1,09

Увеличение доли жидких осадков в зимний период, вызванное неустойчивым термическим режимом и частыми оттепелями, привело к уменьшению снегового покрова и обусловило минимальные запасы влаги в нем к началу фенологической весны. В зимы

<sup>1</sup> Гидропосты: р. Сейм - г. Рыльск; р. Тускарь - г. Курск; р. Свапа - Старый Город; р. Псел - г. Обоянь; р. Суджа - г. Суджа.



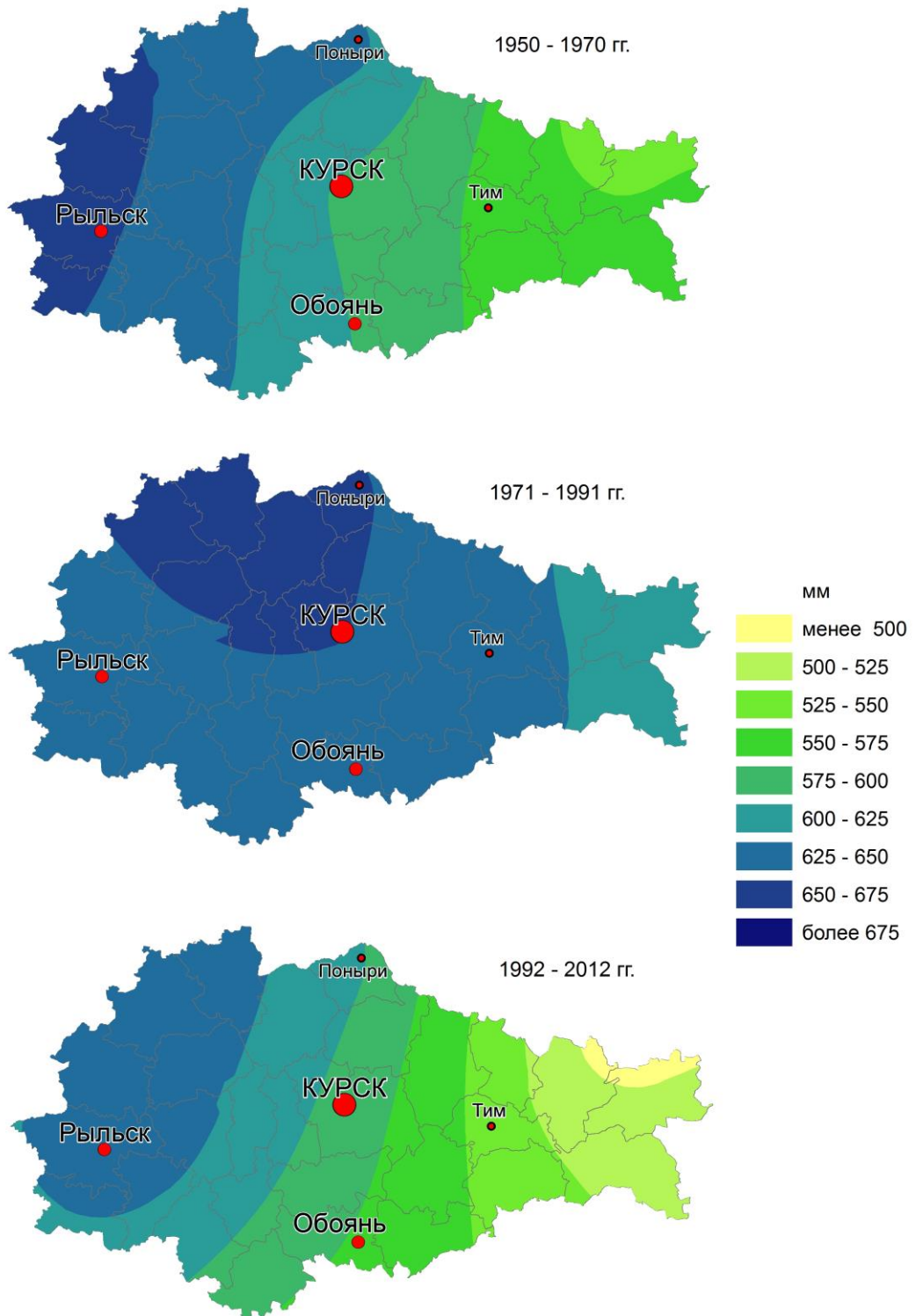


Рис. 1. Распределение среднегодового количества осадков по территории Курской области (1950-2012 г.г.)

Таблица 2

Годовое количество осадков, отмеченное на метеостанциях и постах Курской области в периоды до 1968 г. и за 2006-2013 г.г.

№	Метеостанции	Географические координаты		Годовое количество осадков, мм	
		с.ш.	в.д.	до 1968 г.	2006-2013 г.г.
1	Железногорск	52.31	35.32	-*	580
2	Поныри	52.19	36.19	764	550
3	Фатеж	52.05	35.52	667	533
4	Курск	51.44	36.10	764	577
5	Рыльский	51.31	34.41	675	614
6	Курчатов	51.48	35.51	-*	504
7	Тим	51.38	37.07	665	530
8	Обоянь	51.13	36.17	612	548
9	Щурово	52.05	36.19	661	484
10	Свобода	51.55	36.05	-*	475,1
11	Новые Савины	51.56	37.20	685	399,26
12	Ново-Касторное	51.47	38.07	650	471,52
13	Беседино	51.42.4	36.28	627	490,44
14	Лебяжье	51.41.3	36.17	618	486,04
15	Льгов	51.41	35.17	651	515,28
16	Петринка	51.40	36.01	-*	483,34
17	Любичская	51.33.	35.26.	582	478,02
18	Зуевка	51.23	36.46	671	425,38
19	Замостье	51.11	35.18	622	513,38

Примечание: \* - данные метеопосты до 1968 г. не существовали.

2006-2007, 2007-2008, 2008-2009 годов снеговой покров сошел на открытых пространствах к концу февраля - началу марта. В эти годы отмечался наиболее низкий уровень воды в весенне-летний период. Но при анализе соответствия выпавшего количества осадков и гидрологических характеристик водных объектов, необходимо отметить, что, кроме климатических факторов, имелись и другие причины, влияющие на распределение расходов воды и уровней на основных водотоках по фенологическим сезонам (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение среднегодового количества осадков (мм) на водосборах рек со среднегодовыми расходами воды\*

Год	Сейм		Свапа		Псел	
	мм	м <sup>3</sup> /с	мм	м <sup>3</sup> /с	мм	м <sup>3</sup> /с
2008	472	55	555	14,3	522	3,6
2009	547	47	581	16,0	597	2,9
2010	546	54,5	482	15,1	485	3,3
2011	546	38,7	574	12,1	485	3,0
2012	571	41,1	581	12,3	575	3,7
среднее	536,4	47,26	554,6	13,96	532,8	3,3

Примечание: \* - по данным, предоставленным ГУ Курского ЦГМС-Р, гидропосты - р. Сейм, г. Рыльский; р. Свапа - Старый Город; р. Псел - г.Обоянь

Очевидно, что большее количество осадков в холодный период и запасы влаги в снеговом покрове не явились гарантией высокого уровня воды в весенне-летний фенологический сезон [3, 4]. Мы считаем, что гидрологические характеристики водотоков и сформированных ими ВБК в первую очередь зависят сегодня от влияния сельского хозяйства и его ведущей отрасли - растениеводства.

