



Научно-технический вестник

БРЯНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Б Р Я Н С К

2016(1)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический
ВЕСТНИК
Брянского
государственного
университета**

**№ 1
2016**

**Химические науки
Технические науки
Науки о Земле**

**Nauchno-tekhnicheskiy
VESTNIK
Bryanskogo
gosudarstvennogo
universiteta**

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

№ 1

2016

**Chemical Science
Engineering Science
Earth Science**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 1 (2016). Брянск: РИО БГУ, 2016. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Размещено на официальном сайте журнала: 19.03.2016

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. Куропан - доктор географических наук, заведующий кафедрой Воронежского государственного университета;

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

И.А. Лагерев – 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. Шлеев – 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.

СОДЕРЖАНИЕ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СООБЩЕНИЯ

- Информационное сообщение Управления Роскомнадзора по Брянской области 9

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

- Ерохин В.В.*
Основные аспекты проектирования станочных приспособлений 11
- Лагереv И.А., Мильто А.А., Лагереv А.В.*
Эффективность упругого демпфирования в шарнирных соединениях стрел
крано-манипуляторных установок при повышенных зазорах 18

Транспортное, горное и строительное машиностроение

- Бословяк П.В., Зуева Е.П.*
Реализация методики оптимального проектирования металлоконструкции
конвейера с подвесной лентой 37
- Крутицкий М.Н.*
Расчет надежности валов механизмов мостовых кранов с учетом корреляции
параметров усталостного разрушения 46
- Лагереv А.В., Толкачев Е.Н.*
Моделирование режимов движения ведущих роликов приводных подвесок
конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом 55

Информатика, вычислительная техника и управление

- Лозбинеv Ф.Ю., Гамов А.А., Колесник Е.В.*
Расчетная оценка элементной и структурной надёжности корпоративной
телекоммуникационной сети на территории Брянской области 66
- Филичева Т.А.*
Применение метода когнитивного моделирования при оценке рисков снижения
качества предоставляемых образовательных услуг 74

Безопасность деятельности человека

- Лобанов В.Н., Растягаев В.И., Сухов С.С.*
Повышение опорных качеств гусеничных машин спасательной техники при их
работе на слабых почво-грунтах 81

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Долганова М.В.*
Оценка влияния морфометрических показателей склонов на эрозионную
устойчивость почв 86
- Черепанова Е.С., Дмитриева М.К., Бушмакина Ю.В.*
Геоинформационные системы для изучения динамики культурного ландшафта
города Усолье в XVIII-XX вв. 92

**НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Лагерев А.В., Лагерев И.А.

Патент RU № 160246 на полезную модель «Устройство для соединения секций
грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки» 103

CONTENT

OFFICIAL COMMUNICATIONS

Information message of Roskomnadzor office for the Bryansk region	9
---	---

ENGINEERING SCIENCE

Machinery Building and Theoretical Engineering

<i>Erokhin V.V.</i> Basic aspects design of machine-tool adaptations	11
---	----

<i>Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V.</i> Effectiveness of elastic damping in the pivot joints of cargo boom of crane-manipulating installations at large gaps	18
---	----

Transport, Mining and Construction Machinery

<i>Boslovyak P.V., Zueva E.P.</i> Realization methodology for optimal design of steel structures conveyors with hanging belt	37
---	----

<i>Krutitskiy M.N.</i> The bridge crane mechanism shaft reliability calculating in case of the fatigue fracture parameters correlation	46
---	----

<i>Lagerev A.V., Tolkachev E.N.</i> Simulation modes of movement the drive rollers of suspension of conveyor with suspended belt and distributed drive	55
---	----

Informatics, Computer Science and Controlling

<i>Lozbinev F.Yu., Gamov A.A., Kolesnik E.V.</i> The accounting estimation of element and structured reliability of corporative telecommunication network on territory of Bryansk region	66
---	----

<i>Filicheva T.A.</i> The application of the method of cognitive modeling in risk assessment reducing the quality of educational services	74
--	----

Safety of Human Activities

<i>Lobanov V.N., Rastyagaev V.I., Sukhov S.S.</i> Improving the support qualities crawler cars and rescue equipment in their work on weak soils	81
--	----

EARTH SCIENCE

<i>Dolganova M.V.</i> Evaluation of the influence of morphometric characteristics of slopes on erosion resistance of soils	86
---	----

<i>Cherepanova E.S., Dmitrieva M.K., Bushmakina Yu.V.</i> Geographic information systems to study the dynamics of the cultural landscape of the town Usolye in XVIII-XX centuries	92
--	----

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

Lagerev A.V., Lagerev I.A.

Patent RU № 160246. Device for connecting sections hoisting boom
crane-manipulator 103

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РОСКОМНАДЗОРА ПО БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Управление Роскомнадзора по Брянской области (далее – Управление), являясь уполномоченным территориальным органом по защите прав субъектов персональных данных, напоминает руководителям государственных и муниципальных органов, всем юридическим и физическим лицам - операторам, осуществляющим обработку персональных данных, о необходимости соблюдения требований Федерального закона от 27.07.2006 №152-ФЗ «О персональных данных» (далее – Закон).

В соответствии с Законом, не зарегистрированные в Реестре операторы персональных данных операторы должны представить в уполномоченный орган уведомления об обработке персональных данных (ч. 1 ст. 22 Закона).

Операторам, представившим уведомления об обработке персональных данных до 1 июля 2011 года, необходимо было представить в уполномоченный орган по защите прав субъектов персональных данных сведения, указанные в [пунктах 5, 7.1, 10 и 11 части 3 статьи 22](#) Закона, не позднее 1 января 2013 года путем подачи информационного письма о внесении изменений в сведения в реестре операторов, осуществляющих обработку персональных данных (далее – информационное письмо).

Обращаем внимание! С **01.09.2015** вступил в силу Федеральный закон от 21.07.2014 № 242-ФЗ "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части уточнения порядка обработки персональных данных в информационно-телекоммуникационных сетях", в соответствии с которым **оператор обязан обеспечить обработку персональных данных российских граждан (в том числе данных, собранных посредством сети Интернет) в базах данных, находящихся на территории РФ** (за исключением случаев, перечисленных в п. п. 2 - 4, 8 ч. 1 ст. 6 Закона).

В связи с этим, с **01.09.2015** в уведомление необходимо отражать сведения указанные в п. 10.1 ч. 3 ст. 22 Закона **о месте нахождения базы данных информации, содержащей персональные данные граждан Российской Федерации.**

Операторам, которые зарегистрированы в реестре до 01.09.2015 необходимо представить указанные сведения путем предоставления информационного письма в Управление Роскомнадзора по Брянской области.

Управлением проводится постоянный анализ ситуации с выполнением требований Закона организациями, предприятиями, юридическими и физическими лицами, занимающимися обработкой персональных данных жителей области. Значительная часть потенциальных операторов до настоящего времени не представила уведомления, отдельные операторы не подали информационные письма о внесении изменений в Реестре. В то же время, отмечается все больший интерес граждан к вопросам защиты их персональных данных работодателями, о чем свидетельствует возросший объем поступающих в Управление обращений о нарушениях Закона.

В отношении нарушителей Управлением принимаются меры административного воздействия по принуждению к соблюдению Закона в интересах общества, которые будут продолжены во взаимодействии с органами власти Брянской области.

Руководителям предприятий и организаций, юридическим и физическим лицам области, в процессе своей деятельности обрабатывающим персональные данные граждан и не выполнившим до настоящего времени вышеназванные требования Закона, следует принять меры по исполнению законодательства, подготовить и направить соответствующие документы в Управление.

На сайте Управления Роскомнадзора по Брянской области <http://32.rkn.gov.ru/> в разделе «Персональные данные» с целью оперативного заполнения размещены: временные рекомендации по заполнению уведомления, примеры для заполнения уведомления и информационного письма, информация «типичные ошибки при заполнении уведомления»,

вход на Портал персональных данных (электронная услуга по заполнению), другая необходимая информация в сфере персональных данных.

Прием уведомлений и информационных писем осуществляется по адресу: 241050, г. Брянск, пл. Карла Маркса, 9. Консультации по заполнению уведомлений: (4832) 64-60-20.

Регистрация в реестре – это обязательное условие, выполнение которого позволит разрешить сомнения и снять недоверие, возникающие у граждан при обработке их персональных данных. Сведения в Реестре доступны для граждан, любой желающий может найти в нем информацию об интересующем его Операторе.

В.В. Ерохин

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

В статье излагается основные методика проектирования станочного приспособления с заданными параметрами качества и надежностью. Методика проектирования станочных приспособлений основывается на обеспечении таких эксплуатационных свойств приспособления как прочность, контактная прочность, усталостная прочность, жесткость, контактная жесткость, износостойкость, трение, виброустойчивость, зажимная способность, постоянство размеров. Основным критерием рационального проектирования приспособления является обеспечение заданной точности формообразования заготовки и минимальной погрешности установки заготовки в приспособлении. Решение задачи оптимизации параметров качества станочного приспособления проводится относительно критериев минимальности времени и себестоимости обеспечения проектных параметров станочного приспособления при его изготовлении.

Ключевые слова: Станочные приспособления, качество, точность, погрешность установки, эксплуатационные свойства.

Введение. Основными характеристиками качества станочных приспособлений (СП) являются их точность, надежность и виброустойчивость [1, 2]. Все эти показатели определяются эксплуатационными свойствами рабочих поверхностей деталей СП и их соединений. Для качественного проектирования СП необходимо учитывать одновременное влияние совокупности эксплуатационных свойств СП, погрешности установки заготовки в СП, параметров надежности СП параметры качества формообразования детали.

К наиболее важным эксплуатационным свойствам относятся прочность, контактная прочность, усталостная прочность, жесткость, контактная жесткость, износостойкость, трение, виброустойчивость, зажимная способность, постоянство размеров [2].

Погрешность установки заготовки в СП зависит как от вышеназванных эксплуатационных свойств СП, так и от параметров качества базируемых и закрепляемых поверхностей обрабатываемой заготовки. При этом в погрешности установки заготовки необходимо учитывать не только погрешности, связанные с базированием, закреплением и положением заготовки, но и погрешности, вызванные вибрационными перемещениями обрабатываемой заготовки относительно режущего инструмента, а также от вибрационных колебаний контакта соединения между деталями СП или между заготовкой и установочными опорами СП.

Основными параметрами надежности СП являются его работоспособность (межремонтный период) и долговечность. Межремонтный период СП определяется относительно допустимого износа базирующих поверхностей деталей СП и затянутых стыков СП. Это позволяет не только прогнозировать время вывода СП из эксплуатации, но и экономить материальные и трудовые ресурсы на поверочный контроль работоспособности СП.

Основная часть. Основным точностным параметром станочных приспособлений является обеспечение заданной точности линейных размеров обрабатываемых поверхностей заготовки, установленной в этом приспособлении. Основным условием обеспечения заданной точности линейных размеров обрабатываемых поверхностей заготовки является заданная точность размеров заготовки, получаемых в процессе формообразования заготовки, должна удовлетворять следующему условию [3]

$$ITA > \varepsilon_y + \omega_{cp.э}, \quad (1)$$

где ITA – допуск на размер заготовки, мм; ε_y – погрешность установки заготовки, мм; $\omega_{cp.э}$ – средняя экономическая точность метода обработки, мм.

В формуле (1) ITA , $\omega_{cp.э}$ являются заданными параметрами.

Погрешность установки заготовки ε_y определяется по формулам (2, а) и (2, б) в зависимости от того, каким образом осуществляется настройка режущего инструмента:

- настройка режущего инструмента осуществляется относительно поверхности или поверхностей закрепленной заготовки (или эталона)

$$\varepsilon_y = (\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{z0}^2)^{0,5} + \varepsilon_{zu} + \varepsilon_u + \varepsilon_{yc} + \varepsilon_c + \varepsilon_{\delta\delta p} + \varepsilon_{в.к.}; \quad (2, а)$$

- настройка режущего инструмента осуществляется относительно поверхности или поверхностей установочных опор или габаритов:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{см} + \varepsilon_{zu} + \varepsilon_u + \varepsilon_{yc} + \varepsilon_c + \varepsilon_{\delta\delta p} + \varepsilon_{в.к.}, \quad (2, б)$$

где ε_{δ} – погрешность базирования, мм; ε_{z0} – основная случайная составляющая погрешности закрепления, мм; $\varepsilon_{см}$ – закономерно изменяющаяся систематическая составляющая погрешности закрепления, определяемая максимальными деформациями (в том числе и контактными) измерительной поверхности в направлении выдерживаемого технологического размера, мм; ε_{zu} – закономерно изменяющаяся систематическая составляющая погрешности закрепления, связанная с изменением формы поверхности контакта установочного элемента при его износе, мм; ε_u – составляющая погрешности положения заготовки, вызванная износом установочных элементов, мм; ε_{yc} – составляющая погрешности положения заготовки, обусловленная неточностью изготовления приспособления, мм; ε_c – составляющая погрешности положения заготовки, обусловленная неточностью установки и фиксации приспособления на станке, мм; $\varepsilon_{\delta\delta p}$ – погрешность, вызванная вибрационным перемещением обрабатываемой заготовки относительно режущего инструмента, мм; $\varepsilon_{в.к.}$ – погрешность, обусловленная вибрационными колебаниями контакта соединения между деталями приспособления или заготовкой и установочными опорами, мм.

В тех случаях, когда постоянные систематические погрешности можно полностью устранить соответствующей настройкой станка, тогда

$$\varepsilon_y = (\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{z0}^2)^{0,5} + \varepsilon_{zu} + \varepsilon_u + \varepsilon_{\delta\delta p} + \varepsilon_{в.к.}; \quad (3, а)$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{см} + \varepsilon_{zu} + \varepsilon_u + \varepsilon_{\delta\delta p} + \varepsilon_{в.к.}. \quad (3, б)$$

В большинстве технологических случаев настройку режущего инструмента производят только от базирующих поверхностей установочных опор или настроечных поверхностей габаритов (установов). В этом случае рассмотрение процесса конструирования технологической оснастки проводим относительно формулы (3, б).

Проектными параметрами при проектировании и изготовлении станочного приспособления на этапе конструкторско-технологической подготовки производства являются параметры шероховатости, волнистости, макроотклонений, твердости, поверхностной твердости, структуры материала поверхностного слоя деталей станочных приспособлений.

Рассматривая формулу (3, б) относительно проектных параметров приспособления, можно определить, что погрешности ε_{δ} , ε_{zu} и ε_u не зависят от этих параметров. То есть при проектировании приспособления в зависимости от выбранных схем базирования и закрепления, а также от заданного значения допуска на износ и распределения этого износа базирующих поверхностей установочных опор значения погрешностей ε_{δ} , ε_{zu} и ε_u являются известными. На основе этого запишем следующее условие обеспечения заданной размерной точности обрабатываемой заготовки

$$IT_A - \omega_{ср.э} - \varepsilon_{\delta} - \varepsilon_{zu} - \varepsilon_u > \varepsilon_{см} + \varepsilon_{\delta\delta p} + \varepsilon_{в.к.}. \quad (4)$$

Левую часть неравенства (4), значение которой известно, обозначим через погрешность $\Delta_{ср}$, и получим

$$\Delta_{ср} = k_m(\varepsilon_{см} + \varepsilon_{\delta\delta p} + \varepsilon_{в.к.}), \quad (5)$$

где k_m – коэффициент запаса по точности ($k_m \geq 1$).

В формуле (5) в направлении выдерживаемого технологического размера заготовки погрешность $\varepsilon_{см}$ определяется контактной и объемной жесткостью, $\varepsilon_{\delta\delta p}$ и $\varepsilon_{в.к.}$ виброустойчивостью деталей приспособления. Учитывая, что основную долю деформаций (до 80%) составляют контактные деформации, и используя континуальную модель дискретного контакта, в этом случае объемные деформации не рассматриваем в расчетах, и погрешности расчетов по формуле (5) компенсируем вводом коэффициента $k_{ж} = 1,15$ при погрешности $\varepsilon_{см}$.

$$\varepsilon_{см} = k_{ж}(y_{нл.1} + y_{нл.2} + y_{ун.1} + y_{ун.2}),$$

где y_{nl} , y_{yn} – контактные сближения сопряжения соответственно пластическое и упругое; индексы 1 и 2 относятся соответственно к двум контактирующим телам;

$$y_{nl,1} = \left(\frac{NRp_1^{V_1} Wp_1^{V_{w1}} Hp_1^{V_{M1}}}{(c'k'\sigma_m)_{\min} Atm_1 tm_{w1} tm_{M1}} \right)^{\frac{1}{V_1+V_{w1}+V_{M1}}};$$

$$y_{nl,2} = \left(\frac{NRp_2^{V_2} Wp_2^{V_{w2}} Hp_2^{V_{M2}}}{(c'k'\sigma_m)_{\min} Atm_2 tm_{w2} tm_{M2}} \right)^{\frac{1}{V_2+V_{w2}+V_{M2}}};$$

$$y_{yn,1} = 2\pi c'k'_1 \sigma_{m1} Sm_1 \frac{(1-\mu_1^2)y_{nl,1}}{E_1 Ra_1};$$

$$y_{yn,2} = 2\pi c'k'_2 \sigma_{m2} Sm_2 \frac{(1-\mu_2^2)y_{nl,2}}{E_2 Ra_2},$$

где N – нормальная нагрузка в зоне контакта двух деталей, Н; Rp , Wp , Hp – высота сглаживания профиля соответственно шероховатости, волнистости, макроотклонения, мм; V , V_w , V_M – параметр начального участка опорной кривой соответственно шероховатости, волнистости, макроотклонения; c' – коэффициент стеснения материала; k' – степень упрочнения поверхностного слоя; tm , tm_w , tm_M – относительная длина опорной линии на уровне средней линии соответственно шероховатости, волнистости, макроотклонения; Sm – средний шаг неровностей профиля шероховатости, мм; E – модуль упругости первого рода, МПа; Ra – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости, мм; A – номинальная площадь контакта под нагрузкой N , мм².

Методика определения погрешностей $\varepsilon_{обр}$ и $\varepsilon_{в,к}$ опубликована в работе [3, 4]. При этом следует заметить, что при условии рационального проектирования станочного приспособления, погрешность $\varepsilon_{обр}$ равняется нулю, если сила, сдвигающая заготовку, менее допустимой сдвигающей силы $F_{сд.дnc}$. Рациональное проектирование приспособления должно вестись по следующим основным правилам: наибольшая нагрузка должна восприниматься главной базой (установочной или двойной направляющей); коэффициент запаса по силе зажима должен быть более 2,5 и менее 8,0; допустимое давление на опоры должно быть в соответствии с ГОСТ 13440-68 (опоры плоские), ГОСТ 17778-72 (опорные шайбы), ГОСТ 4743-68 (опорные пластины), ГОСТ 12195-66 (призмы опорные), ГОСТ 12197-66 (призмы опорные с боковым креплением) не более 40 МПа; минимальный коэффициент трения скольжения в зоне контакта не менее 0,05.

$$F_{сд.дnc} = \frac{p_{дnc} A f_{\varepsilon}}{k}, \text{ Н,}$$

где $p_{дnc}$ – допустимая нагрузка на опору, МПа; f_{ε} – эффективный коэффициент трения [3]; k – коэффициент запаса по силе зажима [4].

Если проанализировать градиенты влияний проектных параметров качества приспособлений на составляющие показатели точности станочного приспособления на этапе его конструирования, то можно заключить, что выбор или расчет проектных параметров носят многокритериальный характер (относительно эксплуатационных свойств), что обязывает конструктора технологической оснастки решать оптимизационные задачи по определению оптимальных параметров качества приспособления.

Для расчета оптимальных, эффективных и рациональных проектных параметров качества станочного приспособления и его деталей необходимо иметь набор математических зависимостей между параметрами точности приспособления и его проектными параметрами, а также между проектными параметрами качества приспособления и трудовыми затратами.

При этом под оптимальными проектными параметрами будем понимать параметры, значения которых дискретны и определяют заданные параметры точности приспособления (в нашем случае $\Delta_{ср}$) при минимальных значениях трудовых затрат на изготовление приспособления или его деталей.

Эффективные параметры – это параметры, которые определяют минимумы значений Δ_{cp} при непрерывных и дифференцируемых значениях проектных параметров.

Рациональные параметры – это параметры, которые определяют минимумы значений Δ_{cp} при дискретных и не дифференцируемых значениях проектных параметров. Так при нормировании шероховатости ее параметры Ra , Rz и R_{max} являются дискретными величинами, согласно соответствующим размерным рядам.

Точность обеспечения заданных параметров качества обрабатываемой заготовки зависит не только от погрешности установки заготовки в СП, но и от параметров качества деталей СП, а также от эксплуатационных свойств СП, в первую очередь от виброустойчивости, зажимной способности, контактной жесткости и износостойкости.

Такое переплетение взаимосвязанных характеристиками качества СП приводит к решению оптимизационной задачи с большим количеством неизвестных значений при ограниченном количестве математических формализаций, описывающих взаимосвязь требуемых параметров качества обрабатываемых поверхностей заготовки с параметрами качества СП. При этом задача оптимизации сталкивается с непрерывными и дискретными параметрами, такими как параметры шероховатости и волнистости. В этом случае при решении задач оптимизации наиболее рационально все непрерывные параметры качества, такие как предел прочности материала, твердость, остаточные напряжения и др., при водить к дискретным. В этом случае можно предложить: параметры прочности (предел прочности и условный предел текучести материала) и структуры материала изменяются по ряду R80 (ГОСТ 8032-84); шаговые параметры макроотклонений, волнистости по ряду R10; значения относительных опорных длин профиля геометрических составляющих рельефа поверхности по ряду R40. После приведения всех переменных параметров качества СП к дискретным значениям можно применить положения дискретной математики к поиску оптимального решения, например, относительно критерия минимальности времени и себестоимости обеспечения проектных параметров СП, при одновременном соблюдении условия обеспечения заданной точности и работоспособности СП.

Для решения задачи оптимизации параметров качества СП относительно критерия минимальности времени и себестоимости обеспечения проектных параметров СП необходима база данных математических формализаций, определяющих взаимосвязь параметров качества СП с режимами их обеспечения резанием. В этом случае необходимо ввести экспертный параметр оптимальности [6]

$$Kx_{ji} = (Tx_j \cdot Cx_j)_i,$$

где Kx_{ji} – экспертный параметр оптимальности по проектному параметру x_j (например, $x_1 = Ra$, $x_2 = Wz$ и т.д.) руб.·ч; Tx_j – время обеспечения проектного параметра детали СП, ч.; Cx_j – себестоимость обеспечения проектного параметра детали СП, руб.; i – значение дискретно изменяемого проектного параметра x_j .

Принимая вид зависимости между проектными параметрами качества СП и трудовыми затратами, необходимыми для их обеспечения, экспоненциальный, экспертный параметр оптимальности имеет вид

$$Kx_{ji} = \frac{Kx_{j.\varepsilon m1} \ln\left(\frac{x_{j.\varepsilon m1}}{x_{j.\varepsilon m2}}\right) + (Kx_{j.\varepsilon m1} - Kx_{j.\varepsilon m2}) \ln\left(\frac{x_{ji}}{x_{j.\varepsilon m2}}\right)}{\ln\left(\frac{x_{j.\varepsilon m1}}{x_{j.\varepsilon m2}}\right)},$$

где $Kx_{j.\varepsilon m1}$, $Kx_{j.\varepsilon m2}$ – экспертные параметры оптимальности по проектному эталонному параметру x_j соответственно при первом и втором эталонных значениях x_j (определяются из условий конкретного производства изготовления приспособлений или по методу экспертных оценок) руб.·ч; $x_{j.\varepsilon m1}$, $x_{j.\varepsilon m2}$ – эталонные значения проектных параметров по которым определяются соответствующие им значения Tx_j и Cx_j , тем самым и $Kx_{j.\varepsilon m1}$, $Kx_{j.\varepsilon m2}$; x_{ji} – проектный параметр качества приспособления при каком-либо значении i .

Эффективные параметры определяются путем решения систем уравнений частных производных, приравненных к нулю, от переменных уравнений, определяющих взаимосвязь характеристик точности приспособления Δ_{cp} с проектными параметрами. Также эти параметры можно определить с использованием метода наискорейшего спуска.

Рациональные параметры могут быть определены только при использовании генетических алгоритмов.

Оптимальные параметры определяются по следующей методике.

1. Формируются ряды проектных параметров (Ra – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости; S_m – средний шаг неровностей профиля шероховатости; t_m – относительная опорная длина профиля шероховатости на уровне средней линии; v – параметр начального участка опорной кривой; Wz – среднее арифметическое значение из пяти значений высоты волнистости; S_{mw} – средний шаг волнистости; H_{max} – максимальное макроотклонение формы и расположения поверхности).

Числовые параметры Ra (мкм) изменяются в соответствии с ГОСТ 2789-2003 по ряду R10 со знаменателем геометрической прогрессии 1,25: 0,008; 0,010; 0,012; 0,016; 0,020; 0,025; 0,032; 0,040; 0,050; 0,063; 0,080; 0,100; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100.

Числовые шаговые параметры S_m (мм) в соответствии с ГОСТ 2789-2003 изменяются по ряду R10: 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,006; 0,008; 0,010; 0,012; 0,016; 0,020; 0,025; 0,032; 0,040; 0,050; 0,063; 0,080; 0,100; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5.

При технологическом обеспечении параметров шероховатости Ra и S_m параметр t_m находится в пределах 0,30...0,70 со знаменателем геометрической прогрессии 1,11 (надежность обеспечения параметра для точения, шлифования и фрезерования в пределах 90%). В этом случае числовые значения параметра t_m изменяются по ряду R40 (знаменатель геометрической прогрессии 1,06) в соответствии с ГОСТ 8032-84. Также параметры опорных кривых волнистости и макроотклонений аналогичны по геометрической сущности параметрам шероховатости. Отсюда следует, что параметры t_m могут принимать следующие числовые значения: 0,300; 0,315; 0,335; 0,355; 0,375; 0,400; 0,425; 0,450; 0,475; 0,500; 0,530; 0,560; 0,600; 0,630; 0,670; 0,710.

Параметр v в зависимости от методов обработки резанием заготовок находится в пределах 1,05...2,4 и изменяется с минимальным знаменателем геометрической прогрессии 1,027. По ряду R80, имеющий знаменатель геометрической прогрессии 1,03, числовые значения параметра v изменяются как: 1,000; 1,030; 1,060; 1,09; 1,12; 1,15; 1,18; 1,20; 1,25; 1,30; 1,32; 1,36; 1,40; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60; 1,65; 1,70; 1,75; 1,80; 1,85; 1,9; 1,96; 2,00; 2,06; 2,12; 2,18; 2,24; 2,30; 2,36; 2,4.

Числовые параметры волнистости Wz (мкм) нормируются согласно РС 3951-73, учитывая ближайший и совпадающий ряд предпочтительных чисел R10, имеем: 0,100; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100.

Между высотными и шаговыми параметрами волнистости при некоторых видах механической обработки существует детерминированная зависимость, и тем самым можно утверждать, что числовые значения параметра S_{mw} (мм) изменяются по ряду R10 в пределах 0,2...15 мм: 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0.

Базовый ряд числовых значений допусков формы и расположения поверхностей и тем самым параметра H_{max} (мкм) нормируется ГОСТ 24643-81 в виде ряда: 0,1; 0,12; 0,16; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 12; 16; 20; 25; 40; 50; 60; 80; 100; 120; 160; 200; 250; 400; 500; 600; 800; 1000; 1200; 1600; 2000; 2500; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 12000; 16000.

Параметры прочности (предел прочности и условный предел текучести материала) изменяются по ряду R80 и т.д.

2. Проводится ранжирование параметров x_{ji} относительно возрастающего параметра Kx_{ji} в вектор-столбец.

3. Методом рекурсионного перебора, начиная с элемента вектора-столбца, имеющего наименьшее значение параметра Kx_{ji} , определяются первые (оптимальные) значения параметров x_{ji} , которые удовлетворяют требованиям точности приспособления.

Данная методика по определению оптимальных проектных параметров качества приспособления позволяет снизить временные затраты на расчет этих параметров в 100...800 раза по сравнению с итерационным процессом, построенным без ранжирования проектных параметров по критерию Kx_{ji} .

Что же касается нахождения эффективных и рациональных проектных параметров качества приспособления, то при числе проектных переменных более шести и, учитывая нелинейные их взаимосвязи с параметрами точности приспособления, этот процесс является очень затратным по времени. Например, расчет проектных параметров Ra , S_m , t_m , Wz , S_{mw} , H_{\max} , σ_m , σ_v (предел прочности на сжатие), μ (коэффициент Пуассона), HB (твердость материала), $D_{кр}$ (размер кристаллита (зерна) материала), ρ_d (плотность дислокационных петель материала), $\sigma_{ост}$ (остаточные напряжения поверхностного слоя), $H_{\mu 0}$ (микротвердость поверхностного слоя) занимает порядка 125,2 часа по расчету эффективных и 14,3 часа рациональных проектных параметров качества приспособления. При этом достоверности найденных значений этих параметров находится в пределах от 60 до 88% для различных алгоритмов наискорейшего спуска и 70...94% при использовании генетических алгоритмов. Расчеты проводились в математических программах с математическим ядром Maple и Mathematica.

Заключение. Такой подход к проектированию СП требует наличия автоматизированных систем на базе математических процессоров, пополняемой базы знаний в области эксплуатационных свойств СП в виде математических зависимостей, а также базы знаний взаимосвязей параметров качества деталей СП с режимами резания. Решениями такого проектирования являются не только параметры качества СП, которые необходимо отразить в конструкторско-технологической документации на СП, но и режимы обработки деталей СП их обеспечивающие с минимальной себестоимостью и максимальной производительностью.

Список литературы

1. 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. 20-24. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-05.pdf>.

2. Ерохин, В.В. Инженерия поверхностей деталей станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 2. – С. 9-15. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-01-03.pdf>.

3. Ерохин, В.В. Динамический эффективный коэффициент трения при вибрации станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Вестник машиностроения. – 2006. - №11. – С. 45-48.

4. Ерохин, В.В. Виброустойчивость технических объектов / В.В. Ерохин, В.Б. Ильицкий // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. - 2007. – №1. – С. 44-47.

5. Ильицкий, В.Б. Проектирование технологической оснастки / В.Б. Ильицкий, В.В. Ерохин В.В. – Брянск: БГТУ, 2006. – 123 с.

6. Ерохин, В.В. Метод решения оптимизационной задачи с дискретными и непрерывными переменными / В.В. Ерохин // Вестник Брянского государственного университета. – 2012. - №4. – С.16-19.

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.

BASIC ASPECTS DESIGN OF MACHINE-TOOL ADAPTATIONS

V.V. Erokhin

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

In article the technique of design of the machine-tool accessories with the set parameters of quality and reliability is stated the main. The technique of design of machine-tool accessories is based on ensuring such operational properties of the machine-tool accessories as durability, contact durability, fatigue durability, rigidity, contact rigidity, wear resistance, friction, vibrostability, tightening ability, constancy of the sizes. The main criterion of rational design of the machine-tool accessories is ensuring the set accuracy of a shaping of preparation and the minimum error of installation of preparation in the adaptation. The solution of a problem of optimization of parameters of quality of the machine-tool accessories is passed concerning criteria of a minimality of time and cost of ensuring design parameters of the machine-tool accessories at its production.

Keywords: machine-tool accessories, quality, accuracy, installation error, operational properties.

References

1. Erokhin V.V., Kamynin V.V. The effect of stress relaxation on the parameters of machining and inspection tooling, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 20-24. Available: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-05.pdf>.
2. Erokhin V.V. Engineering of surfaces of details of machine tool adaptations, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 9-15. Available: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-03.pdf>.
3. Erokhin V.V. The dynamic effective coefficient of friction at vibration machine-tool adaptations, *Russian Engineering Research*, 2006, No.11, pp. 45-48.
4. Erokhin V.V., Ilitskiy V.B. Vibration resistance of technical objects, *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii*, 2007, No.1, pp. 44-47.
5. Ilitskiy V.B., Erokhin V.V. *Proektirovanie tekhnologicheskoy osnastki* [Design of machining attachments]. Bryansk, BSTU, 2006. 123 p.
6. Erokhin V.V. A method for solving optimization problems with discrete and continuous variables, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, No.4, pp. 16-19.

Author' information

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

УДК 621.86

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРУГОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ В ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ СТРЕЛ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ЗАЗОРАХ

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

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

В статье выполнен анализ динамических процессов в цилиндрических шарнирах с повышенными зазорами для шарнирно-сочлененных грузовых стрел крано-манипуляторных установок мобильных машин при эксплуатации. Предложена конструкция демпферного устройства для шарнирных соединений, которое создает тормозящее усилие упругого сопротивления смещению шарнирного пальца в пределах повышенного зазора. Рассмотрен механизм действия демпферного устройства и выполнен анализ эффективности воздействия демпферного устройства на снижение уровня динамического напряженного состояния в элементах металлоконструкции грузовой стрелы в зависимости от величины зазора и жесткости демпферного устройства. Демпферное устройство с упругими амортизирующими элементами существенно снижает дополнительные ударные нагрузки в момент выбора зазора в шарнире, замедляют рост зазора в шарнирном соединении, ограничивают величину зазора заданным значением, которое не должно быть превышено в течение всего срока службы шарнирного соединения независимо от интенсивности его нагруженности.

Ключевые слова: установка крано-манипуляторная, машина мобильная, шарнир цилиндрический, зазор, нагрузка динамическая, устройство демпферное, элемент упругий амортизирующий, напряженное состояние

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

В процессе эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин в узлах соединения смежных секций шарнирно-сочлененных грузоподъемных стрел крано-манипуляторных установок в проушинах цилиндрических шарниров наблюдается прогрессирующее во времени увеличение диаметра отверстий относительно своего номинального значения вследствие их ударно-фрикционного изнашивания [1].

В нормативно-распорядительной документации Ростехнадзора России, регламентирующей порядок экспертного обследования технического состояния стреловых кранов и кранов-манипуляторов [2, 3], следует обращать особое внимание на наличие такого дефекта, как люфт шарнирных соединений, связанный с выработкой отверстий в проушинах. Аналогичное требование предъявляется и при проведении технического освидетельствования грузоподъемных машин [4, 5]. Предельно допустимое увеличение диаметра отверстий относительно своего номинального размера по чертежу, при достижении которого необходим ремонт и восстановление шарниров, составляет 2 мм при номинальном диаметре отверстия до 50 мм включительно, 3 мм – при номинальном диаметре от 50 до 100 мм включительно и 4 мм – при номинальном диаметре более 100 мм [3].

Наличие повышенных зазоров (люфта) в отверстиях цилиндрических шарниров узлов соединения смежных секций грузоподъемных стрел является источником дополнительных ударных динамических нагрузок при взаимном перемещении секций, оказывающих негативное воздействие на импульсное повышение уровня напряженно-деформированного состояния всей металлоконструкции крана-манипулятора, а также (в случае отсутствия гибкого подвеса) и на транспортируемый груз [6-8]. Повышенные зазоры в сочетании с неравномерным износом отверстий проушин и шарнирных пальцев также приводят к нарушению кинематической точности шарнирно-сочлененных грузоподъемных стрел и снижают точность позиционирования грузозахватного (рабочего) органа крано-манипуляторной установки. Возникающие при этом значительные инерционные силы непрогнозируемого направления могут являться одной из основных причин трещин в сварных швах и основном материале стреловой металлоконструкции.

Механизм формирования дополнительной динамической нагруженности крано-манипуляторных установок при наличии повышенных зазоров в цилиндрических шарнирах и пе-

речень конструктивных и режимных факторов, качественно и количественно характеризующих этот механизм, могут быть выявлены при анализе кинематики элементов шарнирного соединения при отработке движений звеньев грузовой стрелы с учетом изменения их размеров во время эксплуатации крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин

Конструкция узла соединения смежных секций шарнирно-сочлененной грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки (рис. 1) образована двумя парами проушин 2 и 4, каждая из которых закреплена на конце металлоконструкции одной из соединяемых смежных секций стрелы: проушины 2 - на секции 1 с помощью сварных швов 7, проушины 4 - на секции 5 с помощью сварных швов 8. Проушины изготовлены из толстостенного листового проката и имеют соосные отверстия для установки в них шарнирного пальца 3 для создания цилиндрического шарнирного соединения. Приводной гидроцилиндр 6 обеспечивает взаимный поворот смежных секций вокруг оси шарнира. Для предохранения поверхностей контактирования шарнирного пальца и отверстий проушин от попадания загрязнений (пыли, влаги, абразивных частиц и т.п.) и возможности их смазки устанавливаются крышки – глухие 9 и с центральным отверстием 10 для прохождения шарнирного пальца.

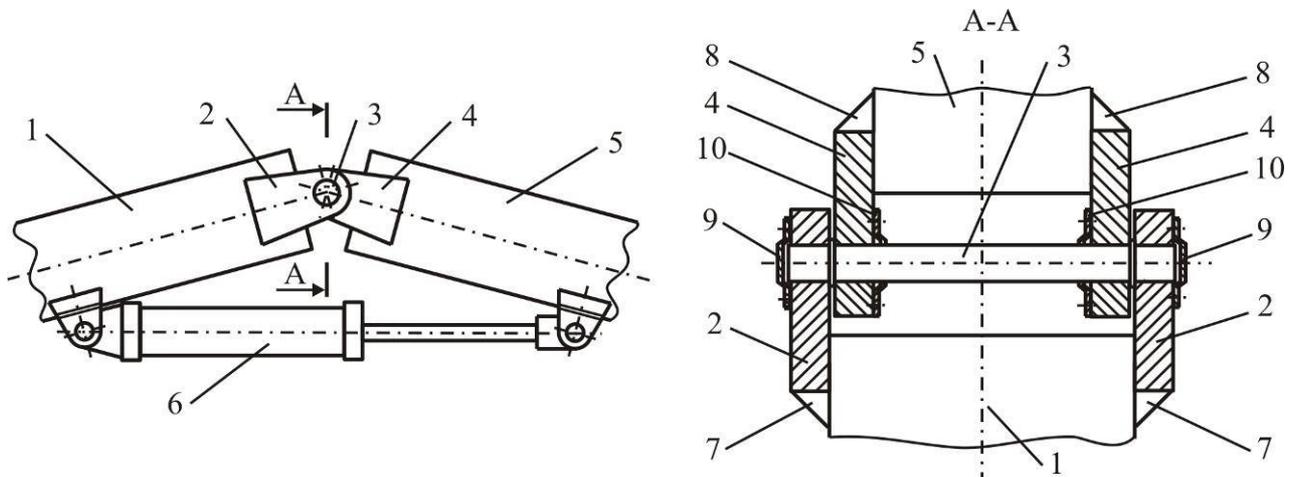


Рис. 1. Конструкция узла соединения смежных секций шарнирно-сочлененной грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки

С течением времени эксплуатации крано-манипуляторной установки из-за процессов ударно-фрикционного изнашивания поверхности отверстий проушин в условиях соударения и проскальзывания между ними и поверхностью шарнирного пальца 3 при действии высокого контактного давления, обусловленного, в первую очередь, весом транспортируемого груза, происходит постепенная выработка отверстий проушин, т.е. увеличение их диаметра [1]. Как результат, в цилиндрическом шарнирном соединении появляются зазоры (рис. 2):

- δ_{w1} – между поверхностью отверстия проушины 2 и поверхностью шарнирного пальца;
- δ_{w2} – между поверхностью отверстия проушины 4 и поверхностью шарнирного пальца.

При наличии указанных зазоров δ_{w1} и δ_{w2} появляется возможность взаимного перекоса вертикальных плоскостей, в которых совершается движение смежных секций относительно исходного нейтрального положения 0-0 (рис. 2). Диапазон значений перекоса секции 5 относительно секции 1 характеризуют крайние положения I-I и II-II, причем крайнее положение I-I обусловлено опиранием проушин 4 на шарнирный палец в крайних точках Γ_1 и Γ_4 (рис. 2), а крайнее положение II-II – опиранием в крайних точках Γ_2 и Γ_3 . В процессе совершения относительного поворотного движения смежных секций грузоподъемной стрелы с помощью приводного гидроцилиндра в условиях естественного раскачивания транспортируемого груза будет происходить попеременное практически мгновенное изменение пар точек опирания проушин 4 на шарнирный палец, сопровождающееся ударом.

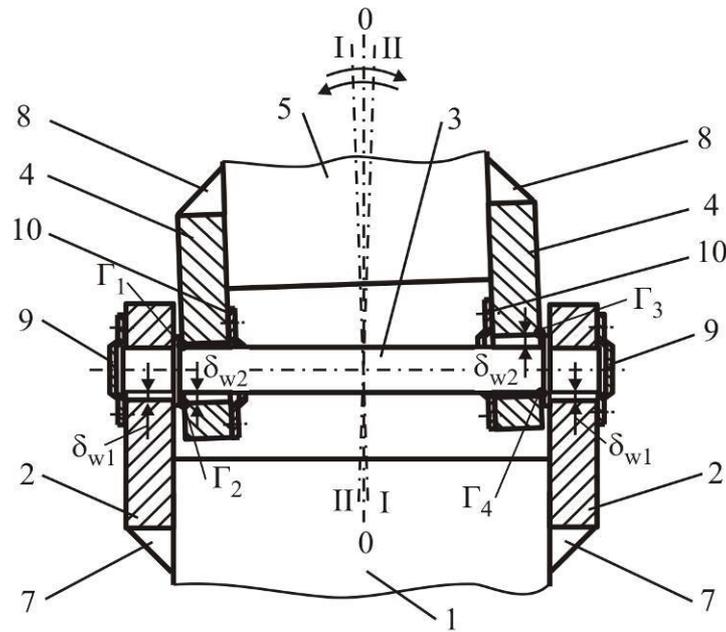


Рис. 2. Схема формирования относительного перекоса смежных секций стрелы при наличии повышенных зазоров в цилиндрическом шарнире

С целью снижения уровня динамических ударных нагрузок на транспортируемый груз и металлоконструкцию крано-манипуляторной установки в процессе эксплуатации в [9] была предложена и обоснована конструкция специального демпферного устройства с упругими амортизирующими элементами для шарнирных соединений смежных секций грузоподъемных стрел (рис. 3). Принцип действия основан на том, что упругие амортизирующие элементы оказывают тормозящее действие на перемещение шарнирного пальца за счет возникновения силы упругого сопротивления, величина которой возрастает пропорционально величине смещения шарнирного пальца из положения равновесия, а направление строго противоположно направлению смещения. Для реализации указанного принципа шарнирный палец выполняется удлиненным за счет хвостовика 11. На хвостовик устанавливается металлическое кольцо 12, которое имеет скользящую посадку, обеспечивающую возможность его свободного скольжения по поверхности хвостовика. К наружной поверхности металлического кольца по периметру одним своим концом неподвижно крепятся упругие амортизирующие элементы, представляющие собой пружины растяжения-сжатия 13 равной длины. Вторым концом эти пружины неподвижно крепятся к втулке 14, которая с помощью кругового сварного шва 15 неподвижно закреплена на проушине 4 секции 5 грузоподъемной стрелы. Пружины растяжения-сжатия располагаются радиально по отношению к продольной оси шарнирного пальца. Для предохранения поверхности контактирования хвостовика и металлического кольца 12, а также пружин растяжения-сжатия от загрязнений (пыли, влаги, абразивных частиц и т.п.) и возможности их смазки устанавливается глухая крышка 16, которая с помощью разъемного болтового соединения закрепляется на втулке 14. Внутренняя полость В заполняется пластичным смазочным материалом - консистентной смазкой.

На рис. 4 показана схема функционирования демпферного устройства. В начальный период эксплуатации крано-манипуляторной установки, когда зазоры δ_{w1} и δ_{w2} (рис. 2) соответствуют своим номинальным значениям согласно чертежа, т.е. являются практически незначимыми, хвостовик шарнирного пальца свободно вращается внутри металлического кольца, не оказывая на него никакого давления. В исходном положении относительно хвостовика металлическое кольцо удерживается упругими амортизирующими элементами (пружинами растяжения-сжатия), имеющими равную длину.

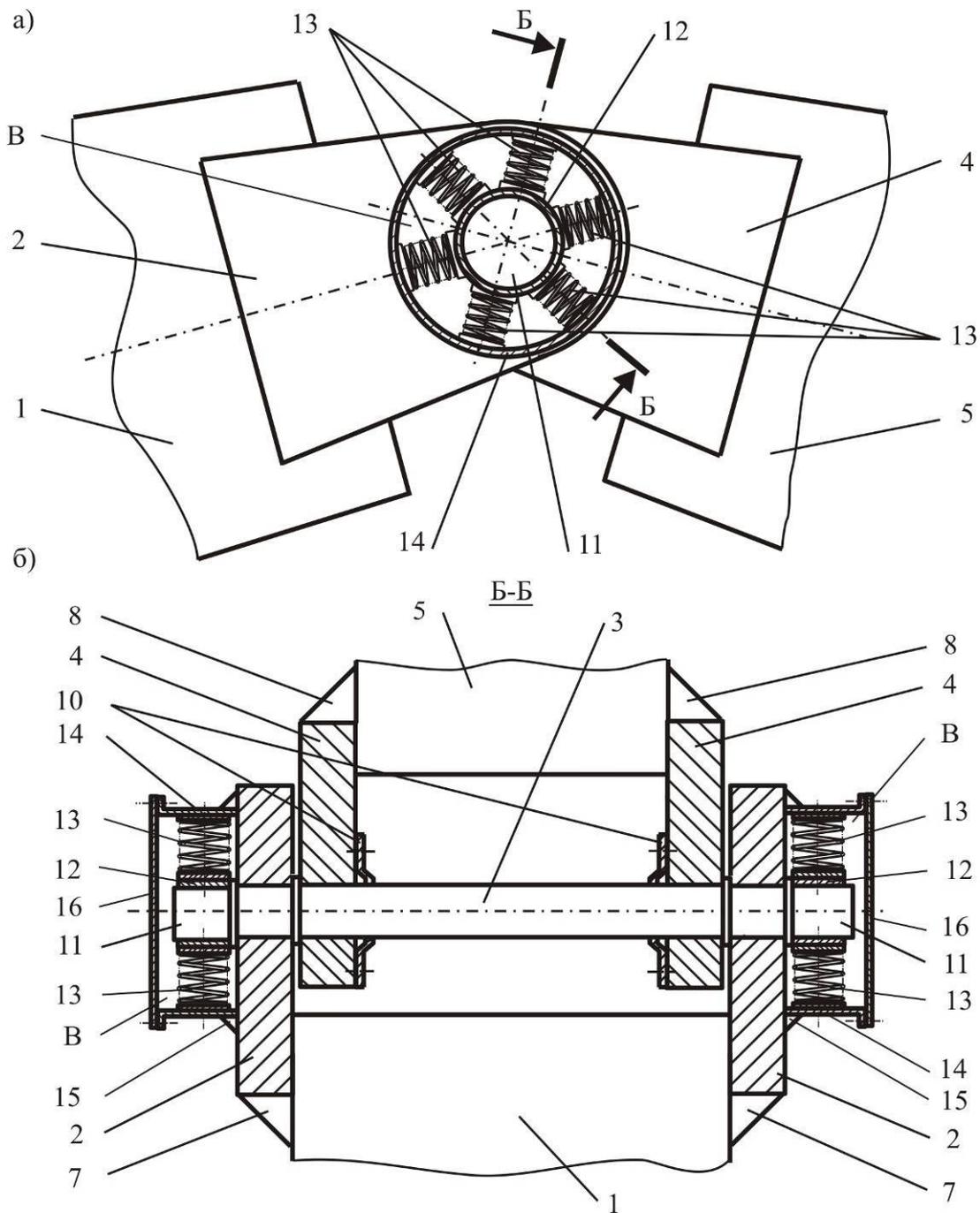


Рис. 3. Конструкция шарнирного узла соединения смежных секций грузоподъемной стрелы с установленным упругим демпферным устройством [11]:
а – продольный разрез; б – поперечный разрез

По мере формирования зазоров δ_{w1} и δ_{w2} эксплуатация крано-манипуляторной установки начинает сопровождаться перекосом при поворотном движении секций относительно продольной оси шарнирного соединения и ударными явлениями, связанными с попеременным практически мгновенным изменением пар точек опирания проушин 4 на шарнирный палец. При перекосе любой из смежных секций, например, секции 5 относительно исходного нейтрального положения 0-0 (рис. 2) происходит относительное смещение хвостовика шарнирного пальца. На рис. 4 исходное нейтральное положение поперечного сечения хвостовика показано тонкими линиями с центром сечения в точке O_0 , а смещенное положение вследствие перекоса до крайнего положения I-I – основными линиями с центром смещенного сечения в точке O_I .

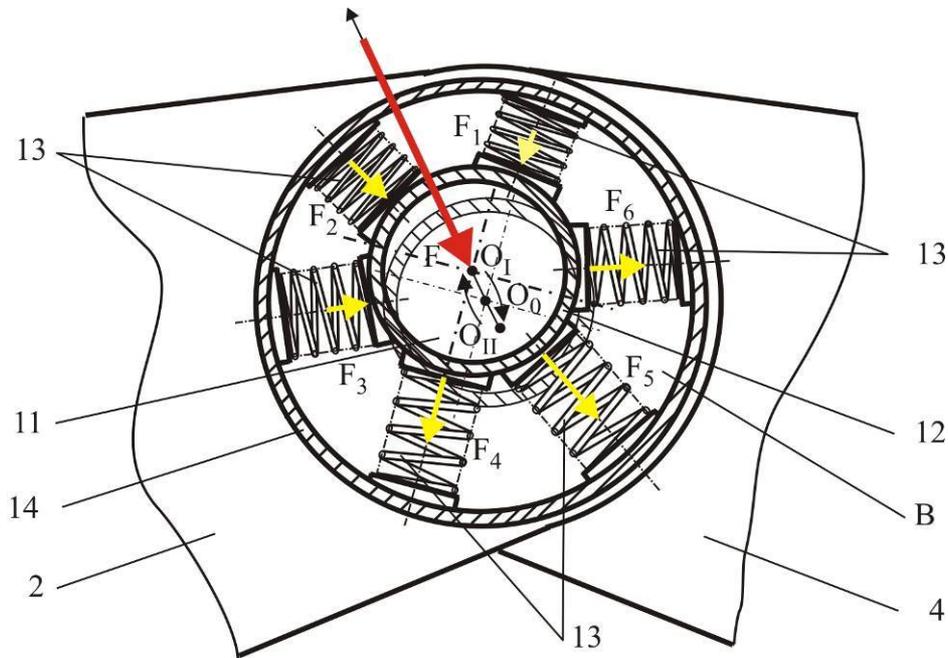


Рис. 4. Схема функционирования упругого демпферного устройства

Таким образом, при перекосе секции стрелы поперечное сечение хвостовика смещается по линии O_0-O_I . Вместе с его смещением происходит соответствующее смещение металлического кольца. Так как втулка 14, неподвижно закрепленная на поверхности проушины 4 секции 5 грузоподъемной стрелы, при этом не смещается, то происходит деформация пружин растяжения-сжатия: часть этих пружин, располагающихся в направлении смещения хвостовика по линии O_0-O_I , испытывает сжатие, а другая часть, располагающихся в противоположном направлении смещения хвостовика по линии O_0-O_I , - растяжение. Во всех деформированных пружинах возникают упругие усилия F_1, F_2, \dots, F_6 (рис. 4). Усилия в отдельных пружинах пропорциональны их жесткости и величине их сжатия (или растяжения) относительно исходной длины. Усилия, возникающие в отдельных пружинах растяжения-сжатия, суммируются, создавая результирующую силу упругого сопротивления F , направленную против направления смещения хвостовика по линии O_0-O_I и передающуюся посредством металлического кольца на хвостовик и шарнирный палец в целом, оказывая на последний тормозящее воздействие. При изменении пары точек опирания проушин 4 на шарнирный палец, т.е. при переходе из крайнего положения $I-I$ в крайнее положение $II-II$, поперечное сечение хвостовика смещается по линии $O_I-O_0-O_{II}$. При этом аналогичным образом возникает результирующая сила упругого сопротивления F , тормозящая смещение хвостовика по линии $O_I-O_0-O_{II}$.

Возникновение тормозящей силы F , величина и направление действия которой соответствуют величине и направлению смещения шарнирного пальца, вызывает снижение величины ударного ускорения и, как следствие, снижение уровня дополнительных ударных нагрузок и напряжений в металлоконструкциях смежных секций, чем и достигается положительный результат от использования демпферного устройства [9].

Для количественной оценки эффективности функционирования демпферного устройства предложенной конструкции была рассмотрена работа гидравлической крано-манипуляторной установки мобильной энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов [2, 10]. Моделировались динамические процессы, обусловленные наличием повышенного зазора (величиной до $\delta_{w\max} = 2$ мм) в цилиндрическом шарнирном соединении рукояти крано-манипуляторной установки с грузозахватным органом при повороте колонны с грузом номинального веса $G_n = 7,5$ кН из состояния покоя с постоянным угловым ускорением $\ddot{q}_1 = 0,16$ рад/с² (9 град/с²) в пределах угла поворота $\Delta q_1 = 90^\circ$, т.е. в течение промежутка времени $\Delta t = 4,43$ с (рис. 5).