### Антропогенные факторы

Исторически одной из особенностей естественных лесостепных ландшафтов являлось почти полное отсутствие поверхностных стоков с водосборов даже в периоды с максимальным снеговым покровом [3]. Значительная часть осадков пополняла грунтовые воды, распределяя более равномерно годовой сток и способствуя при этом стабильному существованию пойменных ВБК. Переход большей части территории Центральной лесостепи в агроценозы еще к середине-концу XIX-века (до 67% пашни) обусловил интенсивный поверхностный сток талых и ливневых вод с распаханых площадей, что резко увеличило амплитуду стока в половодье и летними меженью [3, 4].

Площади, занятые агроценозами, быстро теряют почвенную влагу. Особенно это относится к открытым, не защищенным растительностью полям, подготовленным под посевы яровых культур. На них отмечен усиленный поверхностный сток в весенний период, когда насыщенная влагой почва еще не оттаяла на глубине и не пропускает влагу в водоносные горизонты, а также мощное поверхностное испарение с пахотного слоя в апреле-мае. Максимальные влагопотери отмечены на полях пропашных культур [3, 4]. Эти процессы уменьшают роль грунтовых вод в питании ВБК. Потери почвенной влаги во время снеготаяния агроценозами приводят к уменьшению роли дождевых осадков в питании реки в летний период. Летние осадки (преимущественно ливневые), скатившиеся в виде поверхностного стока в реки, приводят как к быстрому подъему, так и к быстрому спаду уровня воды. Летними дождями почва увлажняется не глубже 10...20 см [3]. Верховодка задерживается почвой, не просачиваясь в водоносные слои, лишая реки подпитки за счет грунтовых вод, в дальнейшем испаряясь. Исключение составляли года (1979, 1982, 1997, 2000), когда за июнь-июль выпадало до 250...280 мм.

За послевоенный период в ЦЧО можно выделить несколько этапов в растениеводстве, значительно отличающихся друг от друга принципами ведения севооборота и как, следствие, неоднозначного воздействия на гидрологический режим ВБК [1].

После принятия Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20.10.1948 г. «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР», в период внедрения травопольной системы, лесомелиорации, создания прудов и улучшения методов агротехнических работ отмечено улучшение водного режима почв и увеличение стока в меженные периоды [6].

Резкое увеличение посевов пропашных культур, уход от травопольной системы с начала 60-х годов вызвали обратный эффект. Это привело к усилению стока в половодье и уменьшение его в межень. Следующим периодом увеличения коэффициента стока в межени и уменьшение его в половодье стали 1975-1980 г.г., когда шла новая волна строительства прудов и проведения лесомелиорации.

С 1981 г. отмечено некоторое снижение коэффициента меженного стока (при этом он все равно остается одним из самых высоких за весь период наблюдений) и самый низкий коэффициент стока половодья. С 1990 г. из-за изменившихся социально-экономических условий часть пашни вышла из севооборота, мелиоративные каналы в большинстве своем оказались заилены, что ухудшило дренаж осушенных пойм.

Переход на рыночные отношения в сельском хозяйстве, усилившийся к началу XXI века, обусловил новые тенденции в растениеводстве, в значительной мере совпавшими с 60-ми годами XX века. Если уход от травопольной системы и увеличение доли пропашных культур в 60-х годах был обусловлен «командно-административной системой», то в начале XXI века - спросом на рынке.

Сегодня сельскохозяйственное производство в Центральной лесостепи ведется преимущественно мелкими экономическими агентами. Как правило, отсутствует общий план ведения севооборота и агротехнических методов. Соотношение осваиваемых площадей и засеваемых сельхозкультур в большинстве своем зависит от субъективных причин.

Нами были проведены пятилетние полевые исследования в Суджанском ландшафте с целью определения соотношения площадей, занятых под различные типы сельскохозяйственных культур. Исследовались посевные площади, занятых растительным покровом «под зиму» (озимые зерновые, многолетние травы) и яровые, среди которых большее внимание уделялось посевам пропашных культур и сое.

Для проведения исследования нами было выбрано 6 ключевых участков в бассейнах Сейма, Свапы и Псла. Общие площади выбранных участков колебались от 360 до 620 км<sup>2</sup>. Участки включали в себя правобережные водораздельные гряды с максимальной эрозионной расчлененностью (средняя густота – 1,6 км/км<sup>2</sup>; глубина 80 м; плотность оврагов 3...4 вершины/км<sup>2</sup>), и левобережья, занятые надпойменными террасами и полого-увалистыми плакорами (средняя густота – 0,4 км/км<sup>2</sup>; глубина 30 м; плотность оврагов 1 вершина/км<sup>2</sup>)

Определение площадей и типов культур сельхозугодий проводилось с помощью векторизации в ГИС-пакете MapInfo, полученного со спутника Landsat-8. Для этой задачи наиболее информативными оказались комбинации главных компонент каналов Landsat – 7-6-4 и 6-5-4, позволяющие получить в первом случае псевдонатуральный цвет, а во втором более отчетливо проанализировать вегетационную активность, что особенно значимо для локализации озимых культур. Достоверность полученных данных была проверена при проведении маршрутного учета длиной более 150 км с применением приемника-навигатора.

Максимальная освоенность под пахоту с минимальной площадью озимых отмечена в бассейне Псла, на Обоянской водораздельной гряде, имеющей высшие показатели по степени эрозии. Схожее соотношение отмечено и в бассейне р. Сейм. В меньшей степени затронуто правобережье Свапы, за счет перехода части земель в залежи и большей лесистости данного ландшафта [8] (табл. 4).

Таблица 4

Соотношение пашни и полей озимых культур по отношению к площади ключевого участка

Река	Пашня		Озимые	
	правобережье	левобережье	правобережье	левобережье
Сейм	43,5%	38,1%	3,5%	6,6%
Свапа	23%	45,4%	9,6%	2,6%
Псел	58,6%	44%	1,8%	3,7%

Данные тенденции являются негативными и, скорее всего, определяющими в ухудшении гидрологических показателей реки Псел и Сейм, на которых отмечено снижение среднегодовых расходов воды от 25 до 35...40% по сравнению со Свапой (уменьшение расходов на 10...12%)

Кроме того, сразу после уборки озимых и ранних яровых культур (в 2012 г. сроки от 5 до 20 июля), поля перепахиваются в течение 2-3 суток, что привело к появлению площадей с максимальной испаряющей поверхностью в самый жаркий и засушливый фенологический период.

Это явление, еще более усиленное наступлением тепло-засушливой вековой климатической фазы, привело к выраженному падению уровня воды в водотоках и деградации пойменных ВБК. Данная деградация в первую очередь выразилась в уменьшении площадей открытых водных зеркал пойменных озер и болот, их интенсивное зарастание водной растительностью, что влечет за собой дальнейшее заиление.

Наиболее ярко это выражено на Псле, не имеющем никаких гидроузлов и подпорных плотин. Уже в 2006 г., несмотря на высокое половодье (у с. Борки до 4,2 м) в период середины июля (время летних паводков), уровень воды в реке Псел упал на 0,3 м по сравнению с 2005 г. В 2007 г. уровень воды понизился еще на 0,17 м. Падение уровня продолжилось и в последующие годы. В 2012 г., несмотря на более низкие среднегодовые температуры и значительно большее количество осадков по сравнению с 2010 г., уровень воды в летний период практически не отличался (3...5 см). На реке Сейм уровни 2012 г. были выше уровней 2010 г. на 4...6 см, на реке Свапа (г. Дмитриев) - на 2...10 см.