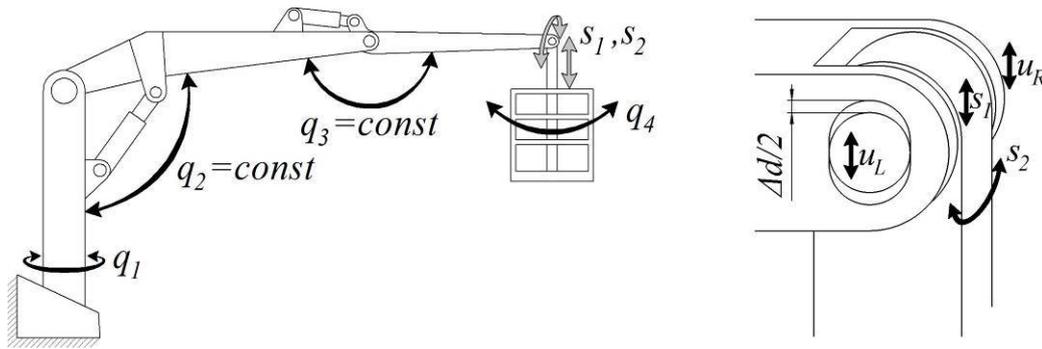


Рис. 5. Расчетная схема трехзвенной крано-манипуляторной установки энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов с повышенным зазором в шарнире рукоятки [8]

Для проведения необходимых динамических расчетов был использован программный комплекс KVCrane Dynamics [11], базирующийся на ранее разработанных математических моделях и универсальных методиках динамического анализа и определения напряженно-деформированного состояния металлоконструкций гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин [12-15]. Для визуализации результатов расчета применялся программный комплекс KVCrane Graphics [16].

Предварительный этап исследования включал проведение динамического анализа работы шарнирного соединения в условиях отсутствия демпферного устройства, т.е. для случая $C = 0$. Исследовалось влияние таких геометрических и режимных параметров, как величина зазора δ_w и вес транспортируемого груза G на количественные характеристики законов изменения во времени величин смещения центра торцевого сечения шарнирного пальца из исходного положения $u_R(\tau)$ и его ускорения $a(\tau)$, а также величин напряжений в наиболее нагруженных сечениях металлоконструкций стрелы $\sigma_2(\tau)$ и рукоятки $\sigma_3(\tau)$ крано-манипуляторной установки.

На рис. 6 приведены графики названных законов для максимально допустимого зазора в шарнире $\delta_{w\max} = 2$ мм при номинальном весе перемещаемого груза. Для других значений зазора и веса перемещаемого груза качественный характер графиков аналогичен приведенным на рис. 6.

Из приведенных графиков $\sigma_2(\tau)$ и $\sigma_3(\tau)$ видно, что смещение торцевого сечения шарнирного пальца в пределах имеющегося зазора не оказывает влияния на напряженно-деформированное состояние металлоконструкций звеньев крано-манипуляторной установки. Однако в момент соударения шарнирного пальца с поверхностью проушины скачкообразно возрастают как напряжения в звеньях, так и ускорение его смещения a . Процесс соударения имеет достаточно сложный колебательный характер: на графиках $a(\tau)$, $\sigma_2(\tau)$ и $\sigma_3(\tau)$ наблюдаются несколько (6...8) пиков, причем один из них, наиболее значительный, характеризуется относительно большой длительностью (до 80...90% всей продолжительности соударения), а длительность остальных – на 1...2 порядка меньше. При соударении также наблюдается весьма кратковременная колебательная динамическая разгрузка звеньев, обусловленная снижением величин напряжений σ_2 и σ_3 ниже их стационарных значений на $\Delta\sigma_2$ и $\Delta\sigma_3$ соответственно.

На рис. 7 и 8 приведены графики, характеризующие влияние изменения зазора δ_w на основные количественные характеристики исследованных законов $u_R(\tau)$, $a(\tau)$, $\sigma_2(\tau)$ и $\sigma_3(\tau)$. В их числе рассматривались следующие параметры:

- частота соударения шарнирного пальца с поверхностью проушины

$$f_w = 1/T_{imp};$$

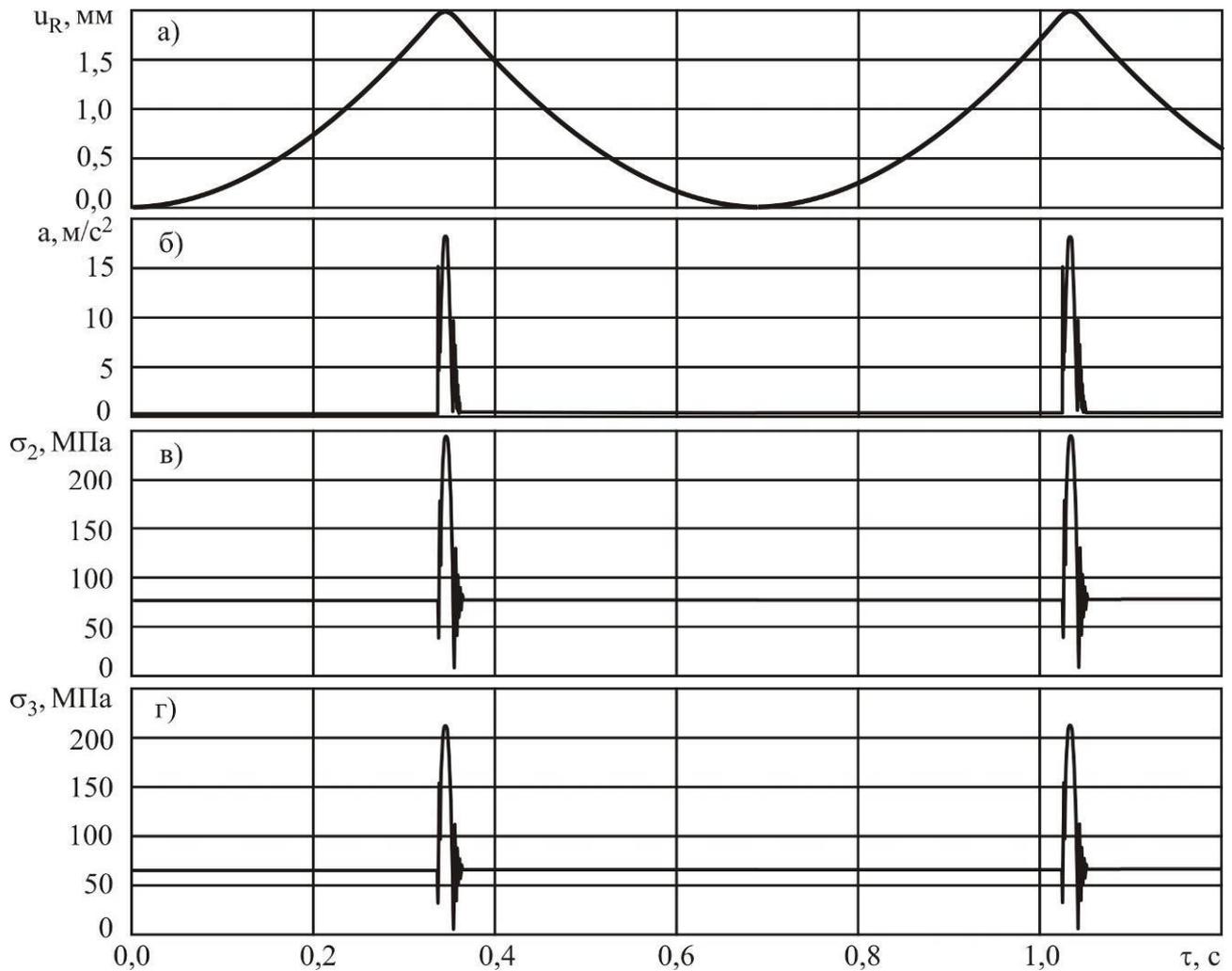


Рис. 6. Графики изменения во времени (в течение первых 1,2 с):
 а – смещения торцевого сечения шарнирного пальца; б – линейного ускорения смещения шарнирного пальца; в – напряжения в наиболее нагруженном сечении стрелы;
 г - напряжения в наиболее нагруженном сечении рукояти

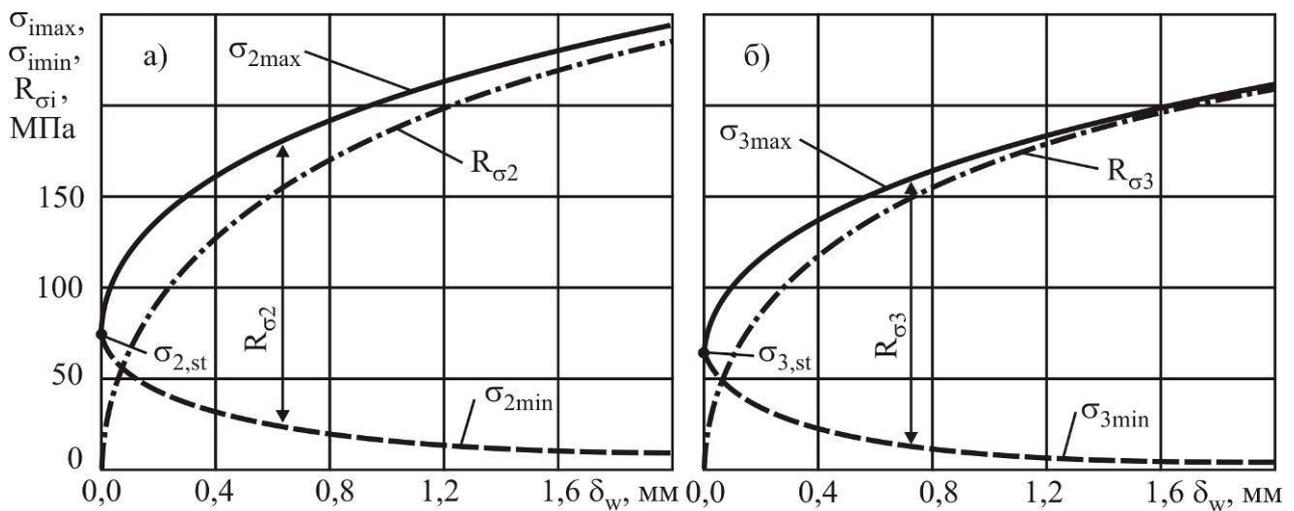


Рис. 7. Влияние величины зазора в шарнирном соединении на граничные значения и размах динамических напряжений при номинальном весе груза: а – в стреле; б – в рукояти

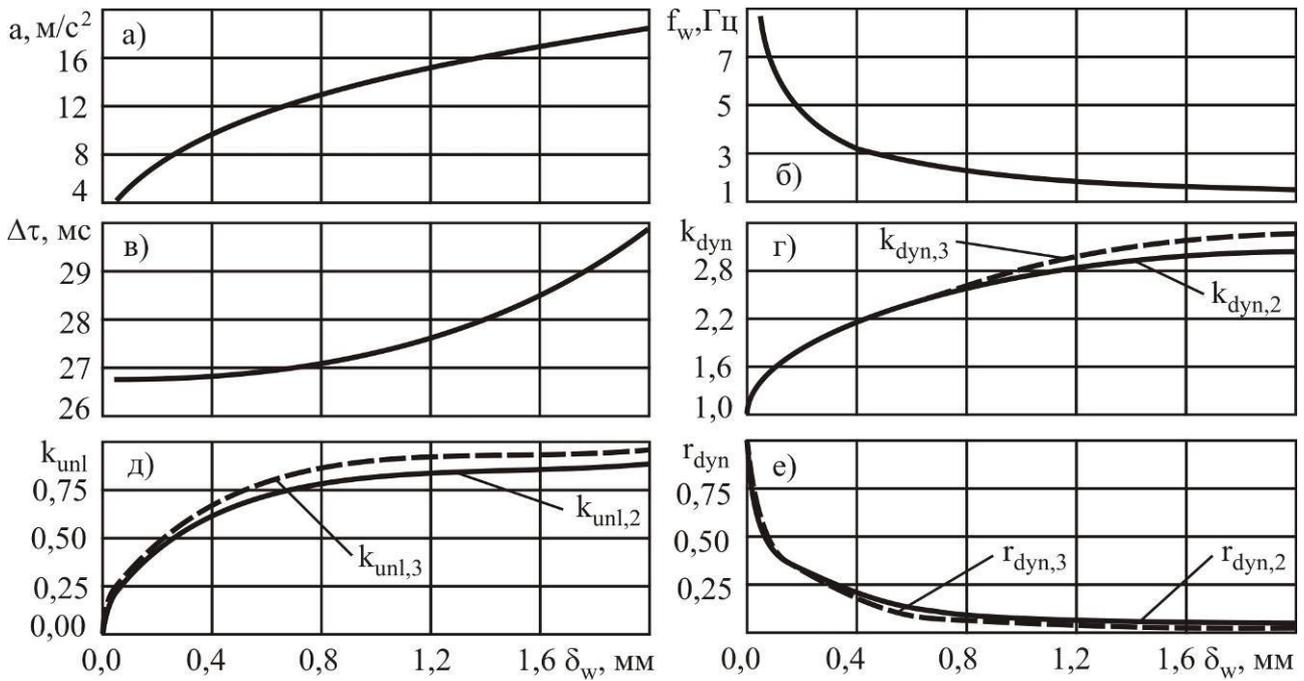


Рис. 8. Влияние величины зазора в шарнирном соединении на динамические характеристики (при номинальном весе груза):

а – максимальное ускорение в момент соударения шарнирного пальца a ; б – частота соударения шарнирного пальца f_w ; в – продолжительность соударения $\Delta\tau$; г – коэффициент динамичности k_{dyn} ; д – коэффициент динамической разгрузки k_{unl} ; е – коэффициент асимметрии динамического напряженного состояния r_{dyn}

- продолжительность соударения шарнирного пальца с поверхностью проушины $\Delta\tau$;
- максимальное значение линейного ускорения смещения шарнирного пальца при его соударении с поверхностью проушины a ;
- максимальные значения динамических напряжений в наиболее нагруженных сечениях металлоконструкции стрелы σ_{2max} и рукояти σ_{3max} крано-манипуляторной установки;
- минимальные значения динамических напряжений в наиболее нагруженных сечениях металлоконструкции стрелы σ_{2min} и рукояти σ_{3min} крано-манипуляторной установки;
- коэффициент динамичности

$$k_{dyn,i} = \sigma_{i,max} / \sigma_{i,st},$$

характеризующий степень отклонения динамического напряженного состояния при соударении от стационарного напряженного состояния;

- коэффициент динамической разгрузки

$$k_{unl,i} = \Delta\sigma_i / \sigma_{i,st},$$

характеризующий степень динамического снижения уровня стационарного напряженного состояния при соударении шарнирного пальца с поверхностью проушины шарнира;

- коэффициент асимметрии динамического напряженного состояния

$$r_{dyn,i} = (\sigma_{i,st} - \Delta\sigma_i) / k_{dyn,i} \sigma_{i,st} = (1 - k_{unl,i}) / k_{dyn,i};$$

- размах динамических напряжений

$$R_{\sigma i} = \sigma_{i,max} - \sigma_{i,min} = (k_{dyn,i} + k_{unl,i}) \sigma_{i,st}$$

где T_{imp} - промежуток времени между двумя соударениями; $\sigma_{i,st}$ - напряжение в i -й секции крано-манипуляторной установки в стационарном режиме (при отсутствии зазора).

С увеличением зазора наблюдается монотонный нелинейный рост таких характеристик динамических процессов, как продолжительность $\Delta\tau$ и ускорение при соударении a ,

напряжения в элементах металлоконструкции σ_2 и σ_3 , коэффициенты динамичности $k_{dyn,i}$ и динамической разгрузки $k_{unl,i}$, размах динамических напряжений R_{σ_i} . Частота соударений f_w и коэффициент асимметрии $r_{dyn,i}$ с ростом δ_w , наоборот, снижаются. Такое поведение исследованных характеристик динамических процессов есть, главным образом, результат того, что при увеличении зазора шарнирный палец проходит больший путь до соударения с поверхностью проушины цилиндрического шарнира и, следовательно, приобретает большую линейную скорость к моменту соударения (рис. 9).

На рис. 10 приведены графики, характеризующие влияние относительной величины веса перемещаемого груза G/G_n при нескольких различных значениях зазора δ_w на основные количественные характеристики исследованных законов $u_R(\tau)$, $a(\tau)$, $\sigma_2(\tau)$ и $\sigma_3(\tau)$. При анализе этих графиков можно отметить ряд закономерностей:

1) частота соударения шарнирного пальца f_w практически не зависит от относительного веса груза G/G_n (рис. 10, б), а явля-

ется лишь функцией величины зазора δ_w , т.е. средняя линейная скорость перемещения шарнирного пальца $\bar{v}_p = 2\delta_w f_w$ в пределах зазора между двумя последовательными соударениями с поверхностью проушины шарнира также не зависит от G/G_n ;

2) коэффициент динамичности $k_{dyn,i} = \sigma_{i,max}(G/G_n) / \sigma_{i,st}(G/G_n)$ возрастает с уменьшением отношения G/G_n (рис. 10, ж, з), особенно для малых зазоров δ_w , однако этот рост происходит более медленно, чем уменьшение величины напряжения в металлоконструкции секций стрелы при стационарном режиме (отсутствии зазора) $\sigma_{i,st}(G/G_n)$, вследствие чего максимальное динамическое напряжение $\sigma_{i,max}(G/G_n)$ также уменьшается по мере уменьшения веса перемещаемого груза.

Проведенный анализ динамических процессов при эксплуатации крано-манипуляторных установок, имеющих повышенные зазоры в шарнирных соединениях смежных секций грузоподъемной стрелы, свидетельствует о необходимости учета их влияния на нагруженность несущих металлоконструкций при оценке усталостной прочности, живучести и остаточного ресурса.

При решении указанных задач учет наличия повышенных зазоров и их влияния на коррекцию количественных параметров графиков нагружения [6] элементов металлоконструкции в расчетных сечениях может быть выполнен на основе предварительно выполненных расчетов динамического напряженного состояния для нескольких сочетаний величин зазора $\delta_w \in (0; \delta_{w,max}]$ и веса транспортируемого груза $G \in (0; G_n]$. Обработка полученных результатов методами сплайн-функций [17] позволяет построить интерполяционные кубические полиномы для основных характеристик, определяющих количественные параметры графиков нагружения:

- частоты соударения шарнирного пальца

$$f_w = a_f + b_f \left(\frac{G}{G_n} \right) + c_f \left(\frac{G}{G_n} \right)^2 + d_f \left(\frac{G}{G_n} \right)^3; \quad (1)$$

- напряжения в наиболее нагруженном сечении металлоконструкции i -й секции крано-манипуляторной установки в стационарном режиме (при отсутствии зазора)

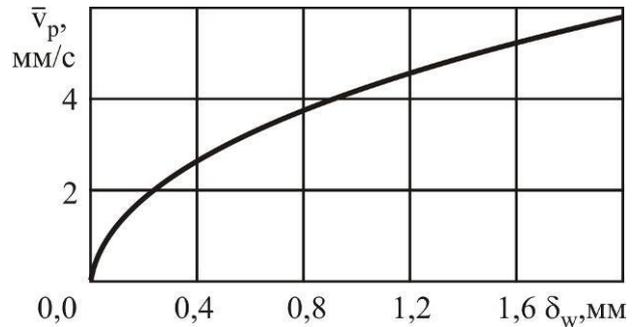


Рис. 9. Средняя линейная скорость смещения шарнирного пальца в зазоре

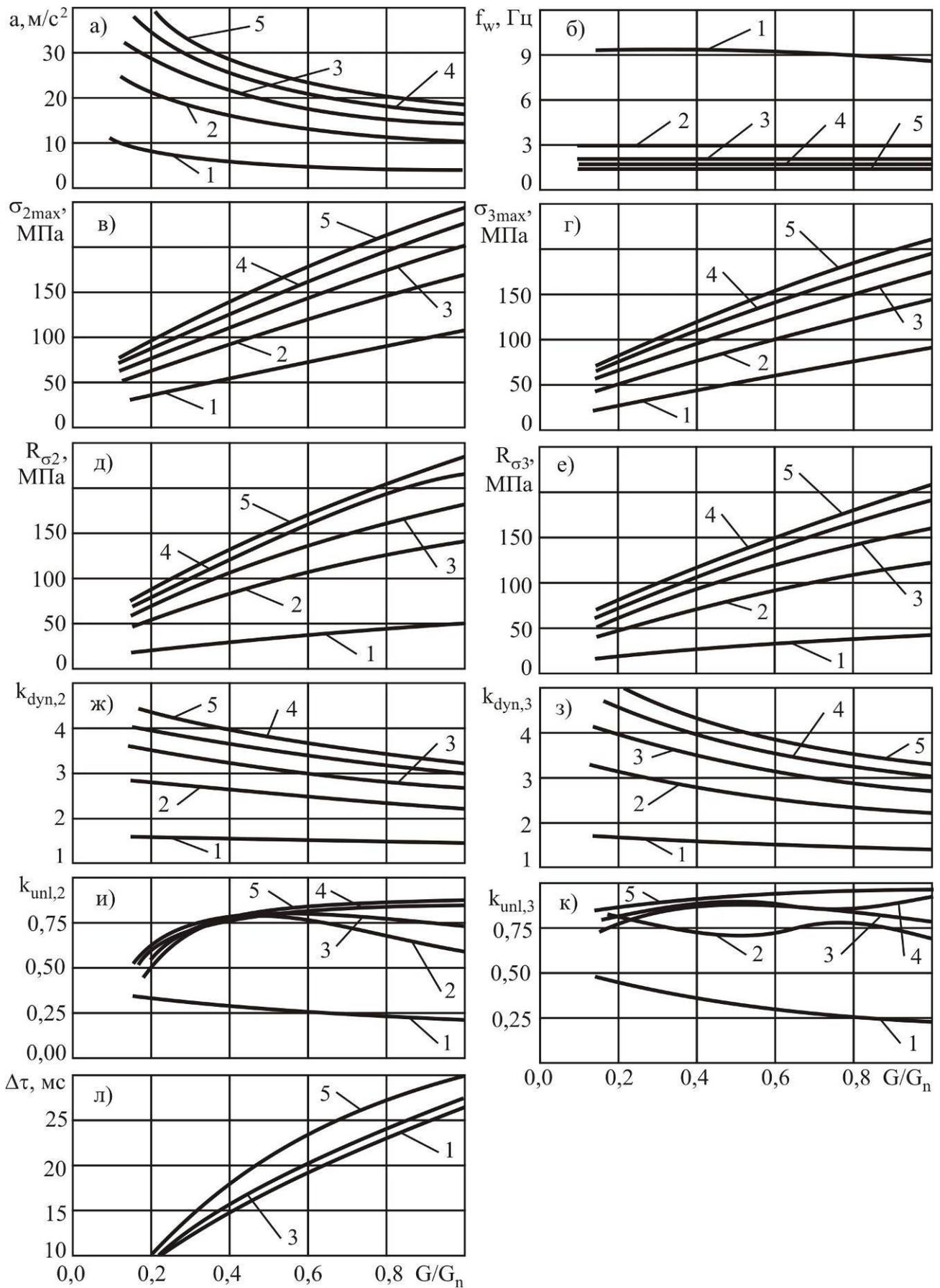


Рис. 10. Влияние веса перемещаемого груза на характеристики динамических процессов:
 1 - $\delta_w = 0,05$ мм; 2 - $\delta_w = 0,5$ мм; 3 - $\delta_w = 1,0$ мм; 4 - $\delta_w = 1,5$ мм; 5 - $\delta_w = 2,0$ мм

$$\sigma_{i,st} = a_{i,st} + b_{i,st} \left(\frac{G}{G_n} \right) + c_{i,st} \left(\frac{G}{G_n} \right)^2 + d_{i,st} \left(\frac{G}{G_n} \right)^3; \quad (2)$$

- коэффициента динамичности в i -й секции крано-манипуляторной установки

$$k_{dyn,i} = \left(a_{d0i} + b_{d0i} \delta_w + c_{d0i} \delta_w^2 + d_{d0i} \delta_w^3 \right) \exp \left[\left(a_{d1i} + b_{d1i} \delta_w + c_{d1i} \delta_w^2 + d_{d1i} \delta_w^3 \right) \frac{G}{G_n} \right]; \quad (3)$$

- размаха динамических напряжений в наиболее нагруженном сечении металлоконструкции i -й секции крано-манипуляторной установки

$$R_{\sigma i} = \left(a_{R0i} + b_{R0i} \delta_w + c_{R0i} \delta_w^2 + d_{R0i} \delta_w^3 \right) \left(\frac{G}{G_n} \right)^{(a_{R1i} + b_{R1i} \delta_w + c_{R1i} \delta_w^2 + d_{R1i} \delta_w^3)}; \quad (4)$$

- амплитуды динамических напряжений в наиболее нагруженном сечении металлоконструкции i -й секции крано-манипуляторной установки

$$A_{\sigma i} = \frac{1}{2} \left(a_{R0i} + b_{R0i} \delta_w + c_{R0i} \delta_w^2 + d_{R0i} \delta_w^3 \right) \left(\frac{G}{G_n} \right)^{(a_{R1i} + b_{R1i} \delta_w + c_{R1i} \delta_w^2 + d_{R1i} \delta_w^3)}; \quad (5)$$

- среднего значения динамических напряжений в наиболее нагруженном сечении металлоконструкции i -й секции крано-манипуляторной установки

$$\bar{\sigma}_i = k_{dyn,i} \sigma_{i,st} - A_{\sigma i}; \quad (6)$$

- коэффициента асимметрии динамического напряженного состояния в наиболее нагруженном сечении металлоконструкции i -й секции крано-манипуляторной установки

$$r_{dyn,i} = 1 - \frac{R_{\sigma i}}{k_{dyn,i} \sigma_{i,st}}, \quad (7)$$

где a_f, b_f, c_f, d_f - коэффициенты кубической сплайн-аппроксимации функции $f_w = f_w(G/G_n)$; $a_{i,st}, b_{i,st}, c_{i,st}, d_{i,st}$ - коэффициенты кубической сплайн-аппроксимации функции $\sigma_{i,st} = \sigma_{i,st}(G/G_n)$; $a_{d0i}, b_{d0i}, c_{d0i}, d_{d0i}$ и $a_{d1i}, b_{d1i}, c_{d1i}, d_{d1i}$ - коэффициенты кубической сплайн-аппроксимации коэффициентов A и B соответственно в функции $k_{dyn,i} = A \exp[B(G/G_n)]$; $a_{R0i}, b_{R0i}, c_{R0i}, d_{R0i}$ и $a_{R1i}, b_{R1i}, c_{R1i}, d_{R1i}$ - коэффициенты кубической сплайн-аппроксимации коэффициентов A и B соответственно в функции $R_{\sigma i} = A(G/G_n)^B$.