На большинстве прудов полностью прекратился сток с гидроузлов, расход воды в устьях схожих по параметрам (длина до 60 км, площадь бассейна более 600 км<sup>2</sup>) рек упал до 1...3 л/с. В пойменных ВБК наблюдаются тенденции формирования поздних сукцессий с пониженной жизненной емкостью, наименее благоприятных для заселения их животными организмами, особенно водно-болотными птицами [2].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной причиной, повлекшей падение уровня воды в водотоках и водоемах к началу летней межени является переход хозяйств региона на яровые культуры, особенно с поздней вегетацией, что подтверждается падением расходов воды и понижением уровней как годовых, так и во время фенологических сезонов на основных водотоках Суджанского ландшафта. Среднегодовой расход воды на р. Сейм у г. Рыльск с 2005 г. колебался от 38 до 55 м<sup>3</sup>/с, что соответствует 57...81% от среднестатистического, при этом нет прямой зависимости от метеорологических показателей (табл. 5).

Таблица 5

Соотношение климатических и гидрологических характеристик в период тепло-засушливой фазы (2007-2012 г.г.)<sup>2</sup>

Год	Среднегодовая температура		Осадки		Среднегодовой расход воды		Среднегодовой уровень воды	
	°С	%	мм	%	м <sup>3</sup> /с	%	см	%
2007	8,1	142	589	97	53	78,6	303	98
2008	8,0	140	550	91	55	81,6	271	88
2009	7,5	132	643	105	47	69,7	297	96
2010	8,3	146	516	85	54,5	80,9	300	99
2011	7,0	123	496	82	38,7	57,4	286	92,5
2012	7,4	130	682	112	41,1	60,9	288	93

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перевод 80...85% пахотной территории Суджанского ландшафта под яровые культуры с поздней вегетацией (пропашные, соя) при применении современных методов и приемов агротехнической обработки почвы, исключаяющих большую часть календарного года (около 8 месяцев) наличия растительного покрова в осенний, зимний и ранневесенний периоды на фоне пришедшей тепло-засушливой межвековой климатической фазы, привели к резкому ухудшению гидрологического режима основных водотоков и, соответственно, сформированных их деятельностью ВБК. Погоня сельскохозяйственными производителями за ежеминутной выгодой на фоне тепло-засушливой вековой климатической фазы продолжает усиливать деградацию ВБК и ухудшать экологическую ситуации в регионе.

Учитывая, что большая доля частных хозяйств экономически не заинтересована в проведении лесомелиоративных мероприятий, необходим комплекс мер по предотвращению быстрого стока в весенний период в водотоках за счет создания каскада переливных подпорных плотин, преимущественно на месте промытых меандров и раздвоенных русел.

#### Список литературы.

1. Чернышев, А.А. Влияние земледелия на параметры питания рек Курской области / А.А. Чернышев, С.Г. Казаков // Материалы IV Всерос. научно-практ. конф. «Эколого-географические исследования в речных бассейнах». – Воронеж, 2014. – С. 147-149.
2. Физико-географическое районирование Центрально-Черноземных областей. - Воронеж, 1961. – 263 с.

<sup>2</sup> Показатели расходов воды приводятся по гидропосту на р. Сейм у г. Рыльска, имеющими 86...91% корреляцию с другими гидропостами, количество осадков и температуры приводятся по средним показателям метеостанций и метеопостов, охватывающих бассейн Сейма в пределах исследуемого района.

3. Казаков, С.Г. Эколого-экономические факторы устойчивого развития Центрального Черноземья / С.Г. Казаков, Т.Л. Казакова. – Курск: Издательство КГУ, 2008. – 140 с.
4. Кривенко, В.Г. Водоплавающие птицы и их охрана / В.Г. Кривенко. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.
5. Кумани, М.В. Оценка весенней влагозарядки почвы / М.В. Кумани, С.А. Шульга // Изучение и оптимизация водных ресурсов Центральной лесостепи. Научные труды МФГО АН СССР, Курское отделение. – Курск, 1987. – С. 83-90.
6. Кумани, М.В. Способы регулирования почвенно-эрозионных процессов и гидрологического режима агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны: автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук. – Курск, 2003. – 23 с.
7. Мильков, Ф.Н. Природные зоны СССР. – М.: Мысль, 1977. – 300 с.
8. Солошенко, В.М. Создание прудов и эффективность их использования для орошения сельскохозяйственных культур Курской области // Изучение и оптимизация водных ресурсов Центральной лесостепи. Научные труды МФГО АН СССР, Курское отделение. – Курск, 1987. – С. 61-66.

#### **Сведения об авторах**

Чернышев Александр Алексеевич - кандидат географических наук, доцент кафедры биологии растений и животных Курского государственного университета; 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33; тел. +7(4712)56-19-11, e-mail: planetograph@yandex.ru.

Казаков Станислав Геннадьевич - кандидат географических наук, доцент кафедры экономической и социальной географии; 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33; тел. +7(4712)56-19-11, e-mail: kazaks@rambler.ru.

### **AFFECTING FACTORS TO RIVER HYDROLOGY AND WETLAND OF SUDZHA LANDSCAPE IN KURSK REGION**

Chernyshev A.A., Kazakov S.G.

Kursk State University

Wetland complexes have optimal ecological capacity at the stage of early and medium-sized plant successions. Fed disorders watercourses due to the introduction of a large number of crop rotation areas under spring crops, especially row crops, culture, leading to a sharp malnutrition rivers and degradation of wetland complexes.

**Keywords:** *wetland, watercourse, climate, climate cycles, crop rotation, spring crops, row crops.*

#### **References**

1. Chernyshev A.A., Kazakov S.G. Vliyaniye zemledeliya na parametry pitaniya rek Kurskoy oblasti. *Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologo-geograficheskie issledovaniya v rechnykh basseynakh"*. - Voronezh, 2014, pp. 147-149.
2. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovaniye Tsentralno-Chernozemnykh oblastey*. Voronezh, 1961. 263 p.
3. Kazakov S.G., Kazakova T.L. *Ekologo-ekonomicheskie faktory ustoychivogo razvitiya Tsentralnogo Chernozemya*. Kursk, Izdatelstvo KGU, 2008. 140 p.
4. Krivenko V.G. *Vodoplavayushchie ptitsy i ikh okhrana*. Mjscow, Agropromizdat, 1991. 271 p.
5. Kумани M.V., Шульга S.A. Otsenka vesenney vlagozaryadki pochvy. *Izuchenie i optimizatsiya vodnykh resursov Tsentralnoy lesostepi. Nauchnye trudy MFGO AN SSSR, Kurskiy otdel*. Kursk, 1987, pp. 83-90/

6. Kumani M.V. Sposoby regulirovaniya pochvenno-erozionnykh protsessov i gidrologicheskogo rezhima agrolandshaftov Tsentralno-Chernozemnoy zony. Doct. Diss. (Agroculture). Kursk, 2003. 23 p.

7. Milkov F.N. *Prirodnye zony SSSR*. Moscow, Mysl, 1977. 300 p.

8. Soloshenko V.M., Veklenko V.I. Sozdanie prudov i effektivnost ikh ispolzovaniya dlya orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur Kurskoy oblasti. *Izuchenie i optimizatsiya vodnykh resursov Tsentralnoy lesostepi. Nauchnye trudy MFGO AN SSSR, Kurskiy otdel*. Kursk, 1987, pp. 61-66.

#### **Authors' information**

Chernyshev, Alexandr Alexeevich - Candidate of Geographical Sciences, Assistant Professor of the chair of Plants and animals biology at Kursk State University; 305000, Russia, city Kursk, Radishcheva street, 33; tel. +7 (4712)561911, e-mail: planetograph@yandex.ru.

Kazakov, Stanislav Gennad'evich - Candidate of Geographical Sciences, Assistant Professor of the chair of Economic and social geography at Kursk State University; 305000, Russia, city Kursk, Radishcheva street, 33; tel. +7(4712)561911, e-mail: kazaks@rambler.ru.

УДК 556+510.6

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМУЛ ОБЩЕГО РАСХОДА НАНОСОВ НА ПРИМЕРЕ РЕК США

М.В. Шмакова

Институт озераведения РАН

В статье приводится сравнительный анализ результатов расчета по восьми формулам общего расхода наносов по данным наблюдений на пятнадцати гидрометрических створах, расположенных на водотоках США. Лучший результат показала аналитическая формула расхода наносов, являющаяся следствием основного уравнения движения воды и твердого вещества в речном потоке.

*Ключевые слова:* общий расход наносов, двухфазный речной поток, анализ, формула

**Основные положения.** На заре исследований процессов перемещения твердого материала в водотоках было принято разделение общего расхода наносов на влекомую и взвешенную составляющие. Если для формирования общих видений о закономерностях вовлечения в движение и перемещения твердого вещества в речных потоках и, основное, с инструментальной точки зрения, такая постановка вопроса была оправдана, то в рамках современных представлений о физике процесса, накопленном опыте натурных и лабораторных экспериментов, инструментальных возможностей и повсеместной междисциплинарной интеграции, подобное видение проблемы кажется несколько ограниченным.

При математическом моделировании двухфазного потока вычисление отдельно расходов взвешенных и влекомых наносов полностью противоречит физике процесса. С одной стороны, все переменные состояния потока связаны между собой и рассчитывать гидравлические характеристики потока (глубину и скорость) без учета взвешенной нагрузки некорректно. С другой стороны, отдельный невзаимосвязанный расчет влекомого и взвешенного расхода наносов также не соответствует единому физическому закону движения твердого вещества в водном потоке. Очевидно, что представление одного и того же физического закона в математической модели разными эмпирическими формулами для взвешенной и для влекомой формы перемещения наносов ошибочны.

При достаточно большом количестве формул расходов влекомых и взвешенных наносов, формулы общего расхода наносов не так распространены. Однако при часто эмпирической природе формул расходов взвешенных и влекомых наносов, формулы общего расхода наносов нередко более физически обоснованы.

В настоящей работе проводится сравнительный анализ результатов расчетов по некоторым формулам общего расхода наносов с использованием данных наблюдений за расходами взвешенных и влекомых наносов на водотоках с различными гидравлическими характеристиками.

**Формулы общего расхода наносов.** Общий расход наносов является функцией гидравлических характеристик потока – средней скорости потока, глубины, расхода воды, уклона, размера, гидравлической крупности и плотности частиц, а также касательного напряжения на твердой границе потока.

Некоторые приведенные ниже формулы получены на основе анализа размерностей и почти все – исходя из основной концепции сдвигающей силы потока. Аналитическая формула расхода наносов является следствием уравнения движения двухфазного потока, взаимодействие дна и потока в котором представлено силой сопротивления грунта сдвигу.

**Формула Янга (Yang S. Q.) и Лима (Lim S. Y.).** Приведенная ниже формула получена с помощью анализа размерности для рек с песчаным дном [11]. В этой формуле общий расход наносов  $G$  (кг/с) связывается с касательным напряжением на дне  $\tau$  (кг/(м·с<sup>2</sup>)), сдвигающей скоростью  $u^*$  (м/с), критической сдвигающей скоростью  $u^*_{cr}$  (м/с) и гидравлической крупностью  $w$  (м/с).



$$G = Bk \frac{\rho_{грунта}}{\rho_{грунта} - \rho_{воды}} \tau \frac{u^{*2} - u_{cr}^*}{w}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, равный 12,5.

**Формула Эккерса (Ackers P.) и Уайта (White W. R.)** также получена в результате анализа размерности [5]. Транспорт мелкодисперсного материала связан со сдвигающей скоростью потока, а транспорт более крупных частиц сопряжен со средней скоростью потока. Однако большое количество неопределенных параметров в формуле затрудняет расчеты. Общая концентрация наносов в потоке  $C_t$  записывается как

$$C_t = m_3 \left( \frac{F_{gr} - F_{gr.cr.}}{F_{gr}} \right)^{m_2} \left( \frac{v}{u^*} \right)^{m_1} \frac{d_{35} \rho_{грунта} / \rho_{воды}}{h}, \quad (2)$$

$$F_{gr} = \frac{u^{*m_1}}{\sqrt{gd_{35}(\rho_{грунта} / \rho_{воды} - 1)}} \left[ \frac{v}{\sqrt{32 \log \frac{ah}{d_{35}}}} \right]^{1-m_1},$$

где  $h$  – средняя глубина потока, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $d_{35}$  – размер частиц обеспеченностью 35%, м;  $v$  – средняя скорость потока, м/с;  $u^*$  – динамическая скорость, м/с;  $a$  – коэффициент;  $F_{gr.cr.}$  – значение параметра текучести  $F_{gr}$  в начале движения;  $m_1, m_2, m_3$  – параметры, определяемые размерами частицы  $d$ .

**Формула Карима (Karim M.F.) и Кеннеди (Kennedy J.F.)**. М. Карим и Д. Кеннеди [7] также получили формулу общего расхода наносов с помощью теории размерностей, поставив в зависимость общего расхода наносов от средней и динамической скорости потока, гидравлической крупности и среднего размера частиц  $d_{50}$ , м:

$$G = B \cdot k \left[ \frac{v}{\sqrt{g(\rho_{грунта} / \rho_{воды} - 1)d_{50}}} \right]^{2.97} \left( \frac{u^*}{w} \right)^{1.47} \sqrt{g(\rho_{грунта} / \rho_{воды} - 1)d_{50}^3}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, равный 0,00139.

**Формула Янга (Yang C.T.)**. Я. Янг выдвинул гипотезу, что определяющим фактором концентрации наносов в аллювиальных руслах является удельная мощность потока, которая может быть определена как рассчитанная за единицу времени диссипация потенциальной энергии на единицу веса воды [10]. Отношение между удельной силой потока и общей концентрацией наносов  $C_t$  имеет вид

$$\log C_t = I_1 + J \log \frac{vI}{w},$$

$$J = 1.780 - 0.360 \log \frac{wd_{50}}{v} - 0.480 \log \frac{u^*}{w}, \quad (4)$$

$$I_1 = 5.165 - 0.153 \log \frac{wd_{50}}{v} - 0.297 \log \frac{u^*}{w},$$

где  $w$  – гидравлическая крупность частиц, м/с;  $vI/w$  – безразмерная удельная мощность потока;  $I$  – уклон дна;  $v$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;  $I_1$  и  $J$  – параметры, определяемые множественным регрессионным анализом по данным наблюдений.