Анализ эффективности реализации предложенной конструкции демпферного устройства [9], создающего силу упругого сопротивления смещению шарнирного пальца из исходного положения, был проведен на основе ранее разработанного метода моделирования динамики и нагруженности крано-манипуляторных установок при повышенных зазорах и наличии сил сопротивления в цилиндрических шарнирах узлов соединения смежных секций стрелы [8]. При этом также исследовалось влияние величины зазора δ_w и веса транспортируемого груза G в зависимости от жесткости демпферного устройства C на количественные характеристики законов изменения во времени величин смещения центра торцевого сечения шарнирного пальца из исходного положения $u_R(\tau)$ и его ускорения $a(\tau)$, а также величин напряжений в наиболее нагруженных сечениях металлоконструкций стрелы $\sigma_2(\tau)$ и рукояти $\sigma_3(\tau)$ крано-манипуляторной установки. Сравнение этих результатов с результатами проведенного выше анализа для случая отсутствия демпферного устройства (т.е. для случая $C = 0$) позволило выявить те закономерности динамических процессов в шарнирных соединениях, которые обусловлены реализацией режима упругого демпфирования.

В качестве примера на рис. 11 приведены графики законов изменения во времени напряжения в наиболее нагруженном сечении металлоконструкции стрелы $\sigma_2(\tau)$ для зазора в шарнире $\delta_w = 0,4$ мм при номинальном весе перемещаемого груза и трех характерных значе-

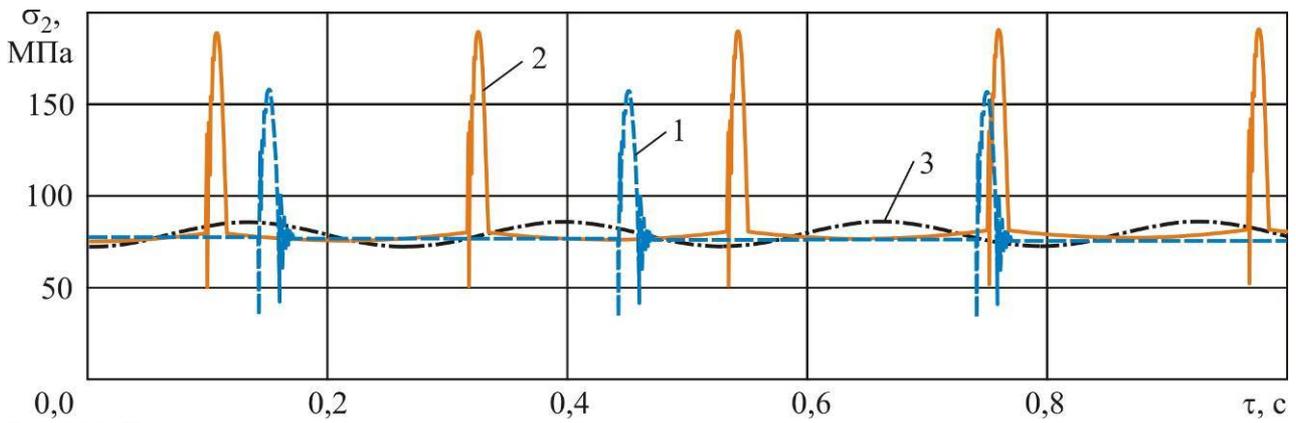


Рис. 11. График изменения во времени напряжения в наиболее нагруженном сечении стрелы σ_2 (зазор $\delta_w = 0,4$ мм, вес груза $G = G_n$): 1 - $C = 0$; 2 - $C = 5$ МН/м; 3 - $C = 20$ МН/м

ниях жесткости демпферного устройства. Качественный вид графиков $\sigma_3(\tau)$ и $a(\tau)$ аналогичен представленным на рис. 11.

Из сравнения графиков на рис. 7 и 12 хорошо видно, что присутствие демпфера оказывает значительное воздействие не только на количественные характеристики, но и на качественные закономерности динамических процессов, протекающих в металлоконструкции секций крано-манипуляторной установки при наличии повышенных зазоров в ее шарнирных соединениях. Это воздействие неоднозначно: в зависимости от величины жесткости C демпферное устройство может оказывать как позитивное, так и негативное влияние на динамическое напряженное состояние металлоконструкции. Как видно из анализа графиков $\sigma_{2\max}(\delta_w)$ на рис. 12, при малых зазорах в шарнире (в интервале значений $\delta_w \in [0; \delta_{th}]$) мак-

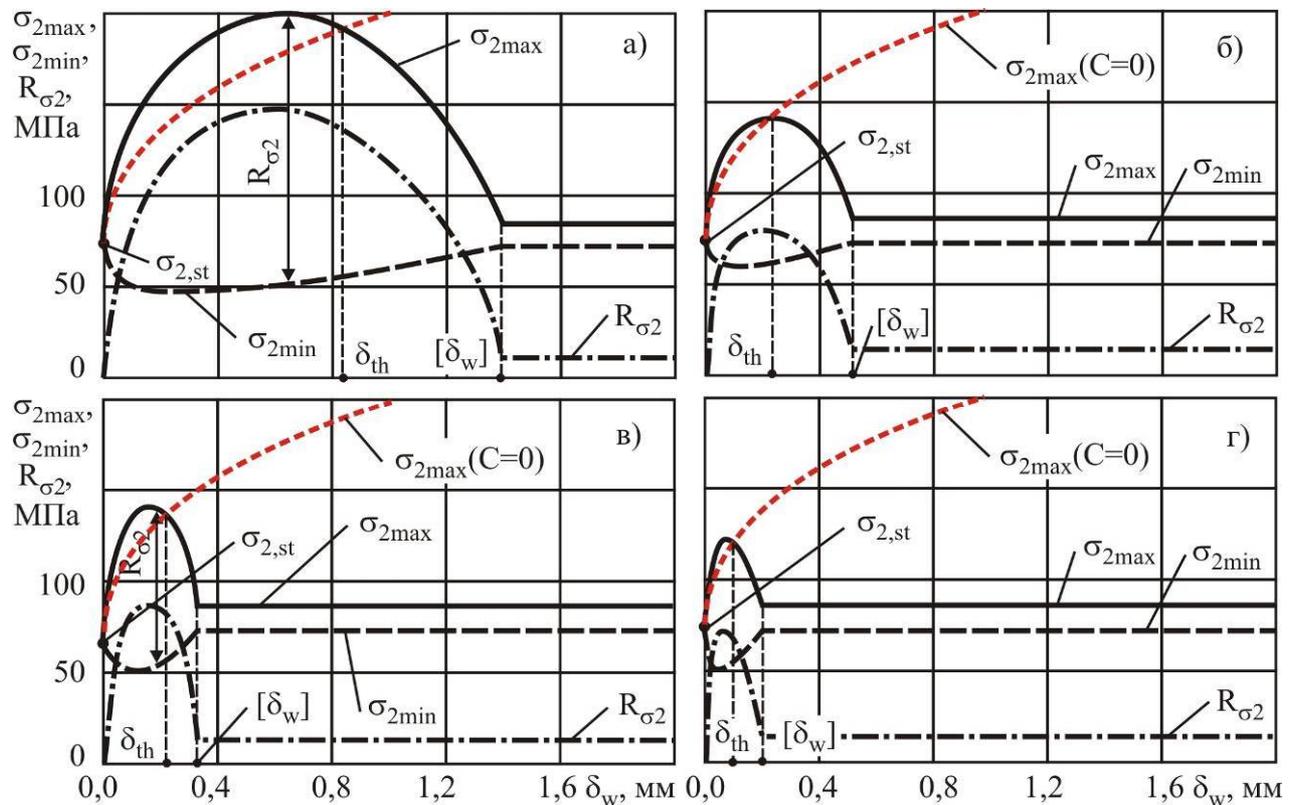


Рис. 12. Влияние величины зазора δ_w в шарнирном соединении при различных значениях жесткости демпферного устройства C на граничные значения и размах динамических напряжений в стреле при номинальном весе груза:

а - $C = 5$ МН/м; б - $C = 10$ МН/м; в - $C = 20$ МН/м; г - $C = 40$ МН/м;

симальные динамические напряжения $\sigma_{i\max}$, возникающие в момент соударения шарнирного пальца с поверхностью проушины, при наличии упругого демпфирования оказываются несколько выше, чем при его отсутствии. Пороговое значение зазора δ_{th} , при превышении которого начинает проявляться положительное действие демпферного устройства, обратно пропорционально зависит от его жесткости C : чем жесткость выше, тем δ_{th} меньше (кривая 4 на рис. 13). Это явление может быть объяснено тем обстоятельством, что при малых значениях зазора и, соответственно, малых возможных смещениях шарнирного пальца действующие силы упругого сопротивления F_j со стороны амортизирующих элементов (рис. 4) оказываются незначительными по величине и поэтому неэффективными для торможения, так как они прямо пропорционально зависят от степени деформирования:

$$F_j = c_j u_j,$$

где c_j , u_j - жесткость и величина деформирования j -го упругого амортизирующего элемента соответственно.

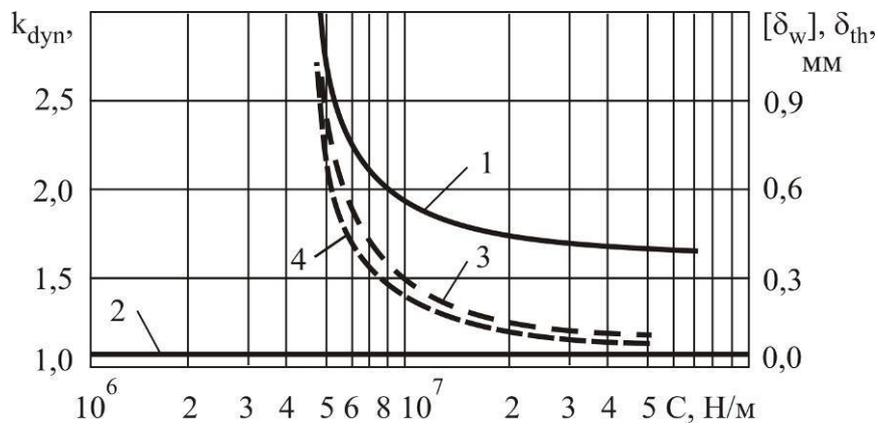


Рис. 13. Влияние жесткости демпферного устройства C на максимальный и установившийся коэффициенты динамичности для стрелы, пороговое δ_{th} и предельное $[\delta_w]$ значения зазора: 1 – максимальный коэффициент динамичности $(k_{dyn,2})_{\max}$; 2 – установившийся коэффициент динамичности $(k_{dyn,2})_{st}$; 3 - предельный зазор $[\delta_w]$; 4 – пороговый зазор δ_{th}

Принципиальное отличие поведения графиков $\sigma_{i\max}(\delta_w)$, $\sigma_{i\min}(\delta_w)$ и $R_{\sigma}(\delta_w)$ для случаев наличия (рис. 12) и отсутствия (рис. 7) демпферного устройства обусловлено тем, что демпферное устройство играет роль не только амортизатора динамических процессов в шарнирном соединении, но и ограничителя максимально возможного износа отверстия проушины в процессе эксплуатации крано-манипуляторной установки. Максимально возможный износ определяет предельный зазор $[\delta_w]$ в шарнире, являющийся по своему физическому смыслу минимальным зазором, при котором уже не происходит соударения шарнирного пальца с поверхностью проушины вследствие того, что упругие амортизирующие элементы, деформируясь, полностью поглощают кинетическую энергию шарнирного пальца в процессе его смещения из исходного положения в пределах от 0 до $u_{R(L)} = [\delta_w]$ и поэтому не позволяют ему отклониться от исходного положения более, чем на величину $[\delta_w]$. Предельное значение зазора $[\delta_w]$ обратно пропорционально зависит от жесткости C демпферного устройства: чем жесткость выше, тем $[\delta_w]$ меньше (кривая 3 на рис. 13). Это также иллюстрируется рис. 14, на котором представлены зависимости коэффициента динамичности k_{dyn} от величины зазора в цилиндрическом шарнире при различных значениях жесткости C демпферного устройства.

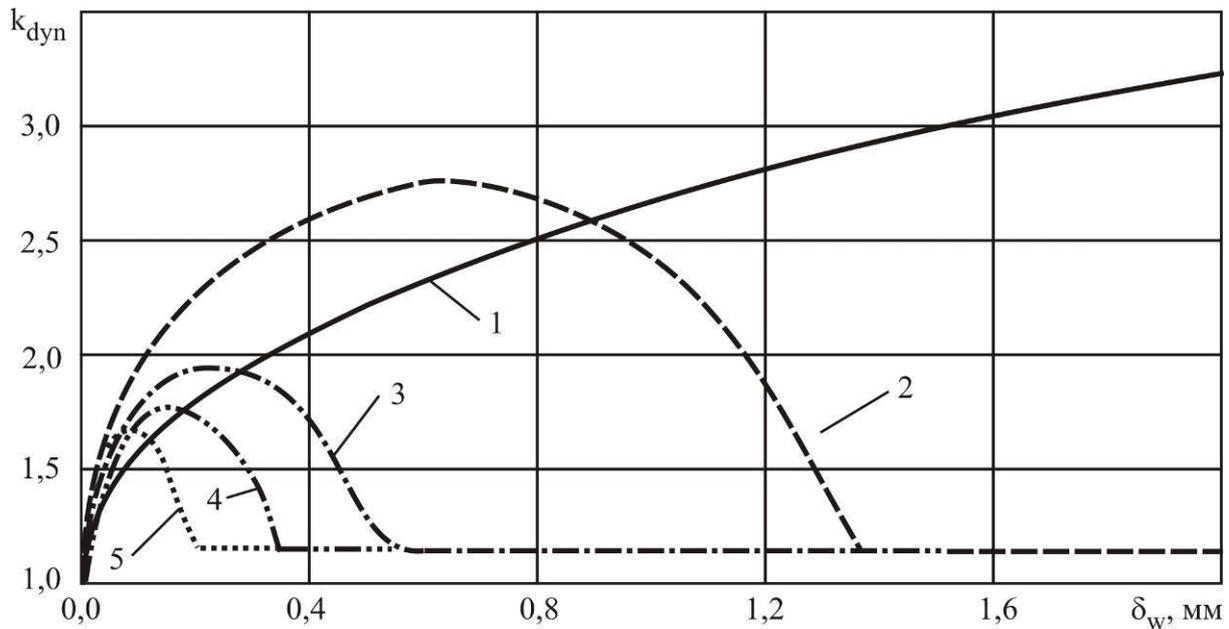


Рис. 14. Зависимость коэффициента динамичности k_{dyn} от величины зазора в цилиндрическом шарнире при различных значениях жесткости C демпферного устройства: 1 – $C = 0$; 2 – $C = 5$ МН/м; 3 – $C = 10$ МН/м; 4 – $C = 20$ МН/м; 5 – $C = 40$ МН/м

Таким образом, при целенаправленном выборе жесткости демпферного устройства, т.е. при целенаправленном выборе размеров и количества упругих амортизирующих элементов можно управлять величиной износа шарниров в процессе эксплуатации, что позволяет гарантированно исключить рост величин зазоров δ_w в цилиндрических шарнирных соединениях секций грузоподъемной стрелы свыше нормированных значений [3]. При проведении ремонтных мероприятий уже эксплуатирующихся крано-манипуляторных установок, не оснащенных демпферными устройствами шарниров, является целесообразной их установка. При выборе жесткости следует ориентироваться на такое значение C , для которого величина предельного зазора $[\delta_w]$ будет меньше, чем величина уже сформировавшегося в шарнире зазора. Это позволит существенно улучшить динамическое состояние металлоконструкций крано-манипуляторной установки за счет исключения соударений шарнирного пальца с поверхностью проушины и реализации режима работы $\delta_w > [\delta_w]$, для которого характерны минимальные значения максимальных динамических напряжений $\sigma_{i\max}$ и размаха динамических напряжений $R_{\sigma i}$, а также установившийся коэффициент динамичности $(k_{dyn,2})_{st}$ (прямая 2 на рис. 13). Величина $(k_{dyn,2})_{st}$ является минимальной, существенно (в несколько раз) отличаясь как от величины коэффициента динамичности в случае отсутствия демпферного устройства (кривая 1 на рис. 13), так величины коэффициента динамичности в случае наличия демпферного устройства при зазорах $\delta_w < [\delta_w]$.

На рис. 15 показаны графики изменения во времени показателей работы крано-манипуляторной установки при различной жесткости демпферного устройства C и большом зазоре в шарнирном соединении $\delta_w > [\delta_w]$ (соударения не происходит). В этом случае основные количественные характеристики динамических процессов не зависят от жесткости демпферного устройства. Исключение составляет частота f_w колебательного смещения шарнирного пальца при больших зазорах $\delta_w > [\delta_w]$: с ростом C она возрастает, т.е. промежуток времени между двумя моментами времени максимального смещения шарнирного пальца из исходного положения уменьшается. Очевидно, это связано с уменьшением амплитуды смещения шарнирного пальца.

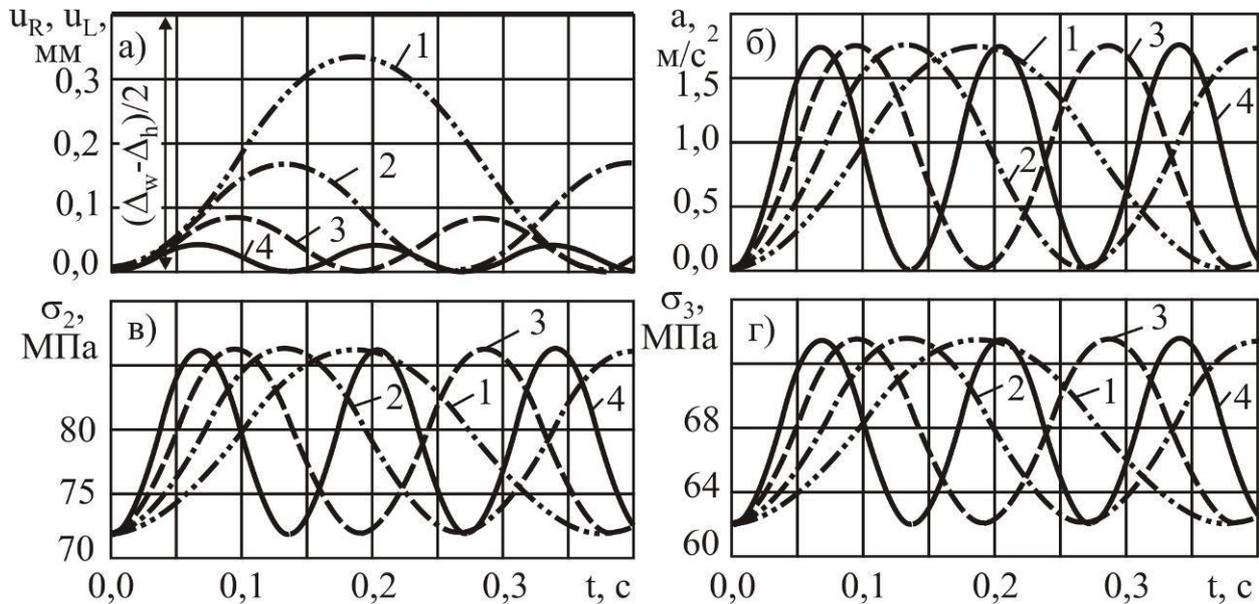


Рис. 15. Изменение во времени показателей работы крано-манипуляторной установки при различной жесткости демпферного устройства C и большом зазоре в шарнирном соединении (соударения не происходит): а – смещение центров торцевых сечений (R – правого, L – левого) шарнирного пальца из нейтрального положения; б – ускорение смещения шарнирного пальца; в – максимальное напряжение в стреле; г – максимальное напряжение в рукояти (1 – $C = 10$ МН/м; 2 – $C = 20$ МН/м; 3 – $C = 40$ МН/м; 4 – $C = 80$ МН/м)

Вес перемещаемого груза также как и в случае отсутствия демпферного устройства (рис. 10) оказывает заметное влияние на количественные характеристики динамических процессов. На рис. 16 показано совместное влияние жесткости демпферного устройства C и веса перемещаемого груза G на величину предельного зазора $[\delta_w]$ и частоту f_w колебательного смещения шарнирного пальца при больших зазорах $\delta_w > [\delta_w]$ (без соударения). На рис. 17, как пример, показано влияние веса перемещаемого груза на характеристики динамических

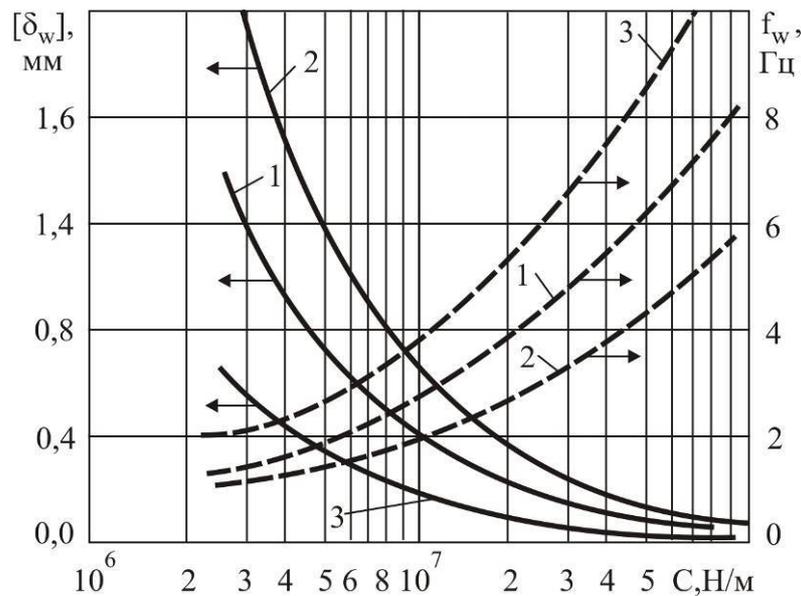


Рис. 16. Влияние жесткости демпферного устройства C и веса перемещаемого груза G на величину предельного зазора $[\delta_w]$ и частоту f_w колебательного смещения шарнирного пальца при больших зазорах $\delta_w > [\delta_w]$ (без соударения):

1 – груз номинального веса G_n ; 2 – груз весом $2G_n$; 3 – груз весом $0,5G_n$

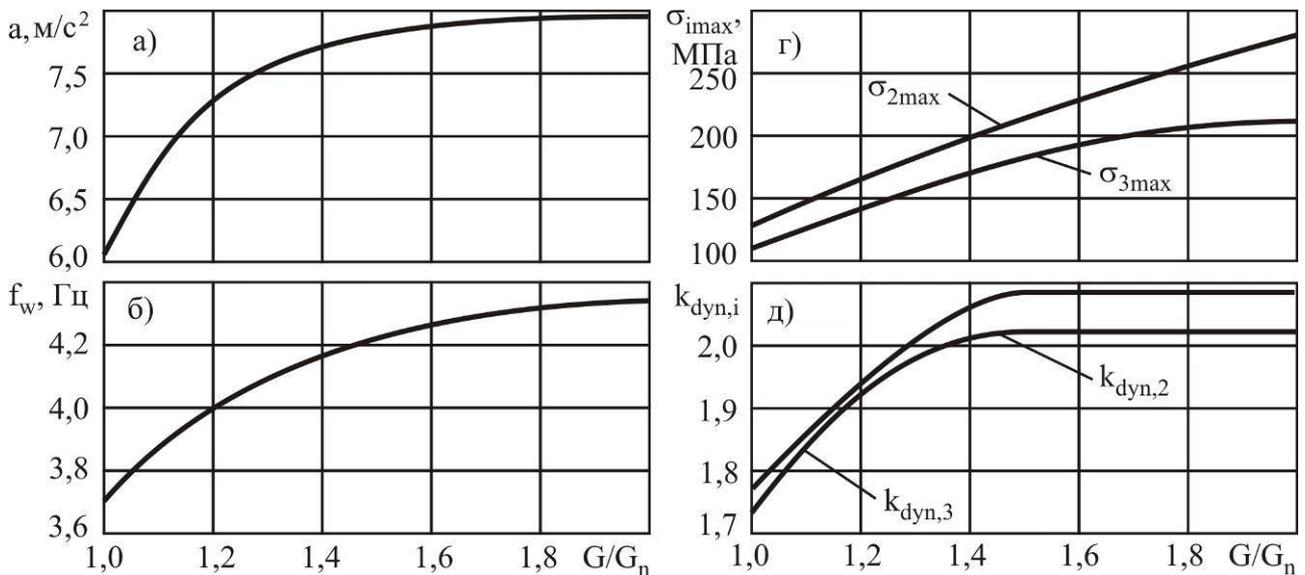


Рис. 17. Влияние веса перемещаемого груза на характеристики динамических процессов (при $\delta_w = 0,4 \text{ мм}$; $C = 10 \text{ МН/м}$)

процессов для частного случая: зазора $\delta_w = 0,4 \text{ мм}$ (соударение происходит) и жесткости демпферного устройства $C = 10 \text{ МН/м}$.

Проведенный анализ динамических процессов при эксплуатации крано-манипуляторных установок в случае использования метода упругого демпфирования в шарнирных соединениях смежных секций грузоподъемной стрелы, имеющих повышенные зазоры, также свидетельствует о необходимости учета влияния демпферных устройств на нагруженность несущих металлоконструкций при оценке усталостной прочности, живучести и остаточного ресурса. Для этого можно использовать рассмотренный выше подход коррекции количественных параметров графиков нагружения элементов металлоконструкции крано-манипуляторной установки на основе построения интерполяционных кубических полиномов для основных характеристик динамического напряженного состояния вида (1)-(7). Однако их построение следует проводить на основе предварительно выполненных расчетов динамического напряженного состояния для нескольких сочетаний величин зазора $\delta_w \in (0; [\delta_w]]$ и веса транспортируемого груза $G \in (0; G_n]$ при том значении жесткости C , которое соответствует конструкции используемого демпферного устройства.

Выводы.

1. Демпферные устройства предложенной конструкции с упругими амортизирующими элементами позволяют обеспечить:

- возможность существенного снижения дополнительных ударных нагрузок, возникающих в момент выбора люфта в шарнире с повышенным зазором (коэффициент динамичности при равных величинах зазора может быть уменьшен до 3 раз);
- большую сохранность при транспортировке хрупких и взрывоопасных грузов;
- замедление роста люфта в шарнирном соединении, обусловленное торможением перед ударом сближающихся поверхностей контакта;
- ограничение величины зазора заданным значением, которое не будет превышено в течение всего срока службы шарнирного соединения независимо от интенсивности его нагруженности.