**Формула Энгелунда (Engelund F.) и Хансена (Hansen E.)**. Полученная в середине прошлого века формула Энгелунда–Хансена имеет вид [6]

$$G = \rho_{грунта} \cdot B \frac{0.05|v|^5}{(\rho_{грунта} / \rho_{воды} - 1)\sqrt{gd_{50}C^3}}, \quad (5)$$

где  $G$  – общий расход наносов в речном потоке, кг/с;  $B$  – ширина русла, м;  $C$  – коэффициент Шези, м<sup>0.5</sup>/с;  $\rho_{воды}$  и  $\rho_{грунта}$  – плотности воды и грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{50}$  – средний диаметр частиц, м.

Представленная формула имеет относительно несложную запись и нередко используется отечественными специалистами в моделях двухфазных потоках.

**Формула Молиаса (Molinas A.) и Ву (Wu B.)** основана на сдвигающей силе потока [8]. Уравнение Дарси-Веербаха, решаемое совместно с выражением для силы трения, дает следующее отношение между общей концентрации наносов и результирующей силой потока  $\psi$ :

$$C_t = \frac{1430(0.86 + \sqrt{\psi})\psi^{1.5}}{0.016 + \psi},$$

$$\psi = \frac{v^3}{\left(\frac{\rho_{грунта}}{\rho_{воды}} - 1\right)ghw \left[\log \frac{h}{d_{50}}\right]^2}. \quad (6)$$

**Формула Р. Бэгнольда** представляет собой полуэмпирическую зависимость [9]

$$G = \frac{|v|}{C^2} \left( 0.24 + 0.01 \frac{u^* C}{wg^{1/2}} \right) \rho_{воды}, \quad (7)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение на дне, кг/(м·с<sup>2</sup>).

**Формула И.Ф. Карасева.** В основе формулы полного расхода наносов лежат две зависимости для расхода взвешенных и влекомых наносов, полученные И.Ф. Карасевым [2]. «Различие механизмов перемещения влекомых и взвешенных наносов в потоке выражается различной структурой слагаемых в квадратных скобках» [2]. Общность механизмов перемещения состоит в едином процессе взаимодействия жидкой и твердой сред, характеризующейся мутностью взмыва [2]. Формула имеет вид

$$G = 0.755 Q B v h s_{взм} \left[ \frac{v\sqrt{g}}{0.755v\sqrt{g} + 0.5wC} B\varepsilon + \frac{39.5d(v-v_n)}{vh} \right],$$

$$s_{взм} = 0.0002\eta \frac{\rho_{воды}}{(\rho_{грунта} - \rho_{воды})} \frac{C^2 v^2}{g^2 h},$$

$$v_n = 1.15\sqrt{g(hd)^{0.25}},$$

$$\eta = 1.08 - 0.58 \left( \frac{v_c}{v} \right)^2, \quad (8)$$

$$v_c = 1.43v_n,$$

$$B = \frac{wC + 0.7v\sqrt{g}}{12wC} \left( 1 - e^{-\frac{12wC}{wC + 0.7v\sqrt{g}}} \right),$$

$$\varepsilon = 1 - 0.18 \frac{wC}{v\sqrt{g}},$$

где  $s_{взм}$  – мутность взмыва;  $v_n$  – неразмывающая скорость, м/с;  $v_c$  – критическая скорость, м/с;  $\eta$  – вероятность срыва;  $\varepsilon$  – отношение наносонесущей части пульсаций к их общей совокупности;  $B$  – отношение средней по вертикали мутности к донной.

**Формула В.Н. Гончарова** для общего расхода наносов имеет вид (для условия  $u^*/w < 2.5$ ) [1]

$$G = \rho_{грунта} \frac{1 + \varphi}{800} \frac{d}{h} \frac{v_n}{v} \left( \frac{v^3}{v_n^3} - 1 \right) \left( \frac{v}{v_n} - 1 \right) Q,$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{\rho_{грунта} - \rho_{воды}}{0.9\rho_{воды}}} \frac{gd}{w^2}, \quad (9)$$

$$v_H = 0.96 \sqrt{gd^{0.4}(d + 0.0014)^{0.6}} \left(\frac{h}{d}\right)^{0.2},$$

где  $v_H$  – неразмывающая скорость потока/ м/с;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с.

**Аналитическая формула расхода наносов** является следствием основного уравнения движения воды и твердого вещества в открытом русле, представляющим собой баланс сил, действующих в системе «водный поток – донные отложения – наносы» [3, 4]:

$$G = \frac{\rho_{грунта}}{\rho_{грунта} - \rho_{воды}} Q \left[ \frac{c}{hg} - (1 - f)\rho_{воды}I \right], \quad (10)$$

где  $c$  – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с<sup>2</sup>);  $f$  – коэффициент внутреннего трения.

Из всех приведенных выше формул для расчета были приняты аналитическая формула расхода наносов (10), формулы Карима и Кеннеди (3), Янга (4), Энгелунда и Хансена (5), Молинаса и Ву (6), Р. Бэгнольда (7), Карасева (8) и Гончарова (9). Для прочих формул данные натурных наблюдений представлены в недостаточном объеме, что затрудняет оценку некоторых параметров.

Динамическая скорость рассчитывается как отношение касательного напряжения на границе к плотности воды

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_{воды}}}.$$

Касательные напряжения на дне в соответствии с квадратичным законом сопротивления записываются в виде

$$\tau = -\lambda|v|v,$$

$$\lambda = gn^2h^{-1/3},$$

где  $\lambda$  – гидравлическое сопротивление на дне реки;  $n$  – коэффициент шероховатости русла.

Коэффициент Шези вычисляется по формуле Маннинга

$$C = \frac{1}{n}h^{1/6}.$$

**Объекты моделирования.** В качестве расчетного материала использовались данные наблюдений на 15 гидрометрических створах, расположенных на американских реках штатов Аляска, Айдахо, Колорадо, Вашингтон и Висконсин. Наблюдения на этих водотоках проводились в 70–80 годах прошлого столетия и результаты исследований приводятся в отчете «Measured total sediment loads (suspended loads and bedloads) for 93 united states streams», опубликованном Геологической службой Министерства внутренних дел США [12] и находящимся в свободном доступе.

В отчете представлены данные о взвешенных и влекомых наносах, измеряемых почти одновременно. Кроме того, в отчете приводятся гидравлические переменные состояния, и гранулометрический анализ донных отложений и наносов.

«Данные, многие из которых не были опубликованы ранее, были измерены с помощью различных частных лиц и организаций... Несмотря на известные проблемы выборки, данные, вероятно, являются лучшими из доступных в настоящее время» [12] (на 1989 год).

В отчете приводятся результаты наблюдений на девяносто трех водотоках, однако наиболее полные данные, необходимые для расчета, представлены только для пятнадцати рек. Диапазон основных гидравлических характеристик расчетных рек, в пределах которых проводились расчеты, приведен в табл. 1. Всего в расчетах использовались данные 252 измерений.