2. Техничко-экономический результат от использования демпферных устройств предложенной конструкции с упругими амортизирующими элементами связан с повышением показателей надежности и коэффициента технического использования кранов-манипуляторов в целом и снижением материально-финансовых затрат при их эксплуатации.

Список литературы.

1. Справочник по техническому обслуживанию, ремонту и диагностированию грузоподъемных кранов: в 2-х т. Т.1 / В.С. Котельников, Н.А. Шишков, А.С. Липатов, Л.А. Невзоров, А.М. Горлин. – М.: Госгортехнадзор России, 1996. – 392 с.
2. Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения. РД 10-112-1-04. – Одобрены Федеральной службой по технологическому надзору, протокол от 26 апреля 2004 г.
3. Методические рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные. РД 10-112-2-09. – Введены в действие с 01.05.2009. – М.: ООО «НИИКраностроения», 2009. – 120 с.
4. Краны грузоподъемные. Типовые программы и методики испытаний. РД 22-28-36-01. – Утверждены ГУП «СКТБ БК» 19.09.2001 г.
5. Инструкция по проведению технического освидетельствования грузоподъемных кранов. ИТОс 22-01-01. – Утверждены ГУП «СКТБ БК» 19.09.2001 г.
6. Лагерев, А.В. Динамико-прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2015. – 186 с.
7. Лагерев, И.А. Динамика гидравлических крано-манипуляторных установок при наличии зазоров в шарнирных соединениях звеньев / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Приводы и компоненты машин. – 2015. - № 2. - С. 2-4.
8. Лагерев, И.А. Снижение ударной нагрузки, вызываемой люфтом в шарнирных соединениях звеньев крано-манипуляторных установок / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 2. – С. 37-43. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-05.pdf>.
9. Патент 160246 Российская Федерация В66С 23/64. Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев. – Заявл. 29.07.15, № 2015131596. Опубл. 10.03.16. – Бюл. № 7.
10. 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. – С. 4-7.
11. 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).
12. 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.
13. Лагерев, А.В. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2013. - № 3. - С. 24–31.
14. Лагерев, А.В. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических кранов-манипуляторов в задачах динамики / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Вестник Брянского государственного университета. - 2013. - № 4. - С. 21–26.
15. 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.
16. 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).
17. Завьялов, Ю.С. Методы сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 350 с.

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*.

EFFECTIVENESS OF ELASTIC DAMPING IN THE PIVOT JOINTS OF CARGO BOOM OF CRANE-MANIPULATING INSTALLATIONS AT LARGE GAPS

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

The article was the analysis of dynamic processes in the cylindrical hinges with large gaps in the cargo boom crane-manipulating installations of mobile machines in operation. Consider the design of damping device for articulated joints, which creates a braking force of elastic resistance to the displacement of the hinge pin within the large gap. The mechanism of action of the damping devices was considered. Analysis of the effectiveness of damping device for reducing the dynamic stress state in the elements of cargo boom metal structures depending on the gap size and the stiffness of the damping device was performed. Damping device with an elastic shock absorbing elements substantially reduces the additional impact load at the time of selection of the gap in the joint, slow the growth of clearance in the pivot joint, limit the size of the gap specified value, which must not be exceeded during the entire service life of swivel independently from the intensity of his load.

Keywords: *crane-manipulator installation, mobile machine, cylindrical joint, gap, dynamic loading, damping device, the elastic shock absorbing element, stress state*

References

1. Kotelnikov V.S., Shishkov N.A., Lipatov A.S., Gorlin A.M. *Spravoshnik po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu, remontu b diagnostirovaniyu gruzopodemnykh kranov. Vol. 1* [Guide for maintenance, repair and diagnostics of hoisting cranes]. Moscow, Gosgortekhnadzor Rossii, 1996. 392 p.
2. RD 10-112-2-09. *Rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniyu gruzopodyemnykh mashin. Obshchie polozheniya*. Moscow, Rostekhnadzor, 2004.
3. RD 10-112-2-09. *Metodicheskiye rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniyu gruzopodyemnykh mashin. Ch. 2. Krany strelovyye obshchego naznacheniya i krany-manipulyatory gruzopodyemniye*. Moscow, ООО «НИИКраностройениа», 2009. 120 p.
4. RD 22-28-36-01. *Krany gruzopodyemnye. Tipovye programmy i metodiki ispytaniy*. Moscow, GUP «SKTB BK», 2001.
5. ITOs 22-01-01. *Instruktsiya po provedeniyu tekhnicheskogo osvidetelstvovaniya gruzopodyemnykh kranov*. Moscow, GUP «SKTB BK», 2001.
6. Lagerev A.V., Milto A.A., Lagerev I.A. *Dinamiko-prochnostnoy analiz gidravlicheskiikh krano-manipulyatornykh ustanovok mobilnykh mashin* [Dynamic and mechanical analysis of hydraulic crane-manipulating installations of mobile machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 186 p.
7. 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.
8. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Reducing the impact load arising from the looseness in joints of articulating cranes, *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 37-43.
9. Patent RU 160246. *Ustroystvo dlya soedineniya sektsiy gruzopodemnoy strely krano-manipulyatornoy ustanovki* [Device for connecting sections hoisting boom crane-manipulator]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 29.07.2015. Published 10.03.2016.

10. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Trunk pipeline welding machine crane-manipulator optimization during its modernization, *Podyemno-transportnoe delo*, 2013, No.1, pp. 4-7.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L. *Metody splayn-funktsiy* [Methods of spline-functions]. Moscow, Nauka, 1980. 350 p.

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. 86

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

П.В. Бословяк, Е.П. Зуева

Брянский государственный технический университет

Представлены результаты оптимального проектирования металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой. Выполнен анализ результатов оптимального проектирования металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой.

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

Технические характеристики для проектирования стационарного конвейера с подвесной лентой (КПЛ), перемещающего нефтяной кокс по прямолинейной трассе, представлено в табл. 1 [2, 5].

Таблица 1

Технические характеристики конвейера с подвесной лентой

Параметр	Значение
Производительность	120 т/ч
Длина конвейера	33 м
Скорость движения ленты	1,1 м/с
Ширина ленты	0,8 м
Тип ленты	ТК200
Число прокладок ленты	2
Шаг роликовых подвесок	1 м
Масса роликовой подвески	6 кг
Длина линейной секции	2 м
Время пуска конвейера	5 с
Нормативный срок служба металлоконструкции конвейера	12 лет
Условия эксплуатации	Работа на открытом воздухе

Схема стационарного конвейера с подвесной лентой показана на рис. 1.

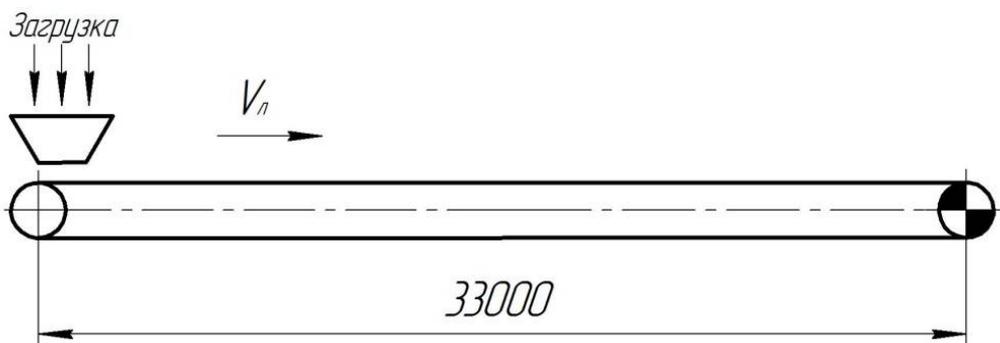


Рис. 1. Схема трассы стационарного конвейера с подвесной лентой

Эксплуатационные нагрузки, действующие на металлоконструкцию (МК) при различных режимах работы стационарного конвейера с подвесной лентой, приведены в табл. 1.

На первоначальном этапе осуществлялось проектирование оптимальной металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой. Выполнялась проверка исходного варианта МК при условии стационарного режима работы конвейера с полной загрузкой ленты по первой группе предельного состояния [3, 6, 7].

Таблица 2

Нагрузки, действующие на металлоконструкцию конвейера с подвесной лентой

Усилие на металлоконструкцию со стороны	Стационарный режим с загрузкой лентой	Нестационарный режим с загрузкой лентой	Нестационарный режим без загрузки ленты
натяжного барабана $R_{нб}$	2,26 кН		
приводного барабана $R_{пб}$	1,93 кН		
приводного устройства, R_n	1,8 кН		
натяжения ленты, N	4 кН		
подвесок на грузовой ветви (поперечное усилие), F_1	0,33 кН	0,41 кН	0,18 кН
подвесок на холостой ветви (поперечное усилие), F_2	0,15 кН	0,18 кН	0,18 кН
подвесок на грузовой ветви (продольное усилие), T_1	0,12 кН	0,16 кН	0,07 кН
подвесок на холостой ветви (продольное усилие), T_2	0,04 кН	0,06 кН	0,06 кН

Вся металлоконструкция стационарного конвейера с подвесной лентой состоит из приводной станции, семи линейных секций и натяжной станции.

Далее осуществлялось преобразование каркасной модели в конечноэлементную расчетную схему. При этом элементы конструкции разделялись по группам, в дальнейшем в разной степени участвующим в процессе оптимизации. Каждая деталь группы разбивалась на конечное число элементов, которое составило 20 элементов на метр, для расчета металлоконструкции МКЭ. Данное число конечных элементов позволило получить точный результат при относительно малых затратах времени на вычисление. Для каждой группы элементов из библиотеки материалов выбирался требуемый материал – сталь 09Г2С (рис. 2).

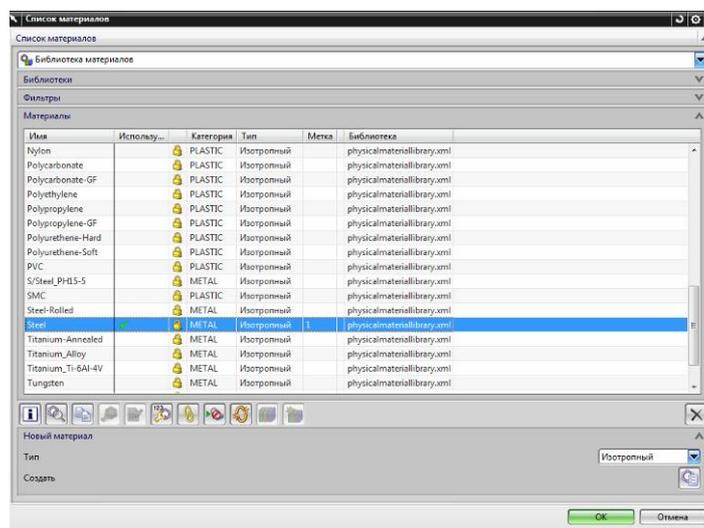


Рис. 2. Выбор материала из библиотеки

Для деталей каждой группы предварительно назначался тип профиля поперечного сечения, который выбирался из базы данных справочных материалов. В качестве предпочтительного был принят прямоугольный профиль поперечного сечения с геометрическими размерами 60×30×3 (рис. 3).

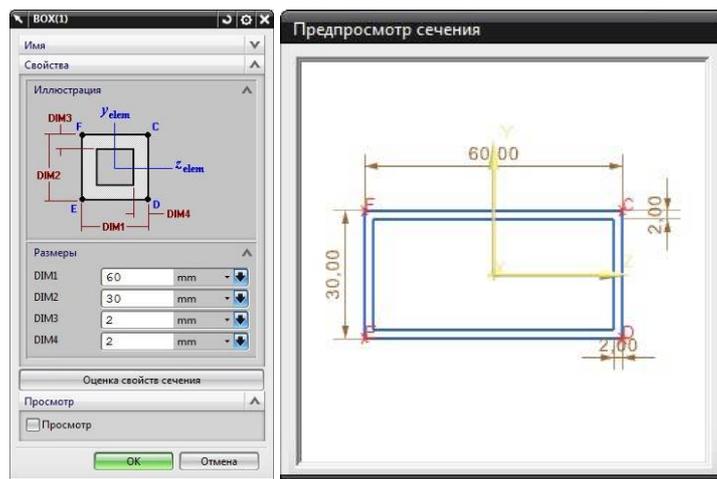


Рис. 3. Выбор типа и размеров прямоугольного профиля поперечного сечения

Коррозионные ограничения учитывались на начальном этапе проектирования путем равномерного уменьшения толщин стенок поперечных сечений всех стержней и раскосов металлоконструкции. В течение установленного нормативного срока эксплуатации стационарного конвейера с подвесной лентой снижение профиля всех конструктивных элементов составило 1 мм.

Формирование сетки конечных элементов выполнялось в модуле Advanced Simulation программного комплекса NX, предназначенном для осуществления инженерного анализа.

В местах контакта МК конвейера с опорной поверхностью устанавливались жесткие заделки, и осуществлялся ввод эксплуатационных нагрузок.

Помимо указанных нагрузок (табл. 1) учитывался собственный вес металлоконструкции, а также условия работы конструкции. Исходная расчетная схема МК приведена в [2, 3].

Далее проводились расчеты металлоконструкции КЭЛ по первой и второй группам предельных состояний. Результаты представлены в [1].

Аналогичные расчеты по первой и второй группам предельных состояний осуществлялись в качестве проверки для нестационарного режима работы конвейера с подвесной лентой при полной загрузке и при отсутствии груза на ленте. Величины внутренних силовых факторов, возникающих в МК конвейера с подвесной лентой, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения внутренних силовых факторов исходной МК

Внутренний силовой фактор, деформация	Стационарный режим с загрузкой ленты	Нестационарный режим с загрузкой ленты	Нестационарный режим без загрузки ленты
Осевая сила N , кН			
- растяжение	1,78	2,21	1,69
- сжатие	2,67	3,13	2,95
Поперечная сила Q , кН	0,95	1,19	0,84
Изгибающий момент M , Н·м	310	975	206
Эквивалентное напряжение, МПа	169,8	202,3	108,7
Стрела прогиба, мм	6,8	8,4	4,4

Проведя анализ полученных результатов МК данного конвейера, выявлено:

1. Наибольшее значение осевой силы $N=3,13$ кН возникает в раскосах приводной станции с профилем квадратной трубы $60 \times 30 \times 3$. При этом допускаемое значение осевой си-

лы составляет 119 кН. В нижних стержнях и раскосах всей металлоконструкции действуют минимальные осевые силы.

2. Поперечная сила имеет максимальное значение $Q=1,19$ кН, которое возникает в продольных стержнях натяжной станции и поперечных стержнях линейных секций и является незначительным. В нижних стержнях и раскосах металлоконструкции действуют наименьшие поперечные силы.

3. Максимальный изгибающий момент возникает в прямолинейных направляющих ($M=975$ Н·м), имеющих профиль в виде круглой трубы $53 \times 3,5$. Допускаемое значение изгибающего момента круглой трубы $M = [\sigma] W_x = 2342$ Н·м. В нижних стержнях и раскосах натяжной и приводной станций действуют моменты, имеющие минимальные значения (менее 10% от максимального изгибающего момента).

4. Наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma = 202,3$ МПа, полученные в результате расчета МК, не превышают предельных напряжений $[\sigma] = 265$ МПа для стали 09Г2С. Минимальные значения напряжений возникают в конструктивных элементах приводной и натяжной станции металлоконструкции (менее 5% от максимальной величины напряжения) и в стержнях линейной секции.

5. Максимальная стрела прогиба металлоконструкции $f = 8,4$ мм имеет место на участках прямолинейных направляющих и соответствует допускаемому значению для круглой трубы длиной 4 метра $[f] = (l / 200) = 20$ мм. Минимальные прогибы возникают в нижней части металлоконструкции (менее 10% от наибольшей величины прогиба). Также для стержней линейной секции максимальная стрела прогиба составляет $f = 1,7$ мм при допускаемом значении прогиба данного стержня длиной 0,8 метра $[f] = (l / 120) = 6,7$ мм.

Металлоконструкция удовлетворяет условиям первой и второй групп предельных состояний, поэтому проектирование в среде NX Nastran заканчивается.

На основании полученных результатов осуществлялся анализ исходного варианта металлоконструкции [2, 3, 6, 8].

Выполнялась перестройка исходного варианта МК, заключающаяся в удалении из структурной схемы МК элементов, в которых действуют незначительные напряжения [2, 6].

Производилась последовательность действий, аналогичных начальному этапу. Формировалась новая сетка конечных элементов, которая в дальнейшем преобразуется в расчетную схему [3, 4].

Далее осуществляется расчет перестроенного варианта МК, результаты которого представлены в [3].

Значения внутренних силовых факторов, возникающие в перестроенной расчетной схеме металлоконструкции для различных режимов работы стационарного конвейера с подвесной лентой, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Значения внутренних силовых факторов перестроенной МК

Внутренний силовой фактор, деформация	Стационарный режим с загрузкой ленты	Нестационарный режим с загрузкой ленты	Нестационарный режим без загрузки ленты
Осевая сила N , кН			
- растяжение	2,01	2,35	1,69
- сжатие	3,05	3,55	2,86
Поперечная сила Q , кН	1,04	1,24	0,78
Изгибающий момент M , Н·м	330	424	218
Эквивалентное напряжение, МПа	176,1	210	116,2
Стрела прогиба, мм	6,6	8,1	4,4

Анализ полученных результатов перестроенной металлоконструкции КПЛ:

1. Наибольшее значение осевой силы $N=3,55$ Н возникает при нестационарном режиме с загрузкой ленты в вертикальных стержнях линейной секции с профилем прямоугольной трубы $60 \times 30 \times 3$. При этом допустимое значение осевой силы $N=119$ кН. В раскосах и стержнях линейной секции, натяжной и приводной станций металлоконструкции действуют минимальные осевые силы (менее 5% от максимального значения).

2. Поперечная сила имеет максимальное значение $Q=1,24$ кН, которое возникает в продольных стержнях приводной станции и поперечных стержнях линейных секций и является незначительным. Поэтому величина силы удовлетворяет условиям прочности металлоконструкции. Наименьшие значения поперечной силы действуют в стержнях и раскосах линейной секции, приводной и натяжной станции (менее 10% от максимальной величины).

3. Максимальный изгибающий момент возникает в прямолинейных направляющих ($M=424$ Н·м), имеющих профиль в виде круглой трубы $53 \times 3,5$. Допустимое значение изгибающего момента круглой трубы $M=2337$ Н·м. В стержнях линейной секции, приводной и натяжной станции действуют моменты, имеющие минимальные значения (менее 10% от максимального изгибающего момента).

4. Наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma = 210$ МПа, полученные в результате расчета МК, не превышают предельных напряжений $[\sigma]=265$ МПа для марки стали 09Г2С. Минимальные значения напряжений возникают в стержнях и раскосах линейной секции, приводной и натяжной станции металлоконструкции (менее 8% от максимальной величины).

5. Максимальная стрела прогиба металлоконструкции $f = 8,1$ мм имеет место на участках прямолинейных направляющих и соответствует допустимому значению $[f] = 20$ мм. Минимальные значения прогибов возникают в стержнях приводной станции и линейной секции металлоконструкции (менее 5% от наибольшей величины прогиба). Также для стержней линейной секции максимальная стрела прогиба составляет $f = 1,9$ мм при допустимом значении прогиба данного стержня $[f] = 6,7$ мм.

Максимальные и минимальные значения внутренних силовых факторов перестроенной и исходной расчетных схем МК отличаются незначительно. Металлоконструкция удовлетворяет условиям первой и второй групп предельных состояний.

Далее осуществлялась процедура оптимального проектирования в среде Altair HyperOpt программного комплекса NX.

Вводились системы конструктивных, прочностных, жесткостных и коррозионных ограничений [2, 9].

На варьируемые параметры поперечных сечений стержней и раскосов металлоконструкции накладывались значения нижнего и верхнего пределов (рис. 4).

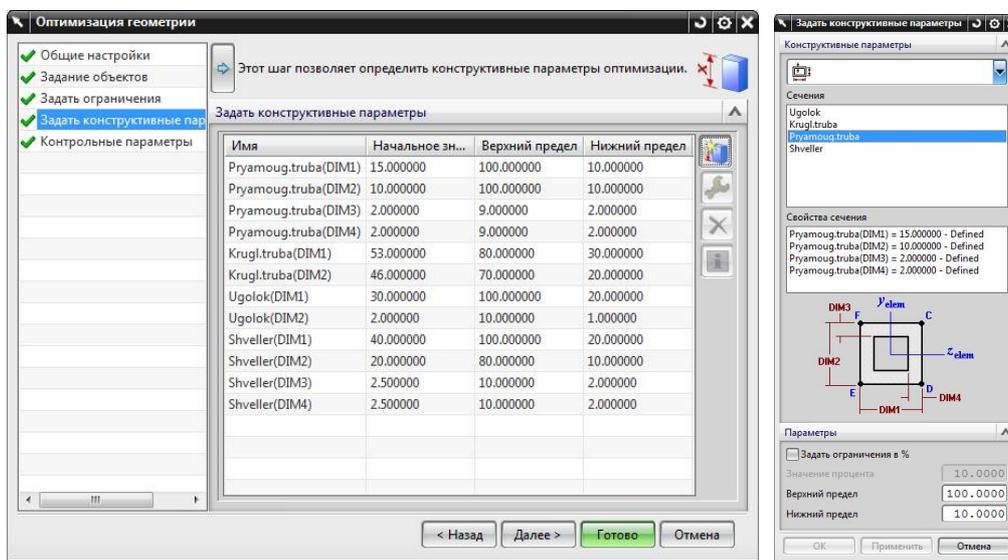


Рис. 4. Задание конструктивных ограничений

Для прямоугольной трубы границы размеров оптимального результата ширины и высоты установлены в пределах 20...100 мм, а толщина стенки 2...9 мм. Для круглой трубы границы размеров оптимального результата внешнего и внутреннего диаметров установлены в пределах 30...80 мм и 20...70 мм. Для уголка границы размеров оптимального результата ширины полки и толщины полки установлены в пределах 20...100 мм и 1...10 мм. Для швеллера установлены границы размеров оптимального результата для высоты 20...100 мм, ширины полки 10...80 мм, толщины стенки 2...10 мм и толщины полки 2...10 мм.

Устанавливалось число итераций (40 итераций) для получения оптимального результата металлоконструкции конвейера с подвесной лентой. При проведении оптимального проектирования желаемый результат лежал в интервале 20...40 итерации.

Приступали к процедуре оптимального проектирования, которая предусматривает поочередное пошаговое изменение величины варьируемых параметров задачи оптимального проектирования с вычислением на каждом шаге величины целевой функции $C(\{x\}, \{z\})$ оптимизируемого узла КПЛ и проверки соответствия текущих значений размеров поперечных сечений конструктивных элементов установленной системе ограничений при расчете по первой группе предельных состояний. Найденное таким образом оптимальное сочетание геометрических размеров обеспечивает практически полную нагруженность основных несущих конструктивных элементов МК, так как действующие в них эквивалентные напряжения оказываются близки по величине к допускаемым значениям.

В табл. 5 указаны профили поперечных сечений и массы узлов металлоконструкции КПЛ после проведения процедуры оптимального проектирования.

Таблица 5

Результат оптимального проектирования металлоконструкции КПЛ

Узел конвейера		Профиль поперечного сечения	Масса металлоконструкции, кг
Конвейер			2837
Линейная часть		прям. труба 50×25×3, прям. труба 20×10×2	364
Натяжная станция			45
Приводная станция			51
Направляющая	прямолинейная	круг. труба 53×3,5	2049
	криволинейная	круглый профиль 53	328

Из табл. 5 видно, что общая масса металлоемкости конструкции КПЛ составила 2837 кг. Наибольший вклад масс в металлоконструкцию конвейера приходился от МК направляющей и линейной части, включающей 7 линейных секций.

Осуществлялась проверка оптимального варианта металлоконструкции по первой и второй группам предельных состояний при стационарном и нестационарном режимах работы конвейера с подвесной лентой (рис. 5-6).

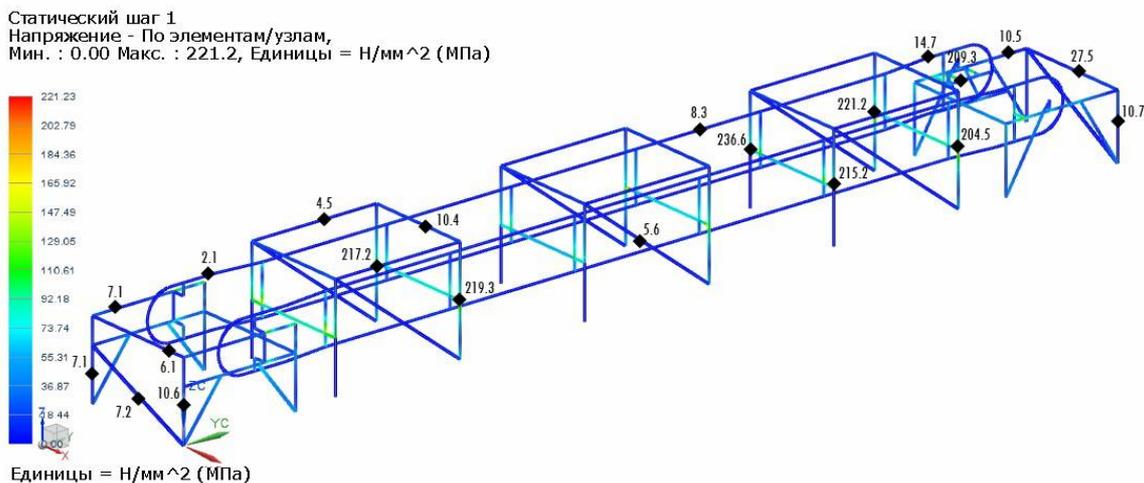


Рис. 5. Эквивалентные напряжения в стержнях и раскосах оптимальной МК

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование при разработке металлоконструкций стационарных конвейеров с подвесной лентой подходов, основанных на оптимальном проектировании, позволяет существенно улучшить их массогабаритные и стоимостные показатели. Это достигается за счет разработанной методики оптимального проектирования, обеспечивающей максимальное использование несущей конструкции элементов стационарного конвейера с подвесной лентой.

2. На основании проведенного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции КПЛ выявлено, что максимальные напряжения возникают в вертикальных стержнях линейной секции МК конвейера. Максимальные эквивалентные напряжения, возникающие в оптимальном варианте металлоконструкции, составляют $\sigma = 261,8$ МПа.

3. Максимальные значения внутренних силовых факторов возникают при нестационарном режиме работы КПЛ с полной загрузкой ленты. При этом данные величины внутренних силовых факторов на (15...20)% превышают значения, возникающие при расчетном случае стационарного режима работы КПЛ с учетом коррозионных ограничений.

4. Минимальные значения внутренних силовых факторов возникают в нижних стержнях и раскосах универсальной расчетной схемы металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой. В процессе оптимального проектирования данные элементы исключаются из расчетной схемы металлоконструкции, как лишние.

Список литературы

1. Бословяк, П.В. Анализ влияния конструктивных и режимных параметров стационарных конвейеров с подвесной лентой на результаты оптимального проектирования их металлоконструкций / П.В. Бословяк, Е.П. Зуева // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2015. - №2. - С. 23-30.

2. Бословяк, П.В. Оптимальное проектирование металлоконструкций стационарных конвейеров с подвесной лентой: дис. ... канд. техн. наук (05.05.04) / П.В. Бословяк. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 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: БГУ, 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».

REALIZATION METHODOLOGY FOR OPTIMAL DESIGN OF STEEL STRUCTURES CONVEYORS WITH HANGING BELT

P.V. Boslovyak, E.P. Zueva

Bryansk State Technical University

Presents the results of optimum design of metal structures of the fixed conveyor with hanging belt. The analysis results optimum design of steel structures of stationary conveyor with hanging belt.

Keywords: steel structures, conveyor with hanging ribbon, optimal design, optimization, parameters, structural nodes, power factors, operational load.

References

1. Boslovyak P.V., Zueva E.P. Analiz vliyaniya konstruktivnykh i rezhimnykh parametrov statsionarnykh konveyerov s podvesnoy lentoy na rezultaty optimalnogo proektirovaniya ikh metallkonstruktsii [Analysis of influence of constructive and regime parameters stationary conveyor with hanging ribbon for their optimum design of steel structures], *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 23-30.
2. Boslovyak P.V. Optimalnoe proektirovanie metallkonstruktsiy statsionarnykh konveyerov s podvesnoy lentoy: dic. ... cand. of tech. science (05.05.04) [Optimal design of steel structures fixed conveyors with hanging belt], 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-tehnicheskiiy 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 metallicheskih konstruktivnykh podyemno-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 metallkonstruktsiy 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 metallkonstruktsiy 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 podyemno-transportnykh mashin* [Optimal design of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiiy 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

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ВАЛОВ МЕХАНИЗМОВ МОСТОВЫХ КРАНОВ С УЧЕТОМ КОРРЕЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Крутицкий М.Н.

Научно-производственное предприятие «Подъемстройналадка»

В работе методом статистических испытаний исследуется влияние корреляции параметров усталостного разрушения на долговечность вала механизма мостового крана общего назначения. Считается, что нормальные и касательные напряжения совместно влияют на общую долговечность вала. При этом может присутствовать корреляция пределов выносливости и коэффициентов подобия блоков нагружения. Для вычисления долговечности используется скорректированная линейная теория накопления усталостных повреждений. Параметры надежности вычисляются после построения функции вероятности безотказной работы напряжением или на основе частных функций вероятности безотказной работы для каждого вида напряжений. Выполнено моделирование в разработанном программном комплексе.

Ключевые слова: вал, механизм, грузоподъемная машина, усталость, долговечность, корреляция параметров, компьютерное моделирование, метод статистических испытаний.

Мостовые краны получили широкое распространение в качестве грузоподъемного оборудования промышленных предприятий. При проектировании мостовых кранов используются типовые подходы к расчету усталостной прочности.

Если объект расчета испытывает воздействие нормальных напряжений, то его долговечность можно вычислить на основе информации о величинах амплитуд напряжений σ_{ai} , возникающих в детали за период эксплуатации l_{σ} , и о количестве повторения этих амплитуд $\nu_{i\sigma}$ ($t_{i\sigma}$ в относительных числах). Совокупность такой информации называется блоком нагружения. Он характеризуют следующие величины: $\sigma_{a\max}^{пред}$ – максимальное напряжение в блоке нагружения; σ_{ai} – амплитуда напряжений в ступени блока действующих нагрузок; $\sigma_{a\max \sigma}$ – амплитуда напряжений в максимальной ступени блока нагружения; ν_{σ} – общая длина блока нагружения. Блок нагружения для элементов несущей металлоконструкции и механизмов мостового крана общего назначения можно построить с использованием методики, рассмотренной в работах [1, 2].

Если срок службы детали до отказа обозначить T , то количество циклов нагружения за срок службы детали равен

$$\lambda = T/l_{\sigma}.$$

Тогда общее количество циклов повторения амплитуд i -го уровня амплитуд σ_{ai} за срок службы равно

$$n_i = \nu_{i\sigma} \lambda,$$

а общее суммарное количество циклов повторения амплитуд всех уровней равно

$$N_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^r n_i = \lambda \nu_{\sigma}.$$

Таким образом, для расчета необходимо использовать какую-либо гипотезу суммирования усталостных повреждений от амплитуд различного уровня.

Наиболее простой гипотезой является линейная теория суммирования усталостных повреждений [3-5], которая предполагает, что разрушение наступает после того, как сумма относительных повреждений $\frac{n_i}{N}$ по всем уровням амплитуд достигает единицы:

$$\sum_{i=1}^r \frac{n_i}{N} = 1,$$

где n_i – общее количество циклов повторения уровня амплитуд σ_{ai} за срок службы.

Однако вычисленное по линейной теории суммирования значение ресурса имеет большую погрешность. Различные исследования показали, что сумма относительных усталостных повреждений $a_p = \sum_{i=1}^r \frac{n_i}{N}$ может сильно отличаться от единицы и колебаться в широких пределах от 0,01 до 10,0 в силу вероятностной природы усталости. Поэтому теорию линейного суммирования можно скорректировать следующим образом [4]:

$$L = \frac{l_{\sigma} a_p \sigma_{-1\sigma}^m N_G}{v_{i\sigma} \sum_{i=1}^r \sigma_{ai}^m t_{i\sigma}},$$

где предельная повреждаемость

$$a_p = \frac{\sigma_{a\max} \xi - 0.5 \sigma_{-1\sigma}}{\sigma_{a\max} - 0.5 \sigma_{-1\sigma}},$$

коэффициент формы блока

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^{r_i} \frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a\max}} \cdot t_{i\sigma}}{\sum_{i=1}^{r_i} t_{i\sigma}},$$

r_i – число ступеней блока нагружения, полученное при отбрасывания ступеней с амплитудой напряжений $\sigma_{ai} < 0.5 \cdot \sigma_{-1\sigma}$.

Приведенные выше формулы справедливы и для воздействия на объект касательных напряжений τ (необходимо заменить в выражениях σ на τ).

Валы механизмов мостовых кранов работают в условиях сложного напряженно-деформированного состояния при одновременном воздействии нормальных и касательных напряжений. При этом при расчетах либо делается допущение о независимом воздействии данных напряжений на усталостную долговечность вала [6, 7], либо используются эквивалентные напряжения по одной из теорий прочности [4, 8].

В работе рассматривается случай, когда установлено совместное воздействие нормальных и касательных напряжений на долговечность вала (существует корреляция параметров усталостного разрушения). В качестве метода исследования усталостной долговечности выбран метод статистических испытаний [4, 5], реализованный в виде программы для ЭВМ (рис. 1).

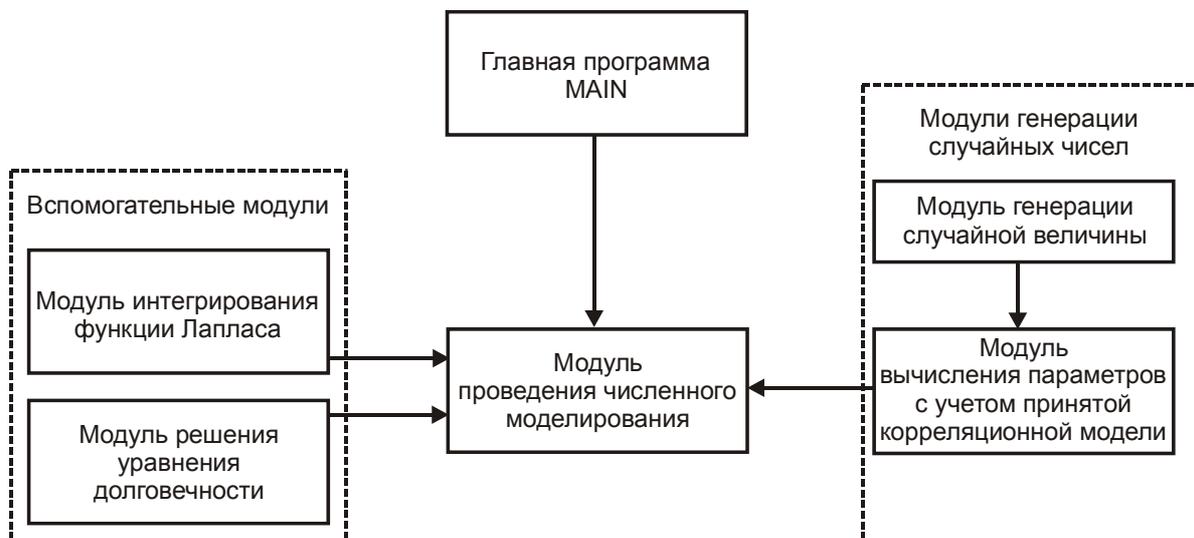


Рис. 1. Блок-схема модулей программы моделирования

В расчетную программу заложены следующие корреляционные модели.

Нулевая корреляция. Пределы выносливости $\sigma_{-1\partial j}$, $\tau_{-1\partial j}$ и коэффициенты подобия блоков нагружения $\varepsilon_{\sigma j}$ и $\varepsilon_{\tau j}$ разыгрываются независимо. Т.е. в каждом j -м вычислительном опыте значение каждого параметра получается с помощью описанного выше датчика распределенных по нормальному закону чисел.

Корреляция пределов выносливости. Параметры $\sigma_{-1\partial j}$, $\varepsilon_{\sigma j}$ и $\varepsilon_{\tau j}$ разыгрываются независимо. Задается явная функциональная связь параметра $\tau_{-1\partial}$ от параметра $\sigma_{-1\partial}$.

Значение пределов выносливости можно получить следующим образом

$$\begin{aligned}\overline{\sigma_{-1\partial j}} &= \overline{\sigma_{-1\partial}} + U_{\sigma_{-1\partial j}} S_{\sigma_{-1\partial}}, \\ \overline{\tau_{-1\partial j}} &= \overline{\tau_{-1\partial}} + U_{\tau_{-1\partial j}} S_{\tau_{-1\partial}},\end{aligned}$$

где $\overline{\sigma_{-1\partial j}}$, $\overline{\tau_{-1\partial j}}$ – медианные значения предела выносливости (с вероятностью 50%); $U_{\sigma_{-1\partial}}$, $U_{\tau_{-1\partial}}$ – квантили пределов выносливости; $S_{\sigma_{-1\partial}}$, $S_{\tau_{-1\partial}}$ – средние квадратические отклонения пределов выносливости.

Полагая равными квантили $U_{\sigma_{-1\partial}}$ и $U_{\tau_{-1\partial}}$, из предпоследнего уравнения получаем $U_{\sigma_{-1\partial}}$ и, подставляя в последнее уравнение, получаем искомую корреляционную связь

$$\overline{\tau_{-1\partial j}} = \overline{\tau_{-1\partial}} + \left(\frac{\overline{\sigma_{-1\partial j}} - \overline{\sigma_{-1\partial}}}{V_{\sigma_{-1\partial}} \overline{\sigma_{-1\partial}}} \right) S_{\tau_{-1\partial}}$$

Возможно построение корреляционной зависимости исходя из следующего условия

$$\frac{\overline{\sigma_{-1\partial j}}}{\overline{\sigma_{-1\partial}}} = \frac{\overline{\tau_{-1\partial j}}}{\overline{\tau_{-1\partial}}},$$

однако, такая постановка может использоваться при равных коэффициентах вариации пределов выносливости по каждой из компонент напряжений.

Корреляция пределов выносливости и коэффициентов подобия блоков напряжений. Параметры $\sigma_{-1\partial j}$ и $\varepsilon_{\sigma j}$ разыгрываются независимо. Аналогично предыдущему случаю задается явная функциональная связь $\tau_{-1\partial}(\sigma_{-1\partial})$ и $\varepsilon_{\tau j}(\varepsilon_{\sigma j})$.

Функция вероятности безотказной работы вала (ФВБР) строится с помощью метода статистических испытаний либо напрямую, либо после перемножения частных ФВБР по каждому виду напряжений.

Алгоритм прямого построения ФВБР заключается в следующем. При ступенчатой функции распределения амплитуд напряжений выражение для усталостной долговечности L согласно скорректированной линейной теории накопления усталостных повреждений Серенсена-Когаева имеет вид [3, 4]

$$L_{\sigma} = \frac{l_{\sigma} a_p \sigma_{-1\partial}^m N_G}{\varepsilon^m v_{i\sigma} \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}^m t_{i\sigma}}$$

По правилам метода статистических испытаний в j -м вычислительном опыте моделируются значения случайных величин $\sigma_{-1\partial j}$ и ε_j в соответствии с нормальным законом распределения и с учетом корреляционных связей по описанным выше моделям.

Случайные величины m_j и N_{Gj} моделируются согласно [4] на основе полученного случайного значения предела выносливости:

$$m = \frac{\overline{\sigma_{-1\partial j}}}{\overline{\sigma_{-1\partial}}} m,$$

$$\lg N_{Gj} = \lg \overline{N_G} \left(1 + \frac{\overline{\sigma_{-1dj}} - \overline{\sigma_{-1d}}}{\overline{\sigma_{-1d}} \overline{v_{\sigma_{-1d}}}} \overline{v_{\lg N_G}} \right),$$

где $\overline{\sigma_{-1d}}$, \overline{m} , $\lg \overline{N_G}$ – медианные значения соответствующих величин.

Другие случайные величины считаем детерминированными. В расчете используем их медианные значения.

Далее вычисляем значения частных усталостных долговечностей по каждой компоненте напряжений для текущего вычислительного опыта по формуле

$$L_{\sigma j} = \frac{l_{\sigma} a_{pj} \overline{\sigma_{-1dj}}^m N_G}{\varepsilon_{\sigma j}^m v_{i\sigma} \sum_{i=1}^{r_i} \overline{\sigma_{ai}}^m t_{i\sigma}}$$

где предельная повреждаемость

$$a_{pj} = \frac{\overline{\sigma_{a \max j}} \xi_j - 0.5 \overline{\sigma_{-1dj}}}{\overline{\sigma_{a \max j}} - 0.5 \overline{\sigma_{-1dj}}},$$

максимальное напряжение блока

$$\overline{\sigma_{a \max j}} = \overline{\sigma_{a \max}} \cdot \varepsilon_{\sigma j},$$

коэффициент формы блока

$$\xi_j = \frac{\sum_{i=1}^{r_i} \frac{\overline{\sigma_{aij}}}{\overline{\sigma_{a \max j}}} \cdot t_{i\sigma}}{\sum_{i=1}^{r_i} t_{i\sigma}},$$

r_i – число ступеней блока нагружения, полученное при отбрасывания ступеней с $\overline{\sigma_{aij}} < \overline{\sigma_{-1dj}}$.

Если $\overline{\sigma_{a \max j}} < \overline{\sigma_{-1dj}}$, то разрушение детали не наблюдается.

Находим общую долговечность L из уравнения [4]

$$\left(\frac{L}{L_{\sigma}} \right)^{\frac{2}{m_{\sigma}}} + \left(\frac{L}{L_{\tau}} \right)^{\frac{2}{m_{\tau}}} = 1.$$

Решение уравнения производится численно методом Ньютона. Если разрушение наступает только по одной из компонент напряжений, то общая долговечность равна соответствующей частной долговечности.

Повторяя вычислительные опыты M раз, получаем выборку значений L размером $m^* < M$. Для получения устойчивых значений вероятности разрушения количество вычислительных опытов принимаем равным 100 000. При этом, если по данным численного испытания разрушилось менее 30 деталей, считаем выборку долговечности не представительной, а результаты эксперимента не точными.

Для заданной наработки L_{pi} вероятность неразрушения (безотказной работы) P определяется по формуле

$$P = 1 - n(L_{pi}) / M,$$

где $n(L_{pi})$ – число опытов, где отказ наступает за время меньше L_{pi} .

При программной реализации этого принципа вся расчетная долговечность L_p разделяется на несколько промежутков L_{pi} . Однако, как показали расчеты, такой подход к построению функции вероятности безотказной работы дает некорректные результаты. Для построенной таким образом функции наблюдается большой разброс и резкие скачки значений. Поэтому для построения функции вероятности безотказной работы используем гипотезы о нормальном распределении логарифма усталостной долговечности. В его основе лежит анализ вероятности двух событий.

1. Событие А, при котором в данном опыте в блоке нагружения содержатся ступени с напряжением, превышающим предел выносливости, т.е. долговечность конечна.

2. Событие В, при котором долговечность не превышает заданную L_{pi} .

Теоретическая оценка вероятности разрушения P за заданную наработку L_{pi} определяется как произведение вероятностей событий А и В:

$$P = P(A)P(B).$$

Вероятность события А определяем как

$$P(A) = \frac{m^*}{M}.$$

Вероятность события В определяем по формуле

$$P(B) = 0.5 + \Phi_0(z),$$

где $\Phi_0(z)$ – функция Лапласа

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx,$$

$$z = \frac{\lg L - \overline{\lg L}}{S_{\lg L}},$$

где $\overline{\lg L}$ и $S_{\lg L}$ вычисляются следующим образом:

$$\left(\frac{\overline{L}}{L_\sigma}\right)^{\frac{2}{m_\sigma}} + \left(\frac{\overline{L}}{L_\tau}\right)^{\frac{2}{m_\tau}} = 1 \Rightarrow \overline{\lg L},$$

где \overline{L}_σ и \overline{L}_τ – средние значения долговечности по каждой из компонент напряжений;

$$S_{\lg L}^2 = \left[1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{\overline{L}_\tau}{\overline{L}_\sigma}\right)^m}\right] \cdot S_{\lg L_\sigma}^2 + \left[1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{\overline{L}_\sigma}{\overline{L}_\tau}\right)^m}\right] \cdot S_{\lg L_\tau}^2,$$

где $S_{\lg L_\sigma}$ и $S_{\lg L_\tau}$ вычисляются как для случая построения ФВБР по частным ФВБР.

Построение ФВБР по частным ФВБР осуществляется следующим образом. Получив две вероятности безотказной работы: P_σ и P_τ , общую вероятность безотказной работы получаем по формуле

$$P = P_\sigma P_\tau.$$

Для использования последней формулы необходимо, чтобы ВБР были построены с одинаковым шагом по наработке.

При этом:

$$\overline{\lg L} = \frac{1}{m^*} \sum_{j=1}^{m^*} Lg L_j,$$

$$S_{\lg L} = \sqrt{\frac{1}{m^* - 1} \sum_{j=1}^{m^*} (Lg L_j - \overline{\lg L})^2}.$$

Для того, чтобы сравнить влияние корреляционной модели на результаты численного моделирования в областях как низкой, так и высокой надежности, при прочих равных параметрах варьировались блоки нагружения. При этом блок касательных напряжений оставался постоянным, а блок нормальных напряжений домножался на требуемый коэффициент (от 0,55 до 1,45). При коэффициенте 1,0 блок нормальных совпадал с блоком касательных напряжений.

Задача решалась для следующих исходных данных:

- Число степеней блоков нагружения $k_\sigma = 7, k_\tau = 7$.
- Медианное значение числа циклов $v_{\sigma\sigma} = 1 \cdot 10^6, v_{\sigma\tau} = 575 \cdot 10^3$.
- Коэффициенты вариации числа циклов $V_{\lg v_{\sigma\sigma}} = 0, V_{\lg v_{\sigma\tau}} = 0$.
- Длительности блоков l_σ и l_τ принимается равной одному году.
- Блок нагружения:

σ_{ai}	$t_{\sigma ai}$
55.0	0.01739
48.2	0.02609
41.2	0.60870
33.4	0.13043
27.5	0.16522
20.6	0.34783
13.8	0.25217

- Коэффициенты вариации амплитуд напряжений $V_{\sigma_{ai}} = 0.1, V_{\tau_{ai}} = 0.1$.
- Медианные значения пределов выносливости (МПа) $\overline{\sigma_{-1\sigma}} = 44, \overline{\tau_{-1\sigma}} = 44$.
- Коэффициенты вариации пределов выносливости $V_{\sigma_{-1\sigma}} = 0.1, V_{\tau_{-1\sigma}} = 0.1$.
- Абсциссы точки перелома медианной кривой усталости $N_{G\sigma} = 1 \cdot 10^6, N_{G\tau} = 1 \cdot 10^6$.
- Коэффициенты вариации логарифма абсциссы точки перелома медианной кривой усталости $V_{\lg N_{G\sigma}} = 0.04, V_{\lg N_{G\tau}} = 0.04$.
- Показатели наклона медианной кривой усталости $m_\sigma = 10, m_\tau = 10$.
- Расчетная наработка $L_p = 1$.
- Шаг изменения наработки $\Delta L_p = 0.1$.

На рис. 2 приведена сетка из кривых вероятности безотказной работы при отсутствии корреляции, построенных для различной надежности. Видно, что в окрестности 0 и 1 наблюдается сгущение сетки.

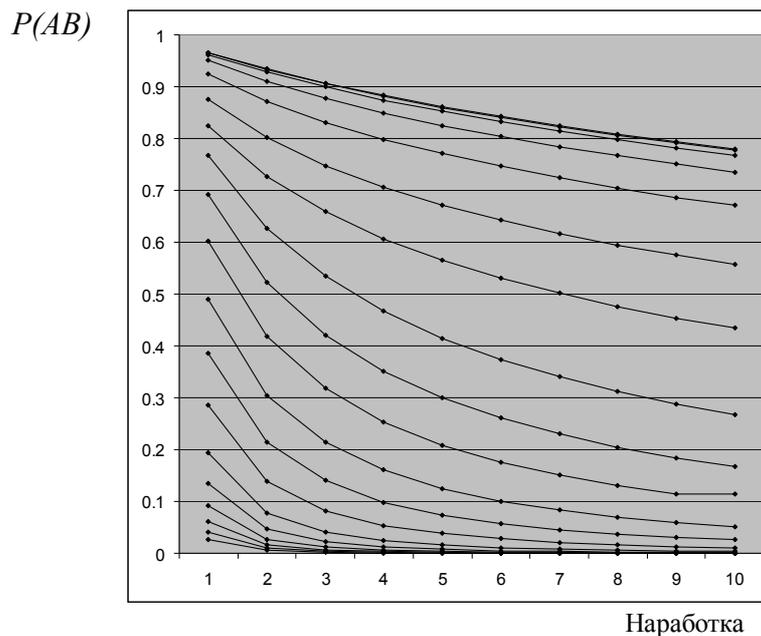


Рис. 2. Сетка ФВБР при разной надежности (нет корреляции)

На рис. 3 приведена такая же сетка для случая корреляции пределов выносливости.

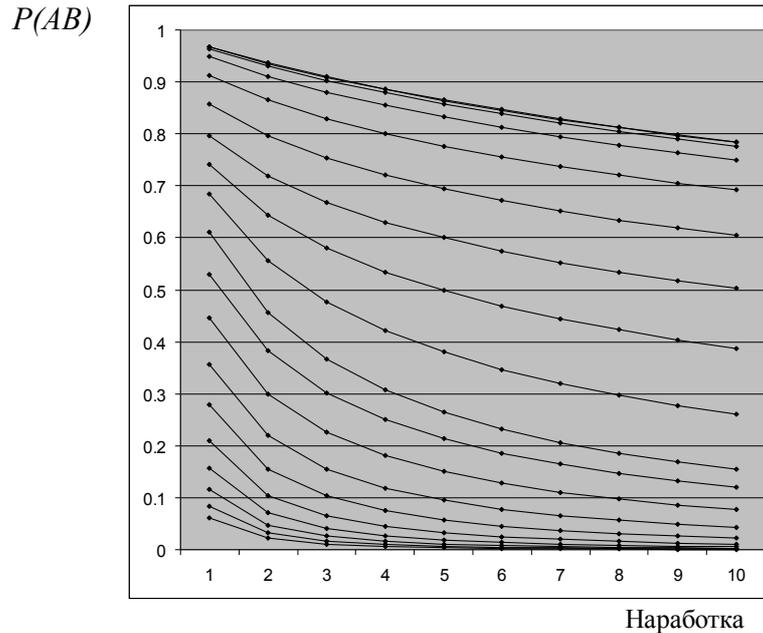


Рис. 3. Сетка ВБР при разной надежности (корреляция ПВ)

На основе анализа влияния корреляционной модели на результаты расчета усталостной долговечности можно сделать следующие выводы.

1. Моделирование случайных величин, определяющих сопротивление усталости деталей машин и элементов конструкций, подвергающихся действию нормальных и касательных напряжений, с учетом корреляции между ними ведет к повышению вероятности безотказной работы. Наиболее сильно (15... 25 %) это проявляется в области низкой надежности, т.е. при наличии большого числа ступеней соответствующих блоков нагружения, существенно превосходящих по своей амплитуде соответствующие пределы выносливости.

2. В целом, в областях низкой надежности по значениям вероятности безотказной работы корреляционные модели расположены так: модель без учета корреляции параметров; модель с учетом корреляции только пределов выносливости; модель с учетом корреляции как пределов выносливости, так и коэффициентов подобия блоков.

3. В области высокой надежности учет корреляционных связей не дает заметного изменения вероятности безотказной работы. Разница составляет (0,5 ... 2,0 %). При этом для малых временных интервалах (приблизительно 5...20% от максимальной расчетной наработки) вероятность безотказной работы, вычисленная без учета корреляционных связей, несколько превосходит вероятности, вычисленные с учетом корреляционных связей).

4. В целом, в областях высокой надежности по значениям вероятности безотказной работы корреляционные модели расположены так: модель с учетом корреляции как пределов выносливости, так и коэффициентов подобия блоков; модель без учета корреляции параметров; модель с учетом корреляции только пределов выносливости.

5. В областях низкой надежности при учете корреляции пределов выносливости и коэффициентов подобия блоков по компонентам напряжений вероятность безотказной работы несколько выше (0,1... 2,0 %), чем при учете корреляции только пределов выносливости.

6. Наблюдается сгущение сетки функций вероятности безотказной работы в областях 0 и 1. Ширина зон повышенной густоты примерно 0,1... 0,2.

Наиболее точной представляется модель, учитывающая корреляцию пределов выносливости детали. Однако, следует признать, что точные зависимости пока не установлены в силу сложности и дороговизны соответствующих исследований. Взаимосвязь блоков нагружения явно наблюдается только для валов и валоподобных (как по геометрическим, так и по силовым соображениям) деталей и элементов конструкций.