**Результаты.** В таблице 2 приводятся средние относительные отклонения рассчитанных и наблюдаемых расходов наносов. Средние относительные отклонения вычислялись по формуле

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|G_{рас} - G_{изм}|}{\min(G_{изм}; G_{рас})} \cdot 100\%.$$

Таблица 1

Основные гидравлические характеристики расчетных рек

№	Гидрометрический створ	Уклон	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Скорость, м/с	Глубина, м	Ширина, м	Гвз, кг/с	Гвл, кг/с	Гобщ, кг/с
1	Susitna River near Talkeetna, Alaska	0.00146	612-1160	1.8-2.7	1.7-2.3	183-202	197-849	2.26-10.4	199-859
2	Chulitua River below Canyon near Talkeetna, Alaska	0.00131	564-946	2.0-2.5	2.5-3.1	108-123	462-1690	26.9-145	488-1835
3	Tanana River at Fairbanks, Alaska	0.000467	1010-2020	1.3-1.9	2-2.9	296-469	2410-10030	16.3-89.4	2426-10119
4	Snake River near Anantone, Wash	0.001033	1990-3770	2.4-3.3	4.7-5.8	181-197	61.6-1270	1.07-58.7	62.67-1328
5	Toutle River at Tower Road near Silver Lake, Wash.	0.00311	112-248	1.5-3.1	0.77-1.5	61-70	538-5820	33-232	682-5901
6	Fork Toutle River near Kid Valley, Wash.	0.0037	110-185	2.4-2.8	0.85-1.1	56-59	1590-4980	110-338	1883-5090
7	Clearwater river at Spalding, Idaho	0.000312	847-1810	1.4-2.5	4.3-5.1	135-143	15.8-124	0.578-6.54	16.38-130.54
8	Yampa River at Deerlogge Park, Colo	0.000673	108-447	0.81-1.3	1.5-3.9	90-93	113-998	3.6-13.2	122.3-1008
9	Wisconsin River at Muscods, Wis.	0.000311	114-714	0.49-0.88	0.71-2.6	278-310	1.42-20	1.76-23.3	3.18-43.3
10	Black River near Galesville, Wis.	0.000221	20.1-80.7	0.44-0.54	0.55-1.4	72-122	0.422-5.5	1.28-4.09	1.702-9.59
11	Chippewa River at Durand, Wis.	0.000326	132-884	0.77-1.1	1.3-3.2	215-244	2.78-64.5	5.52-23.3	8.3-87.8
12	Chippewa River near Pepin, Wis.	0.000309	118-391	0.57-0.86	10.76-1.8	229-274	2.24-45.7	2.89-14.7	5.13-60.4
13	North Fork of Lick Creek near Yellow Pine, Idaho	0.00666	1.28-4.25	0.52-0.95	0.32-0.51	7.3-8.8	0.00294-0.0978	0.0005-0.0292	0.00344-0.127
14	South Fork of Salmon River near Cascade, Idaho	0.00695	22-77.5	0.62-1.3	1.1-1.7	31.5-34.5	0.132-4.11	0.00632-6.42	0.138-10.53
15	Chippewa River near Caryville, Wis.	0.000213	117-779	0.45-1.1	1.4-2.8	185-247	0.936-16.4	0-13.5	0.936-29.9

Выбор минимального из рассчитанного и наблюдаемого значения расхода наносов в знаменателе дает возможность уйти от занижения величины среднего относительного отклонения в случае, когда рассчитанное значение близко к нулю (тогда среднее относительное отклонение, рассчитанное традиционным способом, стремится к 100%, что занижает ошибку расчета).

Среднее относительное отклонение по всем исследуемым водотокам (табл. 2) составило от 55% (аналитическая формула расхода наносов) до 72% (формула Энгелунда-Хансена). Формулы Янга (4), Молиаса и Ву (6), Карасева (8) и Гончарова (9) показали плохие результаты (превышение над наблюдаемыми расходами наносов составило более 1000%, также имели место отрицательные значения), поэтому данные о расчетах по этим формулам в табл. 2 не приводятся.

На рис. 1 приведены зависимости рассчитанных по приведенным выше формулам и наблюдаемых расходов наносов по исследуемым водотокам. Как видно из графиков, точки наблюдаемых и рассчитанных по формулам расходов наносов лежат практически на биссектрисе. Малые значения расходов наносов лучше вычисляются по формулам Карима-Кеннеди (3) и Энгелунда (4), но, в то же время, точки наблюдаемых и рассчитанных по формуле Энгелунда расходов наносов имеют больший разброс и систематическое отклонение в сторону занижения рассчитанных расходов наносов для больших значений расходов наносов.

В целом, результаты расчета общего расхода наносов дают значительно меньшую ошибку, чем расчеты расходов донных и влекомых наносов. Это объясняется тем, что в приведенных выше формулах связь расхода наносов и гидравлических характеристик потока прописана в согласии с общими представлениями о физике процесса перемещения твердого вещества в речных потоках, основной движущей силой которого является сдвигающая проекция силы тяжести потока, которой противостоит сопротивление на твердой границе потока.

Таблица 2

Средние относительные отклонения между наблюдаемыми и рассчитанными по разным формулам расходами наносов, %

№	Гидрометрический створ	Аналит. ф-ла (10)	Карим и Кенне-ди (3)	Энгелунд - Хансен (5)	Бэгнольд (7)
1	Susitna River near Talkeetna, Alaska	34	40	43	40
2	Chulitna River below Canyon near Talkeetna, Alaska	25	33	35	33
3	Tanana River at Fairbanks, Alaska	28	33	36	37
4	Snake River near Anatone, Wash	85	57	57	60
5	Toutle River at Tower Road near Silver Lake, Wash.	38	247	307	144
6	Fork Toutle River near Kid Valley, Wash.	36	19	21	25
7	Clearwater river at Spalding, Idaho	52	79	92	53
8	Yampa River at Deerloge Park, Colo	60	79	82	70
9	Wisconsin River at Muscods, Wis.	44	73	78	55
10	Black River near Galesville, Wis.	30	37	48	55
11	Chippewa River at Durand, Wis.	38	37	36	75
12	Chippewa River near Pepin, Wis.	45	96	110	83
13	North Fork of Lick Creek near Yellow Pine, Idaho	110	44	44	68
14	South Fork of Salmon River near Cascade, Idaho	130	43	44	83
15	Chippewa River near Caryville, Wis.	67	44	47	77
Среднее значение, %		55	64	72	64

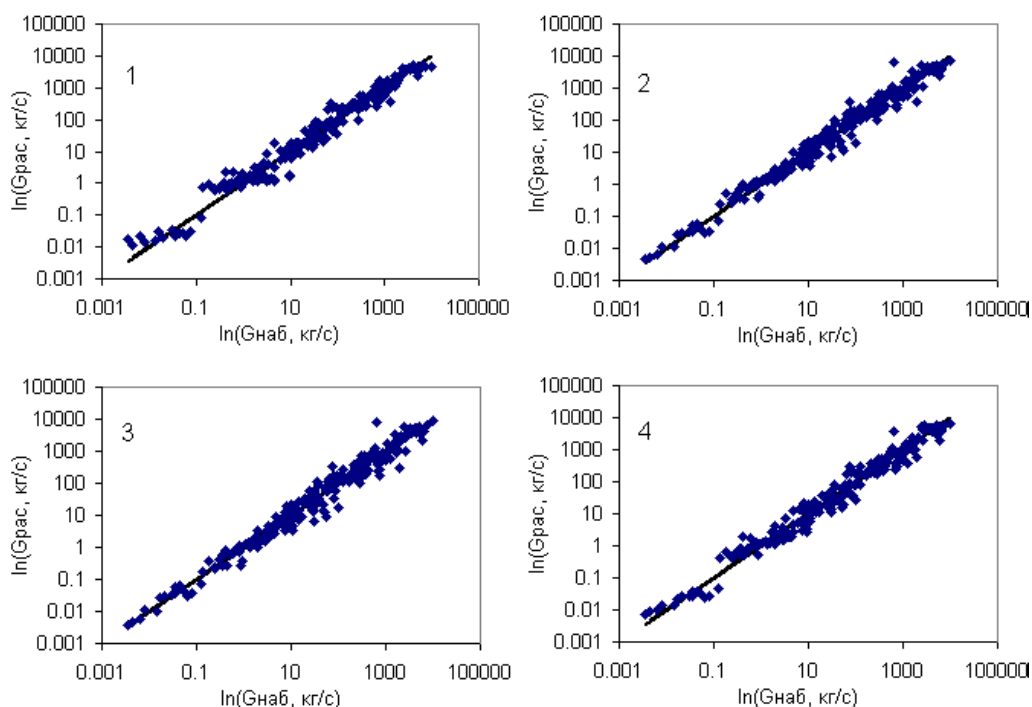


Рис.1. Наблюдаемые и рассчитанные по аналитической формуле расхода наносов (10) – 1, формулам Карима-Кеннеди (3) – 2, Энгелунда-Хансена (5) – 3 и Бэгнольда (7) – 4 расходы наносов в логарифмической шкале

Значение параметра шероховатости, задействованное во многих формулах, для каждого водотока и для каждой формулы подбиралось отдельно путем оптимизации результата.

Причем значение параметра шероховатости для разных формул для одного и того же водотока может различаться на несколько порядков. Это говорит о том, что физический смысл этого параметра далек от его первоначального назначения и он в ряде случаев выполняет функцию эмпирического коэффициента.

Значения параметров  $f$  и  $c$  в аналитической формуле расхода наносов также назначались подбором. Но в отличие от коэффициента шероховатости значение коэффициента внутреннего трения  $f$  в своем верхнем пределе близко к единице.

Также следует заметить, что расчет по всем формулам проводился для периода средней водности ввиду того, что при задействовании данных наблюдений в меженьный период и период половодья для всего расчетного ряда по всем формулам получались одинаково плохие результаты. Тогда как отдельно для маловодного периода и периода большой водности после подбора соответствующих параметров расхождение между рассчитанными и наблюдаемыми значениями на уровне расхождений, полученных для периода средней водности. Это объясняется тем, что параметры формул (параметр шероховатости, сцепление частиц грунта при сдвиге и коэффициент внутреннего трения) естественным образом зависят от смоченного периметра русла, определяющего поверхность взаимодействия потока и подстилающей поверхности (то есть непосредственно величину трения на твердой границе потока).

**Выводы.** На основании данных наблюдений на пятнадцати водотоках, расположенных на территории Соединенных Штатов Америки, были рассчитан общий расход наносов по нескольким известным формулам. Сопоставление наблюдаемых и рассчитанных расходов наносов показало, что наименьшее отклонение (55%) дает аналитическая формула расхода наносов. Следует также заметить, что аналитическая формула расхода наносов обеспечивается стандартными гидрометрическими данными наблюдений и имеет относительно простую структуру (по сравнению с другими формулами общего расхода наносов).

#### Список литературы

1. Гончаров, В.Н. Динамика русловых потоков / В.Н. Гончаров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962.
2. Карасев, И.Ф. Русловые процессы при переброске стока/ И.Ф. Карасев. - Л.: Гидрометеоиздат, 1975. - 288 с.
3. Karim M.F., Kennedy J.F. Computer-based Predictors for Sediment Discharge and Friction Factor of Alluvial Streams, *Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa*, 1983, Report No. 242.
4. Molinas A., Wu B. Transport of sediment in large sand-bed rivers, *Journal of Hydraulic Research*, 2001, Vol. 39 , No. 2, pp. 135–145.
5. Visser P.J. Application of sediment transport Formulae to sand-dike breach Erosion, *Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*, Report № 94-3. Faculty of Civil Engineering. Delft University of Technology. 1995.
6. Шмакова, М.В. Теория и практика математического моделирования речных потоков / М.В. Шмакова. – С-Пб.: Лема, 2013. – 142 с.
7. Шмакова, М.В. Аналитическая формула расхода наносов. Методика расчетов / М.В. Шмакова // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 8. – С. 61–69.
8. Yang C.T. Unit stream power equation for total load, *Journal of Hydrology*, 1979, Vol. 40, No. 1, pp. 123–138.
9. Yang S.Q., Lim S.Y. Total load transport formula for flow in alluvial channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 2003, Vol. 129 , No. 1, pp/ 68–72.
10. Сайт: <http://pubs.usgs.gov/of/1989/0067/report.pdf>.

#### Сведения об авторе

Шмакова Марина Валентиновна - Институт озероведения РАН; 196105, г. Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9, m-shmakova@yandex.ru.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FORMULAS THE TOTAL SEDIMENT DISCHARGE THE EXAMPLE OF RIVERS USA

M.V. Shmakova

Institute of Limnology RAS

The article provides a comparative analysis of the results of the calculation for eight formulas total sediment discharge from observational data on fifteen hydrometric gauges located on USA. The best result was shown by analytical formula sediment discharge, which is a consequence of the basic equations of motion of water and solids in the river flow.

**Keywords:** *total sediment discharge, a two-phase flow of the river, the analysis, the formula*

### References

1. Goncharov V.N. *Dinamika ruslovyih potokov* [Dynamics of channel flows]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1962.
2. Karasev I.F. *Ruslovyie protsessyi pri perebroske stoka* [River channel processes with diversion of flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1975. 288 p.
3. Karim M.F., Kennedy J.F. Computer-based Predictors for Sediment Discharge and Friction Factor of Alluvial Streams, *Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa*, 1983, Report No. 242.
4. Molinas A., Wu B. Transport of sediment in large sand-bed rivers, *Journal of Hydraulic Research*, 2001, Vol. 39, No. 2, pp. 135–145.
5. Visser P.J. Application of sediment transport Formulae to sand-dike breach Erosion, *Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*, Report № 94-3. Faculty of Civil Engineering. Delft University of Technology. 1995.
6. Shmakova M.V. *Teoriya i praktika matematicheskogo modelirovaniya rechnyih potokov* [Theory and practice of mathematical modeling of river flows]. St. Petersburg, Lema, 2013. 142 p.
7. Shmakova M.V. Analytical formula of sediment discharge. The method of calculation, *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, No.8, pp. 61–69.
8. Yang C.T. Unit stream power equation for total load, *Journal of Hydrology*, 1979, Vol. 40, No. 1, pp. 123–138.
9. Yang S.Q., Lim S.Y. Total load transport formula forflow in alluvial channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 2003, Vol. 129, No. 1, pp/ 68–72.
10. Available at: <http://pubs.usgs.gov/of/1989/0067/report.pdf>.

### Author' information

Shmakova M.V. - Institute of Limnology RAS 196105, St. Petersburg, ul. Sevastyanova, 9, m-shmakova@yandex.ru.

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 155734

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ РАЗГРУЗКИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015102370

Приоритет полезной модели 26 января 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 24 сентября 2015 г.