Список литературы

1. Лагерев, И.А. Анализ динамической нагруженности мостового крана общего назначения / И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – № 1. – С. 49-54. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/index.php/ntv-bgu-2015-01-09>.
2. Лагерев, И.А. Влияние подкрановой конструкции на динамическую нагруженность мостового крана / И.А. Лагерев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – № 5-3. – С. 3-10.
3. Серенсен, С.В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / Руководство и справочное пособие под ред. С.В. Серенсена, 3-е изд. / С.В. Серенсен, В.П. Кобаев, Р.М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение., 1975. – 488 с.
4. Шлющенко, А.П. Нагруженность и расчеты деталей машин и элементов конструкций на прочность и долговечность / А.П. Шлющенко. – Брянск: БИТМ, 1991. – 156 с.
5. Лагерев, А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2010. – 180 с.
6. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование валов барабанов грузоподъемных кранов мостового типа на основе моделирования усталостного отказа / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2008. – №2. – С. 57-65.
7. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование вала барабана грузоподъемных кранов общего назначения / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006. – №4. – С. 14-21.
8. 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. – С. 4-7.

Сведения об авторе

Крутицкий Михаил Наумович – кандидат технических наук, технический директор Научно-производственного предприятия «Подъемстройналадка» (г. Санкт-Петербург), mn_krut010@yandex.ru.

THE BRIDGE CRANE MECHANISM SHAFT RELIABILITY CALCULATING IN CASE OF THE FATIGUE FRACTURE PARAMETERS CORRELATION

M.N. Krutitskiy

Scientific production enterprise «Podemstroynaladka»

The method of statistical tests examines the impact of the correlation of the parameters of fatigue-such as the durability of the shaft mechanism of an overhead traveling crane for General use is under consideration in this article. It is believed that the normal and shear stresses together affect the overall durability of the shaft. There may be a correlation between endurance limits and coefficients of block similarity of loading. To calculate resource used corrected linear theory of fatigue damage accumulation. Parameters on the reliability are computed after building the function, the reliability function directly or through private functions the reliability function for each type of stress.

Keywords: *shaft, mechanism, hoisting machine, fatigue, durability, correlation of parameters, computer simulation, method of statistical tests.*

References

1. Lagerev I.A. Overhead crane dynamics simulation, *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 49-54. – Available: <http://ntv-brgu.ru/index.php/ntv-bgu-2015-01-09>.

2. Lagerev I.A. Dynamic forces in a bridge crane metal construction under the influence of crane track construction, *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, No. 5-3, pp. 3-10.

3. Serensen S.V., Kogaev V.P., Shneyderovich R.M. *Nesuchshaya sposobnost i raschety mashin na prochnost* [Bearing capacity and calculations of machine parts for strength]. Moscow, Mashinostroenie, 1975. 488 p.

4. Shlyushenkov A.P. *Nagruzhennost i raschety detaley mashin i elementov konstruktsiy na prochnost i dolgovechnost* [Loading and calculations of machine parts and structural elements for strength and durability]. Bryansk, BITM, 1991. 156 p.

5. Lagerev A.V. *Nagruzhennost podemno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p.

6. Lagerev A.V., Lagerev I.A. An optimum design of the common crane roll shaft based on simulation of fatigue fault, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, No.2, pp. 57-65.

7. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimum design of the common crane roll shaft, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, No.4, pp. 14-21.

8. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Trunk pipeline welding machine crane-manipulator optimization during its modernization, *Podyemno-transportnoe delo*, 2013, No.1, pp. 4-7.

Author' information

Mikhail N. Krutitskiy - Candidate of technical Sciences, technical Director of Scientific production enterprise «Podemstroynaladka» (St. Petersburg), mn_krut010@yandex.ru.

УДК 621.867

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ВЕДУЩИХ РОЛИКОВ ПРИВОДНЫХ ПОДВЕСОК КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ

А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского»,

Разработана математическая модель конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, реализующая движение ведущих роликов приводных подвесок в различных режимах. Приведены результаты моделирования.
Ключевые слова: математическая модель, ленточный конвейер, подвесная лента, распределенный привод, подвеска, режимы движения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ для научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант) № 16-38-00058.

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом – наиболее перспективная разработка в направлении совершенствования и модернизации традиционных ленточных конвейеров, являвшихся на протяжении десятилетий неотъемлемой составляющей производственного процесса. Разработанный конвейер лишен большинства главных проблем, возникающих при эксплуатации ленточных конвейеров в результате взаимодействия грузонесущей ленты со стационарными роlikоопорами [1], хотя и представляет определенные трудности при организации его промежуточной разгрузки [2]. Причина этому – принципиально отличающийся подход в способе удержания ленты. В новой конструкции борта ленты прикреплены к размещенным вдоль трассы конвейера подвескам, которые перемещаются по направляющим качения и поддерживают ленту в подвешенном положении (рис. 1). К тому же главной отличительной особенностью представленной конструкции по сравнению с существующими аналогами является оснащение части подвесок индивидуальным приводом [3, 4], служащим для приведения системы в движение (рис. 2). Такое техническое решение позволяет не только увеличить ресурс самого дорогого элемента конвейера – грузонесущей ленты, но и повысить надежность работы системы за счет резервирования ее элементов.

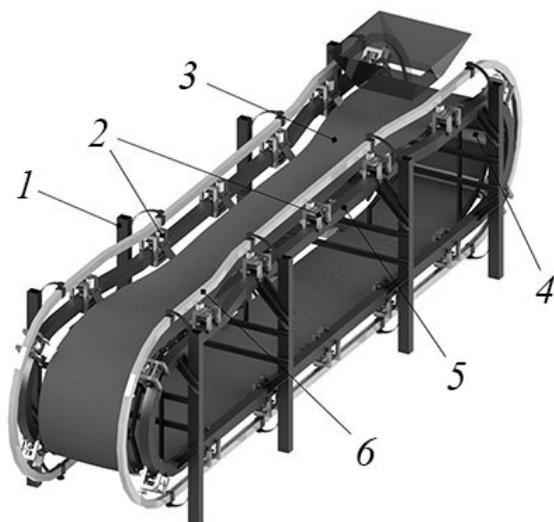


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1 – став; 2 – подвески; 3 – лента; 4 – стационарные роlikовые опоры; 5 – направляющие качения; 6 – токоведущие троллеи.

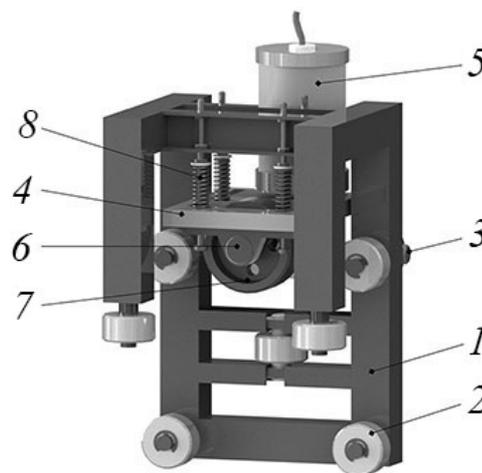


Рис. 2. Общий вид приводной подвески: 1 – металлоконструкция несущей секции; 2 – роlikи; 3 – ось для крепления к ленте; 4 – металлоконструкция прижимной секции; 5 – мотор-редуктор; 6 – подшипниковая опора; 7 – приводной ролик; 8 – прижимное устройство.

Анализ и оценку динамических процессов, возникающих при работе конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, с целью выбора рациональных параметров основных элементов и узлов еще на этапе проектирования целесообразно выполнять на основе математического моделирования. Ранее авторами разработаны модели движения дискретного участка (группы подвесок, состоящих из одной приводной и нескольких неприводных подвесок) и всего конвейера [5-9]. Однако учитывая используемый достаточно ненадежный фрикционный способ передачи тягового усилия ведущими роликами приводных подвесок важно реализовать в математической модели возможные режимы качения приводных роликов в процессе работы конвейера. Так как характер движения приводных роликов определяет эффективность работы конвейерной установки.

Расчетная схема конвейера (рис. 3) строится с учетом следующих допущений:

- 1) конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом моделируется системой соединенных друг с другом упруго-вязкими связями дискретных масс;
- 2) каждая дискретная масса характеризует подвеску с сопряженным с ней участком ленты и грузом и представлена роликом с приведенными к его центру силами и массами;
- 3) пренебрегается продольным провисанием ленты под действием груза и ее поперечными колебаниями, приводящим к возникновению дополнительных сопротивлений;
- 4) ролики подвесок являются абсолютно жесткими, недеформируемыми элементами;
- 5) насыпной груз равномерно распределен между подвесками;
- 6) подвески на разноименных направляющих расположены абсолютно симметрично и имеют равные перемещения, скорости и ускорения.

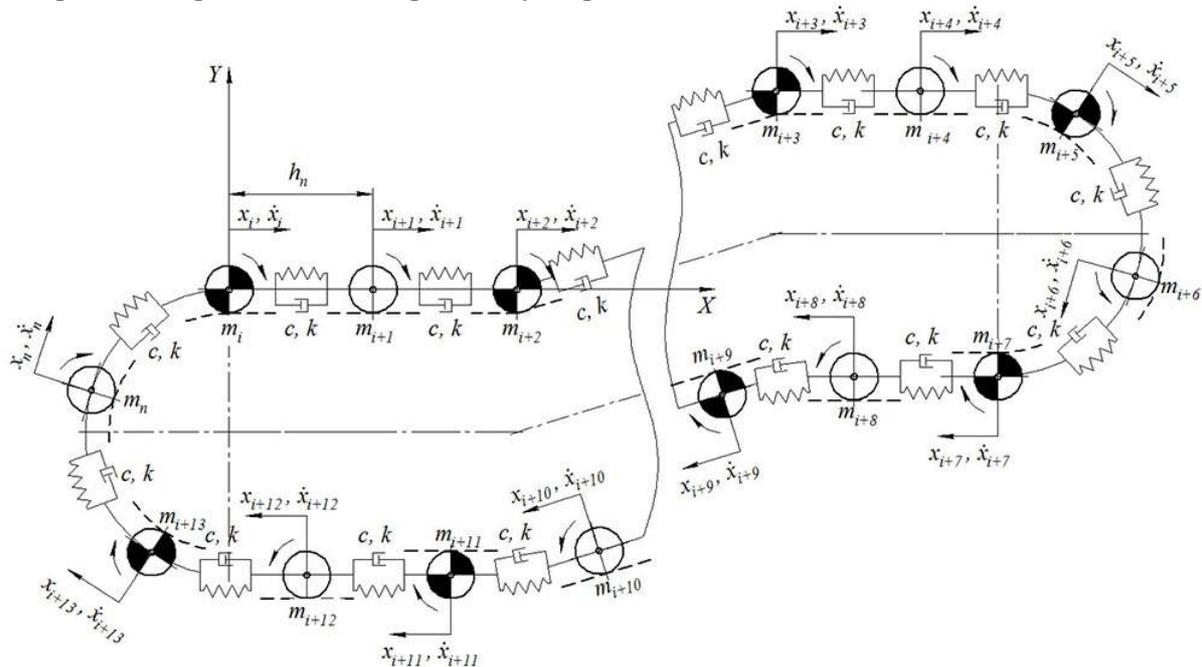


Рис. 3. Расчетная схема конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Динамика конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом описывается соотношениями, полученными на основании принципа Даламбера. Связи заменены их реакциями и приложены вместе с силами инерции и инерционными моментами к каждому элементу системы (рис. 4).

Уравнения динамики ведущего ролика (рис. 4, а) приводной подвески в рассматриваемой математической модели принимают вид

$$\begin{cases} m_{ni} \ddot{x}_{ni} = F_{cu_i} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}); \\ m_{ni} \ddot{y}_{ni} = N_{np_i} - G''_n \cos \alpha_i - F_{np}; \\ J_{oni} \ddot{\varphi}_{ni} = M_{kp_i} - F_{cu_i} r_{np} - N_{np_i} f_{np} - M_{\Sigma i}^{np}, \end{cases}$$

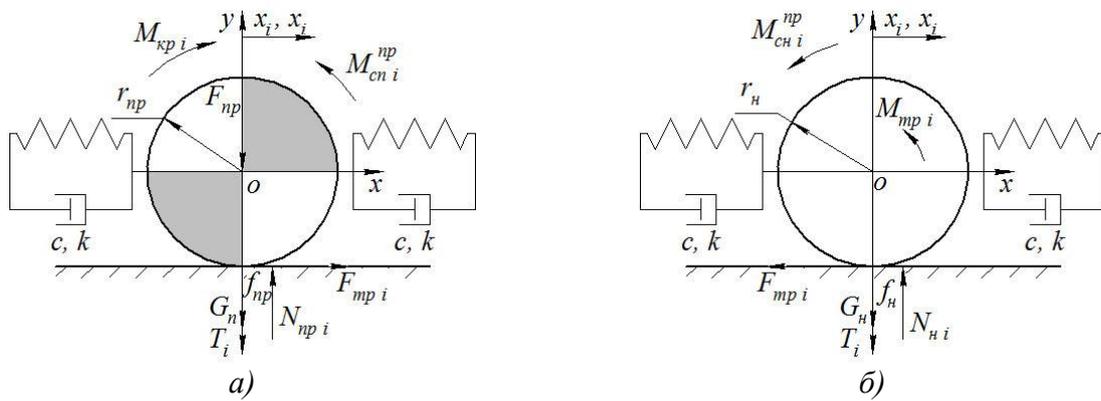


Рис. 4. Расчетные схемы роликов: а – приводного; б – холостого

где \ddot{x}_n, \ddot{y}_n – линейные ускорения ведущего ролика в направлении соответствующих осей; $\ddot{\varphi}_n$ – угловое ускорение ведущего ролика относительно оси вращения; \dot{x}, x – скорости и перемещения роликов подвесок; m_n, J_{on} – приведенные масса и момент инерции приводной подвески; G_n, G''_n – силы тяжести приводной подвески и прижимной секции приводной подвески; T – усилие от тяжести груза и ленты, действующее со стороны крепления подвески с лентой; F_{np} – сила, действующая на ведущий ролик со стороны прижимного устройства; N_{np} – сила нормальной реакции опорной поверхности; F_{cy} – сила сцепления ведущего ролика с опорной поверхностью; M_{kp} – крутящий момент мотор-редуктора приводной подвески; M_{Σ}^{np} – приведенный момент сопротивления движению приводной подвески; f_{np} – коэффициент трения качения ведущего ролика с опорной поверхностью; c – приведенная жесткость упругого элемента (ленты); k – коэффициент сопротивления демпфирующего элемента; r_{np} – наружный радиус ведущего ролика; α – угол наклона подвески в вертикальной плоскости; β – угол наклона бортов ленты к горизонту; i – порядковый номер подвески;

Движение ведомого ролика неприводной подвески (рис. 4, б) описывается следующими дифференциальными отношениями:

$$\begin{cases} m_{ni}\ddot{x}_{ni} = -F_{cy_i} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i(\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}); \\ m_{ni}\ddot{y}_{ni} = N_{ni} - (G_n + T_i \sin \beta_i) \cos \alpha_i; \\ J_{oni}\ddot{\varphi}_{ni} = F_{cy_i}r_n - N_{ni}(f_n + \mu_{no}r_o) - M_{\Sigma i}^{np}, \end{cases}$$

где \ddot{x}_n, \ddot{y}_n – линейные ускорения ведомого ролика в направлении соответствующих осей; $\ddot{\varphi}_n$ – угловое ускорение ведомого ролика относительно оси вращения; m_n, J_{on} – приведенные масса и момент инерции неприводной подвески; G_n – сила тяжести неприводной подвески; N_n – сила нормальной реакции опорной поверхности; F_{cy} – сила сцепления ведомого ролика с опорной поверхностью; M_{Σ}^{np} – приведенный момент сопротивления движению неприводной подвески; f_n – коэффициент трения качения ведомого ролика с опорной поверхностью; μ_{no} – коэффициент трения скольжения в оси ролика; r_n – наружный радиус ведомого ролика; r_o – внутренний радиус ведомого ролика.

В процессе перемещения ролики не отрываются от опорной поверхности, следовательно,

$$y_{ni} = r_{np} = const \text{ и } y_{ni} = r_n = const,$$

а, значит, и

$$\dot{y}_{ni} = \dot{y}_{ni} = 0.$$

Считая, что ведомые ролики подвесок вращаются без проскальзывания, справедливо уравнение кинематических связей:

$$\ddot{x}_{ni} = \ddot{\varphi}_{ni} r_n.$$

Ведущие ролики приводных подвесок имеют возможность двигаться в одном из возможных режимов качения.

В том случае, когда скорость точки соприкосновения ролика с неподвижной опорой направляющей качения больше нуля

$$\dot{\varphi}_{ni} r_{np} - \dot{x}_{ni} > 0,$$

происходит буксование приводного ролика. Сила трения определяется как

$$F'_{cu_i} = \mu_{np} N_{np_i} = \mu_{np} (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}),$$

где μ_{np} – коэффициент трения скольжения ведущего ролика по опорной поверхности.

Если же скорость точки соприкосновения ролика с неподвижной опорой направляющей качения меньше нуля

$$\dot{\varphi}_{ni} r_{np} - \dot{x}_{ni} < 0,$$

движение подвески сопровождается скольжением (юзом) ведущего ролика. Сила трения равна:

$$F''_{cu_i} = -\mu_{np} N_{np_i} = -\mu_{np} (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}).$$

В противном случае, когда точка соприкосновения ролика с опорной поверхностью неподвижна

$$\dot{\varphi}_{ni} r_{np} - \dot{x}_{ni} = 0,$$

и происходит чистое качение ведущего ролика без проскальзывания по опорной поверхности. Сила трения определяется, полученным на основе уравнения кинематических связей, выражением:

$$F_{cu_i} = \frac{1}{J_{oi} + m_i r_{np}^2} \left[m_i r_{np} (M_{kp_i} - M_{\Sigma}^{np} - (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}) f_{np}) - J_{oi} ((G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1})) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) \right]$$

Преобразовав системы уравнений движения подвесок с учетом возможности проскальзывания только приводных роликов модели, получим:

– ускорение центра масс неприводного ролика ведомой подвески

$$\ddot{x}_{ni} = \frac{r_n}{J_{oni} + m_{ni} r_n^2} \left[-M_{\Sigma i}^{np} + r_n ((G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1})) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) - (f_n + \mu_{no} r_n) (G_n + T_i \sin \beta_i) \cos \gamma_i \right]$$

– ускорение центра масс и угловое ускорение приводного ролика:

$$\begin{cases} \ddot{x}_{ni} = \frac{1}{m_{ni}} (F_{cu_i} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1})) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}); \\ \ddot{\varphi}_{ni} = \frac{1}{J_{oni}} (M_{kp_i} - F_{cu_i} r_{np} - (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}) f_{np} - M_{\Sigma i}^{np}) \end{cases}$$

Приведенные уравнения характеризуют динамику приводных и неприводных подвесок. Динамическое поведение конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом определяется решением системы дифференциальных уравнений первого порядка, количество которых зависит от численности и типа подвесок. Общий вид системы уравнений выглядит как:

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{dx_1}{d\tau} = \dot{x}_1; \\
 & \frac{d\dot{x}_1}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_1 + H_1)} \left[F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1) + (G_{II} + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_1 + H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 + H_1) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_1 - x_2 - x_n) - (2\xi \sqrt{M_n(x_1 + H_1)}) \cdot (2\dot{x}_1 - \dot{x}_2 - \dot{x}_n) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_1}{d\tau} = \dot{\varphi}_1; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_1}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_1 + H_1)} \left[M_{кр}(\dot{\varphi}_1) - F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1) \cdot r_n - M_{ПРИБ1}(x_1 + H_1) - \right. \\
 & \left. - f_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np}) \right]; \\
 & \frac{dx_2}{d\tau} = \dot{x}_2; \\
 & \frac{d\dot{x}_2}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_2 + H_2) + M_{nn}(x_2 + H_2) \cdot r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_2 + H_2) + r \cdot [(G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2 + H_2)) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \sin \gamma(x_2 + H_2) - c \cdot (2x_2 - x_3 - x_1) - (2\xi \sqrt{M_n(x_2 + H_2)}) \cdot (2\dot{x}_2 - \dot{x}_3 - \dot{x}_1) - \right. \\
 & \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2 + H_2)) \cdot \cos \gamma(x_2 + H_2) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_j}{d\tau} = \dot{x}_j; \\
 & \frac{d\dot{x}_j}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_j + H_j)} \left[F_{cu}(x_j, x_{j+1}, x_{j-1}, \dot{x}_j, \dot{x}_{j+1}, \dot{x}_{j-1}, \dot{\varphi}_j) + (G_{II} + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_j + H_j)) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \sin \alpha(x_j + H_j) - c \cdot (2x_j - x_{j+1} - x_{j-1}) - (2\xi \sqrt{M_n(x_j + H_j)}) \cdot (2\dot{x}_j - \dot{x}_{j+1} - \dot{x}_{j-1}) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_j}{d\tau} = \dot{\varphi}_j; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_j}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_j + H_j)} \left[M_{кр}(\dot{\varphi}_j) - F_{cu}(x_j, x_{j+1}, x_{j-1}, \dot{x}_j, \dot{x}_{j+1}, \dot{x}_{j-1}, \dot{\varphi}_j) \cdot r_n - \right. \\
 & \left. - M_{ПРИБ1}(x_j + H_j) - f_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_j + H_j) + F_{np}) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_n}{d\tau} = \dot{x}_n; \\
 & \frac{d\dot{x}_n}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_n + H_n) + M_{nn}(x_n + H_n) \cdot r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_n + H_n) + r \cdot [(G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n + H_n)) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \sin \gamma(x_n + H_n) - c \cdot (2x_n - x_1 - x_{n-1}) - (2\xi \sqrt{M_n(x_n + H_n)}) \cdot (2\dot{x}_n - \dot{x}_1 - \dot{x}_{n-1}) - \right. \\
 & \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n + H_n)) \cdot \cos \gamma(x_n + H_n) \right];
 \end{aligned} \right\}$$

где сила сцепления ведущего ролика приводной подвески определяется по условию вида:

$$F_{cy}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \phi_1) = \begin{cases} \mu_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 > 0; \\ -\mu_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 < 0; \\ \frac{1}{J_n(x_1 + H_1) + M_n(x_1 + H_1) \cdot r_n^2} \left[M_n(x_1 + H_1) \cdot r_n \cdot (M_{кр}(\phi_1) - \right. \\ \left. - M_{ПРИВ1}(x_1 + H_1) - f_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np})) - \right. \\ \left. - J_n(x_1 + H_1) \cdot ((G_{II} + Q_L + Q_r(x_1 + H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 + H_1)) - \right. \\ \left. - c \cdot (2x_1 - x_2 - x_n) - (2\xi \sqrt{M_n(x_1 + H_1)}) \cdot (2\dot{x}_1 - \dot{x}_2 - \dot{x}_n) \right] \end{cases}$$

Представленная система дифференциальных уравнений решается численным интегрированием по методу Рунге-Кутты 4 порядка.

В качестве примера выполнено моделирование работы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, имеющим технические параметры, представленные в таблице.

Таблица

Исходные данные для расчета модельного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Технический параметр	Обозначение	Величина
Суммарная длина направляющей качения, м	L_{mp}	15,14
Длина линейной секции, м	L	6
Расстояние до зоны загрузки, м	L_3	0,6
Расстояние до зоны разгрузки, м	L_p	5,4
Длина загрузочной секции, м	l_3	0,6
Радиус поворотной секции, м	R	0,5
Проекция наклонного участка, м	$l_{накл}$	4
Начало наклонного участка, м	$l_{н1}$	1
Конец наклонного участка, м	$l_{н2}$	5
Угол наклона, град	δ	5
Длина выполаживающего участка, м	l_n	0,5
Наружный радиус приводного ролика, м	r_n	0,07
Наружный радиус холостого ролика, м	r	0,025
Внутренний радиус ролика, м	r_0	0,006
Масса неприводной подвески, кг	$m_{НП}$	5,5
Масса неприводного ролика, кг	m_n	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески, кг	$m_{мкнп}$	$m_{НП} - 6m_n = 5,08$
Масса приводной подвески, кг	m_{II}	15
Масса прижимной секции, кг	$m_{ПС}$	5
Масса приводного ролика, кг	m_p	2,5

Окончание таблицы

Технический параметр	Обозначение	Величина
Масса металлоконструкции приводной подвески, кг	$m_{мпн}$	$m_{мпн} = m_{П} - m_{ПС} - m_{р} - 6m_{н} = 7,08$
Крутящий момент номинальный, Н·м	$M_{крн}$	5,5
Скорость вращения номинальная (об/мин)	n_n	70
Скорость вращения без нагрузки (об/мин)	n_x	80
Скорость движения ленты, м/с	$v_{зр}$	$2\pi n_n r_n = 0,513$
Коэффициент трения качения (резина-сталь), м	f_1	0,0077
Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	μ_1	0,5
Коэффициент трения качения (сталь-сталь), м	f_2	0,001
Коэффициент трения скольжения в осях	μ_2	0,02
Сила прижатия прижимного устройства, Н	$F_{пр}$	195
Расчетная производительность, т/ч	Q_p	100
Плотность груза, т/м ³	ρ	1,4
Угол естественного откоса груза, град	φ	45
Плотность ленты, кг/м ³	$\rho_{л}$	1,1
Число прокладок ленты	$n_{сл}$	2
Толщина прокладки/верхней обкладки/нижней обкладки, мм	n_e / n_n	3/1
Число подвесок общее, шт	n	12
Число приводных подвесок, шт	n_n	4
Количество холостых роликов в приводной подвеске, шт	$k_{рп}$	6
Количество холостых роликов в неприводной подвеске, шт	$k_{рн}$	6

По коэффициенту буксования (рис. 5) можно оценить характер движения ведущего ролика одной из четырех приводных подвесок. В момент пуска конвейера движение приводной подвески сопровождается буксованием ведущего ролика. Далее при движении по грузонесущей ветви, момент времени от 1,3 до 14,6 секунды, приводной ролик движется с небольшими потерями сцепления (величина коэффициента буксования до 1,9 %). При перемещении по концевому поворотному участку и холостой ветви конвейера, момент времени от 14,6 до 29,3 секунды, буксование значительно увеличивается (до 14 %). А величина скольжения ролика по направляющей качения не превышает 0,6 % на всем протяжении трассы.

На рис. 6 – 11 представлены динамические характеристики приводной подвески конвейера, полученные без учета режимов движения колеса (скольжение, буксование) и при моделировании по предлагаемой математической модели, позволяющей реализовать такие режимы.