Срок действия патента истекает 26 января 2025 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **155 734** <sup>(13)</sup> **U1**  
(51) МПК  
B65G 47/94 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015102370/11, 26.01.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.01.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.01.2015

(45) Опубликовано: 20.10.2015 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14, Ректору  
Брянского государственного университета им.  
акад. И.Г. Петровского", А.В. Антюхову

(72) Автор(ы):

Лагереv Александр Валерьевич (RU),  
Селянин Евгений Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Брянский  
государственный университет имени  
академика И.Г. Петровского" (RU)

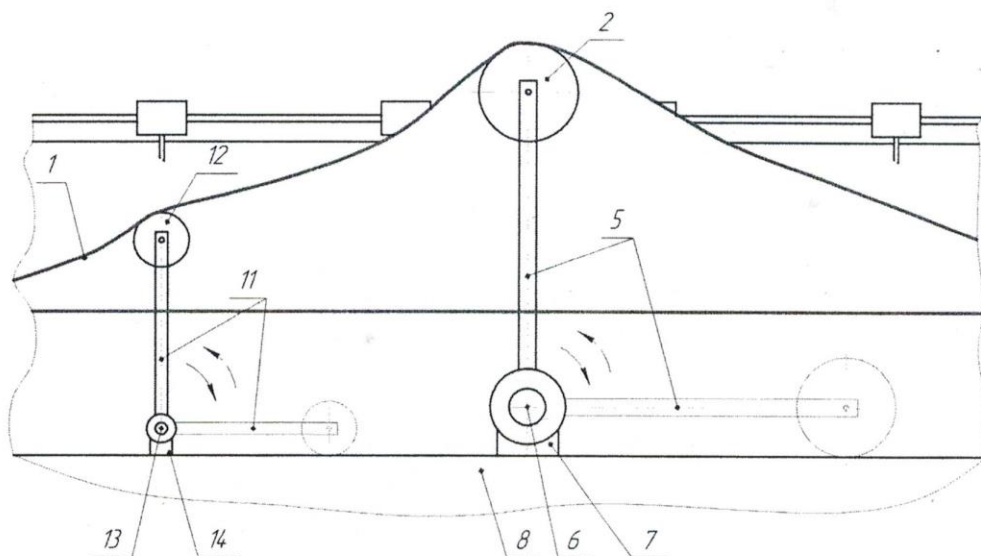
(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ РАЗГРУЗКИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ**

(57) Формула полезной модели

Устройство для промежуточной разгрузки конвейера с подвесной лентой, состоящее из расположенного под грузовой верхней ветвью конвейерной ленты разгрузочного ролика, установленного на неподвижной раме конвейера при помощи поворотного кронштейна с приводом подъема и опускания ролика, отличающееся тем, что перед разгрузочным роликом по ходу движения конвейерной ленты соосно установлены два вспомогательных ролика, конструктивно аналогичных разгрузочному ролику, размещенных на неподвижной раме конвейера при помощи вспомогательных поворотных кронштейнов с индивидуальными приводами их подъема и опускания и отклоняющие грузовую верхнюю ветвь конвейерной ленту на меньшую высоту, чем разгрузочный ролик.

RU 155734 U1

RU 155734 U1



RU 155734 U1

Для получения дополнительной информации, заключения лицензионных договоров или проведения иных патентных действий необходимо обратиться в

**отдел инновационного развития**

**Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского:**

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ru

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

**№ 2015620266**

**Виртуальные наглядные пособия по учебной дисциплине  
"Инженерная графика"**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского" (RU)*

Авторы: *Селезнев Владимир Аркадьевич (RU), Татаринцева Тамара Ильинична (RU), Жемоедова Наталья Леонидовна (RU)*

Заявка № **2014621916**

Дата поступления **25 декабря 2014 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **11 февраля 2015 г.**

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Л.Л. Кирий*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2015620266

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства):  
**2015620266**

Дата регистрации: **11.02.2015**

Номер и дата поступления заявки:  
**2014621916 25.12.2014**

Дата публикации: **20.03.2015**

Авторы:

**Селезнев Владимир Аркадьевич (RU),  
Татаринцева Тамара Ильинична (RU),  
Жемоедова Наталья Леонидовна (RU)**

Правообладатель:

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Брянский  
государственный университет имени академика  
И.Г. Петровского" (RU)**

Название базы данных:

**Виртуальные наглядные пособия по учебной дисциплине "Инженерная графика"**

**Реферат:**

База данных содержит виртуальные наглядные учебные пособия в виде плоских и объемных моделей деталей тел вращения, корпусных деталей и сборочных единиц, выполненные в графическом модуле САД компьютерной программы АDEM в формате 2D и 3D, позволяющие выполнять разрезы и сечения, разборку и сборку сборочных конструкций. Логистика поисковой системы реализована в ПО Microsoft Office Access 2007. База данных предназначена для демонстрации операций с плоскими и объемными деталями и сборочными единицами в ходе обучения по учебной дисциплине "Инженерная графика" в учебных заведениях среднего и высшего профессионального образования.

**Тип реализующей ЭВМ:** IBM PC- совмест. ПК на базе процессора Pentium IV

**Вид и версия системы управления базой данных:** Access 2007

**Вид и версия операционной системы:** Windows XP и выше

**Объем базы данных:** 49,6 Мб

Для получения дополнительной информации, заключения лицензионных договоров или проведения иных патентных действий необходимо обратиться в

**отдел инновационного развития**

**Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского:**

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ry

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2015620516

**Информационно-дидактический комплекс «Жестокое обращение с детьми: система психологической помощи»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» (RU)*

Авторы: *Матяш Наталья Викторовна (RU),  
Володина Юлия Анатольевна (RU)*

Заявка № 2015620045

Дата поступления 21 января 2015 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 19 марта 2015 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2015620516

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства):  
**2015620516**

Дата регистрации: **19.03.2015**

Номер и дата поступления заявки:  
**2015620045 21.01.2015**

Дата публикации: **20.04.2015**

Контактные реквизиты:  
**psylabgu@ya.ru**

Авторы:

**Матяш Наталья Викторовна (RU),  
Володина Юлия Анатольевна (RU)**

Правообладатель:

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Брянский  
государственный университет имени академика  
И.Г. Петровского» (RU)**

Название базы данных:

**Информационно-дидактический комплекс «Жестокое обращение с детьми: система психологической помощи»**

**Реферат:**

База данных предназначена для хранения информации, раскрывающей особенности психолого-педагогической работы с детьми-сиротами, пережившими жестокое обращение в семье. В базе данных представлены: программа учебной дисциплины; теоретические сведения; тестовые задания для контроля знаний студентов в области психологии сиротства и жестокого обращения с детьми; методики психологической диагностики; библиографические описания основной и дополнительной литературы (учебники и учебные пособия, монографии, практические пособия, научные статьи, материалы конференций и сборники научных работ, диссертационные исследования), необходимые студентам для освоения тем; биографические сведения о выдающихся ученых-психологах в области психологии сиротства. Учебный контроль является средством промежуточного и выходного контроля знаний студентов.

**Тип реализующей ЭВМ:** IBM PC-совмест. ПК на базе процессора Intel

**Вид и версия системы управления базой данных:** Opera Internet Browser 10.0 и выше

**Вид и версия операционной системы:** Windows 2000/XP/Vista/7

**Объем базы данных:** 40 Мб

Для получения дополнительной информации, заключения лицензионных договоров или проведения иных патентных действий необходимо обратиться в

**отдел инновационного развития**

**Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского:**

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ru