Разработанная математическая модель позволяет проводить анализ динамических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом с учетом возможных режимов движения ведущих роликов приводных подвесок. На основе комплексного анализа полученных результатов возможно производить выбор рациональных параметров основных элементов конвейера.

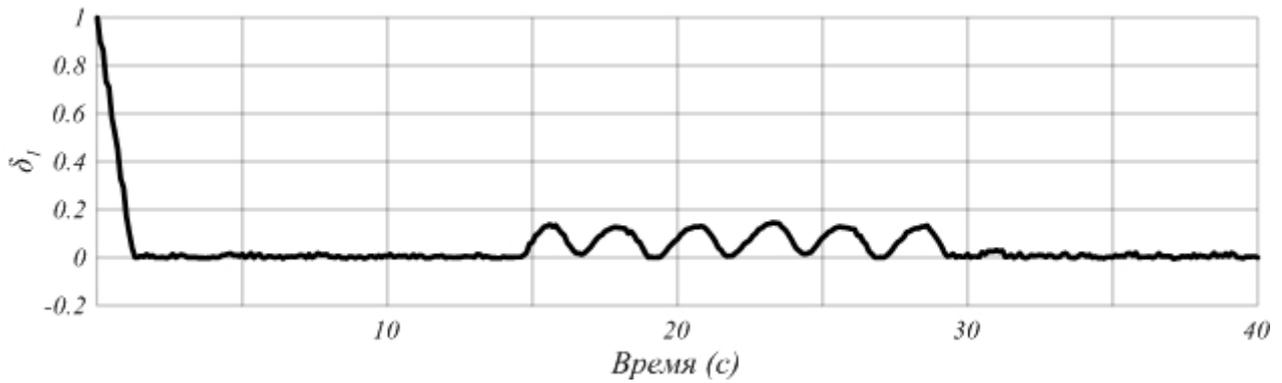


Рис. 5. Зависимость коэффициента буксования от времени

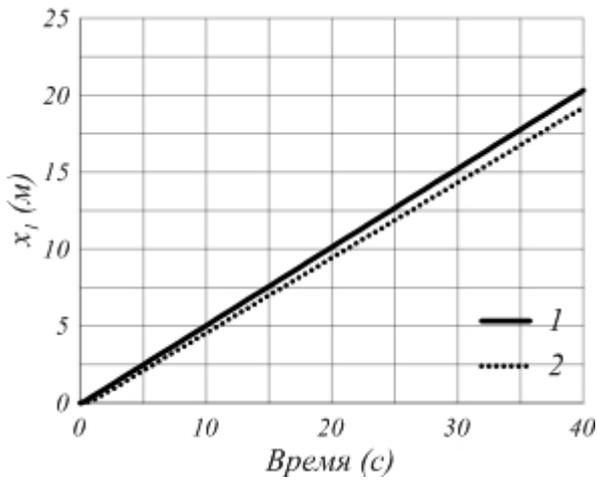


Рис. 6. Зависимость линейного перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

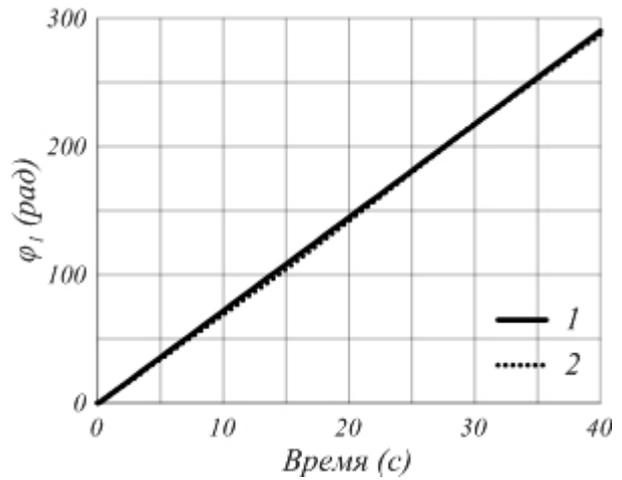


Рис. 7. Зависимость углового перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

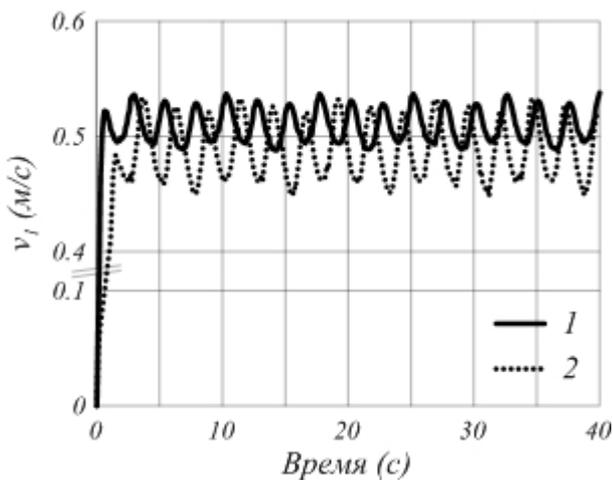


Рис. 8. Зависимость линейной скорости ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

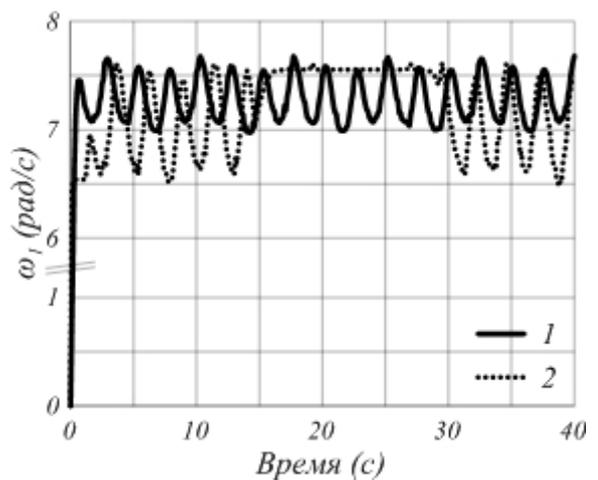


Рис. 9. Зависимость угловой скорости ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

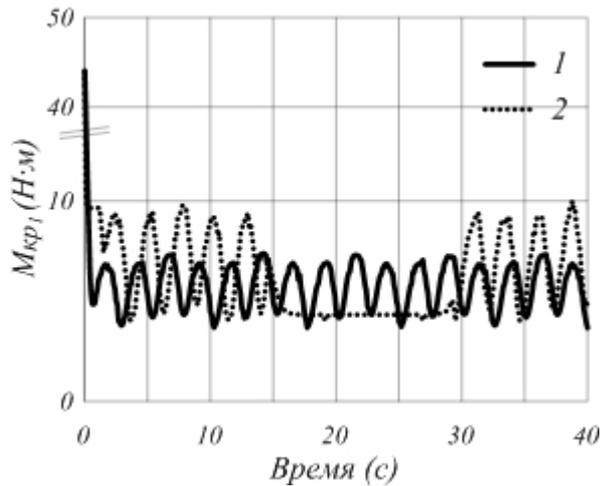


Рис. 10. Зависимость крутящего момента на ведущем ролике приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

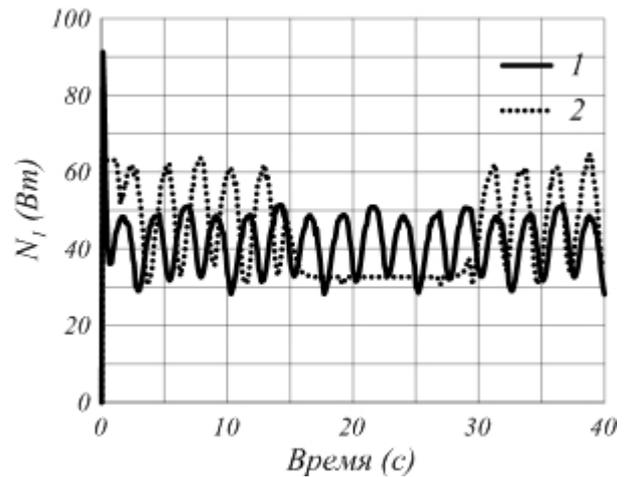


Рис. 11. Зависимость мощности ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

Список литературы

1. 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.
2. Лагерев, А.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния ленты конвейера с подвесной лентой в зоне промежуточной разгрузки / А.В. Лагерев, Е.М. Селянин // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. – №1. – С. 359– 65.
3. Патент 153945 Российская Федерация В66С 23/44. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров, Д.Ю. Кулешов. – Заявл. 26.01.15, № 2015102372. Оpubл. 10.08.15. – Бюл. № 22.
4. 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/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-13.pdf>.
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. 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.
7. 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.
8. Толкачев, Е.Н. Анализ динамики подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 1. – С. 55-64. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-10.pdf>.
9. Толкачев, Е.Н. Особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, в зависимости от их пространственной конфигурации на трассе / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 2. – С. 44-51. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-08.pdf>.

Об авторах

Лагерев 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*.

Толкачев Евгений Николаевич – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *tolkachev_en@mail.ru*.

SIMULATION MODES OF MOVEMENT THE DRIVE ROLLERS OF SUSPENSION OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE

A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Mathematical model of conveyor with suspended belt and distributed drive which allows to simulate the dynamics of suspension at various modes of movement of the drive roller is developed. The modeling results are presented in the article.

Key words: *mathematical model, conveyor belt, suspended belt, distributed drive, suspension, modes of motion.*

The study was performed under financial support of RFBR grant for research projects performed by young scientists (My first grant) No. 16-38-00058.

References

1. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenernyi zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
2. Lagerev A.V., Selyanin E.M. Modeling of stress-strain state of a conveyor belt with hanging ribbon in the zone of intermediate unloadings, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 359 – 365.
3. 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.
4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu. Patent RU № 153945. Suspension drive belt conveyor with hanging ribbon, *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 77-78.
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. 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.
7. 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.
8. Tolkachev E.N. Analysis of the dynamics of suspensions of discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive, *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 55-64. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-10.pdf>.

9. 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, *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 44-51. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-08.pdf>.

Authors' information

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*.

Evgeniy N. Tolkachev - specialist at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *tolkachev_en@mail.ru*.

УДК 004.725.7

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОЙ И СТРУКТУРНОЙ НАДЁЖНОСТИ КОРПОРАТИВНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф.Ю.Лозбинец, А.А.Гамов, Е.В.Колесник

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

Представлен вариант доработанной методики расчетной оценки коэффициента готовности мультисервисной корпоративной сети связи органов власти Брянской области. Предложены методика проектной оценки элементной надёжности на основе нормативных значений структурной надёжности её магистралей и методика оценки влияния на коэффициент готовности магистралей времени восстановления объектов связи. Приведены результаты расчетов Южной, Северной и Западной магистралей при различных вариантах оборудования и топологической схемы, а также при различных способах технического обслуживания сети.

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

Материалы, представленные в настоящей работе, получены в результате продолжения исследований реального объекта - мультисервисной корпоративной сети связи (МКСС) органов государственного и муниципального управления на территории Брянской области. Как каждый конкретный объект связи, исследуемая сеть обладает своими уникальными особенностями: распределена на достаточно большой территории субъекта Российской Федерации, включает четыре магистрали, построена на основе комбинированной технологии волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и наземных радиоэлектронных средств (РЭС) отечественного производства.

В составе сети присутствуют четыре магистрали, краткая информация о составе которых приведена в табл. 1.

Таблица 1
Состав основных магистралей МКСС органов власти Брянской области

Магистраль	Количество РЭС	Количество коммутаторов	Всего объектов	Число оконечных точек ¹	Число узлов ретрансляции
Южная	26	14	40	5	6
Северная	22	13	35	5	7
Западная	68	36	104	16	18
Брянск-Дятьково	8	5	13	2	2
Всего	124	68	192	28	33

Из табл. 1 видно, что наиболее сложным компонентом сети является Западная магистраль, включающая 104 объекта: 68 РЭС, 36 коммутаторов, 16 оконечных точек и 18 узлов ретрансляции.

Топологические схемы Южной и Северной магистралей и их характеристики приведены в работе [5]. Вариант топологической схемы Западной магистрали², реализованной только на средствах радиодоступа (радиомаршрутизаторах и сетевых коммутаторах), представлен на рис. 1.

¹ В администрациях муниципальных районов и городских округов.

² Топологическая схема Западной магистрали составлена при участии Р.О.Кирюшина и К.Р.Собенкова [6].

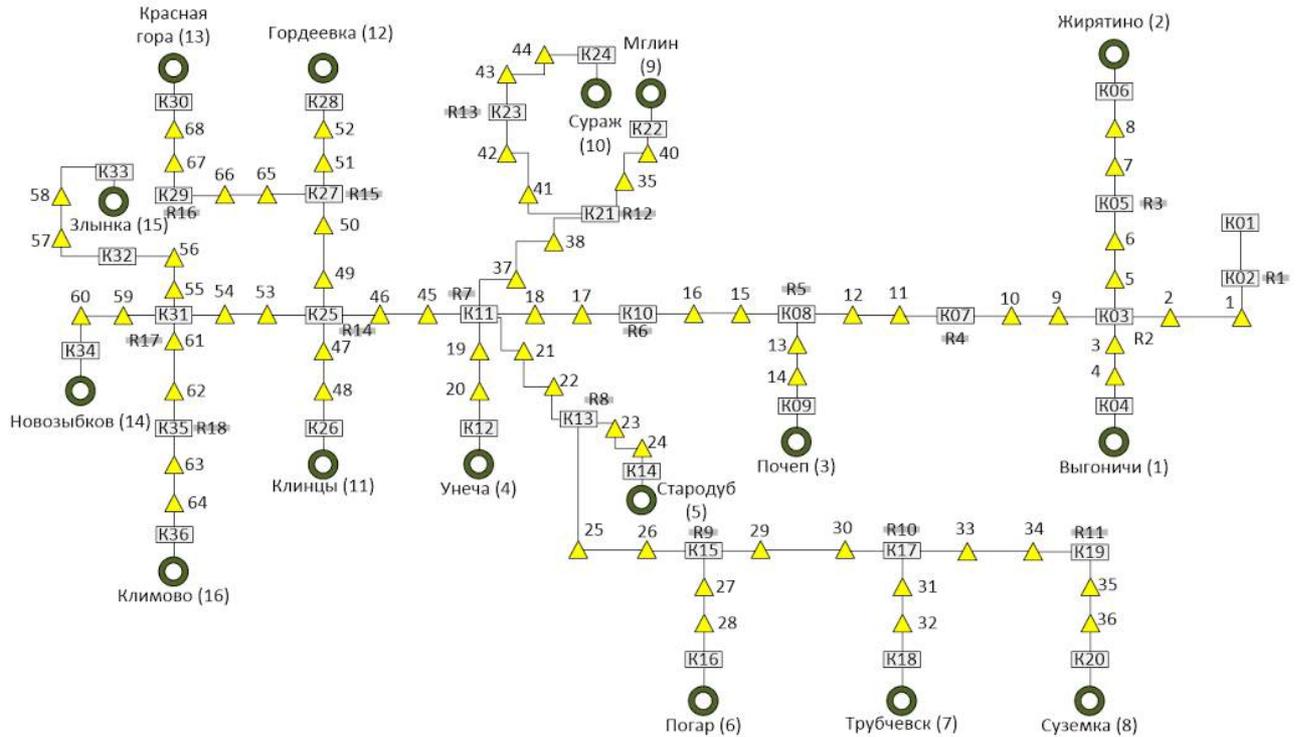


Рис. 1. Топологическая схема Западной магистрали корпоративной сети (R1 ... R18 – узлы ретрансляции)

В опубликованных ранее работах авторов настоящей статьи [1, 4, 5] предложена методика оценки коэффициента готовности элементов исследуемой сети на основе логико-вероятностного подхода.

В результате выполненных исследований обозначены перспективные направления, в числе которых - проблема определения минимально допустимых значений среднего времени между отказами каждого объекта для обеспечения нормативных значений коэффициента готовности в оконечных точках, а также расчетная оценка влияния времени восстановления объектов связи на коэффициент готовности магистралей мультисервисной корпоративной сети.

В работе [3] проф. А.Н.Назарова обозначены различия между элементной и структурной надёжностью сетей связи. *Надёжность сети связи* — способность сохранять работоспособность, в условиях, создаваемых воздействием внутренних дестабилизирующих факторов (ДФ). В задаче анализа надёжности сетей связи выделяют аспекты элементной (аппаратурной) и структурной надёжности. *Элементная надёжность* — свойство, присущее элементу системы связи, сохранять работоспособность с качеством не хуже заданного на некотором интервале времени. Под *структурной надёжностью* понимается свойство сети связи обеспечивать связность пользователей (элементов сети связи) с качеством не хуже заданного на некотором интервале времени [3].

В рамках настоящей работы предлагается способ *проектной оценки аппаратурной надёжности элементов сети связи* на основе *нормативных значений структурной надёжности* её магистралей.

Для проведения обобщенной оценки надёжности оборудования связи в комплексе и оценки надёжности направлений (соединений) сети связи применяется коэффициент готовности K_g , определяемый показателями T_o и T_e [3]:

$$K_g = T_o / (T_o + T_e), \quad (1)$$

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

Для проектной оценки необходимой надёжности элементов сети связи следует принять следующее допущение: коэффициенты готовности всех конечных точек магистрали K_{zom} одинаковы и равны коэффициенту готовности магистрали K_{zy} .

В этом случае при использовании в сети только РЭС с одинаковыми коммутаторами коэффициент готовности магистрали K_{zy} определяется следующим образом:

$$K_{zy} = K_{zk} n_k \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi} , \quad (2)$$

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

При использовании в сети коммутаторов различного типа с различными значениями коэффициента готовности формула (2) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{zom} = \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi} , \quad (3)$$

где K_{zki} - коэффициент готовности i -го коммутатора.

Для дальнейших исследований следует ввести новый показатель - коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали K_c^* на основе нормативного коэффициента готовности магистрали в целом $[K_z]$.

При использовании в сети только РЭС этот коэффициент будет определяться следующим образом:

$$K_c^* = \left([K_z] / \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \right)^{1/n_{pэс}} . \quad (4)$$

При использовании ВОЛС в сочетании с РЭС коэффициент синхронизации готовности конечных точек будет определяться следующим образом:

$$K_c^{**} = \left[[K_z] / \left(K_{zmc} \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \right) \right]^{1/n_{pэс}} . \quad (5)$$

Здесь $[K_z]$ - нормативные значения коэффициента готовности для действующих сетей (0,997) и для сетей связи следующего поколения (0,9994) [3]; K_{zki} - коэффициент готовности i -го сетевого коммутатора; K_{zmc} - коэффициент готовности транспортной сети, принимаемый равным 0,99995 [2].

Тогда из формулы (1) с учётом изложенного получаются формулы для расчёта необходимого времени наработки на отказ объекта связи (от начала эксплуатации до возникновения отказа):

$$T_o = K_c^* \frac{T_g}{1 - K_c^*} , \quad (6)$$

$$T_o = K_c^{**} \frac{T_g}{1 - K_c^{**}} . \quad (7)$$

Здесь K_c^* - коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали при использовании в сети только РЭС; K_c^{**} - коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали при использовании в сети ВОЛС в сочетании с РЭС.

С использованием разработанной методики выполнена проектная оценка времени между отказами радиомаршрутизаторов Южной, Северной и Западной магистралей телекоммуникационной сети органов власти Брянской области при различных вариантах оборудования и топологической схемы, а также при различных способах технического обслуживания. Расчёты выполнены на основе нормативных коэффициентов готовности для существующих сетей ($[K_z] = 0,997$) и для сетей связи следующего поколения ($[K_z] = 0,9994$) без учёта воздействия дестабилизирующих факторов. Результаты приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Время T_o (в часах) между отказами объектов в течение года при нормативном коэффициенте готовности магистралей $[K_2] = 0,997$

Варианты технического обслуживания	Южная магистраль		Северная магистраль		Западная магистраль	
	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС
Существующий вариант	43914	5467	24617	8204	74618	8201
Техобслуживание на местах ($T_g = 1$ ч)	5489	683	3077	1025	9327	1025
Резервирование каналов ($T_g = 0,2$ ч)	1098	137	615	205	1865	205

Таблица 3

Время T_o (в часах) между отказами объектов в течение года при нормативном коэффициенте готовности магистралей $[K_2] = 0,9994$

Варианты технического обслуживания	Южная магистраль		Северная магистраль		Западная магистраль	
	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС
Существующий вариант	250888	30755	138411	46135	440649	46132
Техобслуживание на местах ($T_g = 1$ ч)	31361	3844	17301	5767	55081	5766
Резервирование каналов ($T_g = 0,2$ ч)	6272	769	3460	1153	11016	1153

Результаты, представленные в табл. 2 и 3, позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Для обеспечения нормативного коэффициента готовности $[K_2] = 0,997$ при используемой в настоящее время технологической схеме (ВОЛС в сочетании с РЭС) и существующем варианте технического обслуживания (устранение отказов оборудования на местах производится специалистами, выезжающими из областного центра), необходимо иметь оборудование, обладающее следующим временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали - не менее 5500 ч (около 7,5 месяцев);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 8200 ч (11 месяцев).

Если устранение отказов оборудования производить специалистами на местах отказов (при этом время восстановления объекта принимается равным 1 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали - не менее 680 ч (≈ 1 мес.);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 1000 ч ($\approx 1,5$ мес.).

В случае использования варианта, предусматривающего обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки (при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали - не менее 140 ч (≈ 6 суток);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 200 ч (≈ 8 суток).

2. Для сетей связи следующего поколения нормативный коэффициент готовности $[K_2] = 0,9994$ при используемой в настоящее время технологической схеме (ВОЛС в сочетании с РЭС) и существующем варианте технического обслуживания (устранение отказов обо-

рудования на местах производится специалистами, выезжающими из областного центра) обеспечить невозможно, поскольку требуемое время наработки между отказами составляет:

- для Южной магистрали - не менее 30,7 тыс. ч (около 3,5 лет);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 46,1 тыс. ч (более 5 лет).

Если устранение отказов оборудования производить специалистами на местах отказов (при этом время восстановления объекта принимается равным 1 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали - не менее 3800 ч (≈ 5 мес.);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 5800 ч (≈ 8 мес.).

В случае использования варианта, предусматривающего обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки (при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали - не менее 770 ч (≈ 1 мес.);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 1150 ч ($\approx 1,6$ мес.).

3. Представляется целесообразным выполнить оценку затрат на восстановление объектов связи для всех рассмотренных здесь вариантов.

В работе [1] в числе актуальных задач обозначена оценка влияния времени восстановления объектов связи на коэффициент готовности магистралей мультисервисной корпоративной сети. В настоящей работе такая оценка выполнена. Для её проведения усовершенствована методика, предложенная в [1, 4, 5].

Северная и Западная магистрали исследуемой сети 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, Клиницы-Рогнедино-Красная Гора). В сети также могут быть использованы коммутаторы различного типа с различными значениями коэффициента готовности. В таком случае формула (3) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{\text{от}} = K_{\text{эмс}} \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{\text{эки}} \prod_{i=1}^{i=n_{\text{psc}}} K_{\text{эи}}, \quad (8)$$

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

При выполнении расчётной оценки влияния на коэффициент готовности оконечных точек МКСС времени восстановления объектов связи (без учёта воздействия дестабилизирующих факторов) получены результаты, представленные в табл. 4-6.

Рассмотрены следующие варианты технического обслуживания сети:

- существующий вариант, когда устранение отказов оборудования на местах производится специалистами, выезжающими из областного центра (табл. 4);
- вариант, когда устранение отказов оборудования производится специалистами на местах отказов, при этом время восстановления принимается равным 1 ч (табл. 5);
- вариант, предусматривающий обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки, при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч (табл. 6).

Таблица 4

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей, $K_{\text{эу}}$				
	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: * - на последней миле только R2-AP1-F5060; ** - на последней миле только DreamStation 5n-24D.

Таблица 5

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей, K_{2y}				
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*	ВОЛС**
Южная	0,99698	0,99828	0,99845	0,99987	0,99990
Северная	0,99812	0,99886	0,99903	0,99950	0,99971
Западная	0,99590	0,99768	0,99790	0,99936	0,99964

Примечания: * - на последней миле только R2-AP1-F5060; ** - на последней миле только DreamStation 5n-24D.

Таблица 6

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей, K_{2y}				
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*	ВОЛС**
Южная	0,99934	0,99960	0,99963	0,99991	0,99992
Северная	0,99957	0,99972	0,99976	0,99983	0,99987
Западная	0,99911	0,99946	0,99951	0,99980	0,99986

Примечания: * - на последней миле только R2-AP1-F5060; ** - на последней миле только DreamStation 5n-24D.

Результаты, представленные в табл. 4-5, позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Для Южной магистрали при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле изменений в организации технического обслуживания сети и резервирования каналов связи не требуется. При этом коэффициенты готовности конечных точек соответствуют как требованиям для существующих сетей связи ($K_2 = 0,997$), так и для сетей связи следующего поколения ($K_2 = 0,9994$) [3]. Расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии при этом составляет 2...3 ч/год.

2. Для Северной магистрали сети при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле выполняются требования к коэффициенту готовности для существующих сетей ($K_2 = 0,997$). Расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии при этом составляет 10...19 ч/год.

Для выполнения требований к сетям следующего поколения ($K_2 = 0,9994$) необходимо предусмотреть либо техническое обслуживание сети специалистами на местах (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии 3...4 ч/год), либо резервирование каналов связи (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии 1 ч/год).

3. Для Западной магистрали сети при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле выполняются требования к коэффициенту готовности для существующих сетей ($K_2 = 0,997$) только при условии использования на последней миле исключительно радиомаршрутизаторов типа DreamStation 5n-24D. При этом суммарное время конечных точек в нерабочем состоянии составит 21 ч/год.

Для выполнения требований к сетям следующего поколения ($K_2 = 0,9994$) необходимо предусмотреть либо техническое обслуживание сети специалистами на местах (при условии использования на последней миле только радиомаршрутизаторов DreamStation 5n-24D) (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии составит 3 ч/год), либо резервирование каналов связи (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии составит 1...2 ч/год).

4. Снижение значений K_2 конечных точек Западной магистрали объясняется наличием дополнительных «радиолинков» до «последней мили» (по одному в Жирятино, Суземке, Мглине и Гордеевке, и по два в Сураже и Красной Горе).

5. Численные эксперименты варьированием расстояния «последней мили» показали, что разницей в расстоянии можно пренебречь: при изменении расстояния «последней мили» в несколько раз (в большую или меньшую стороны) величина K_2 конечной точки изменяется в пределах тысячных или десятых долей процента. Объяснить этот результат можно тем, что изменение расстояния «последней мили» не имеет значения для используемых типов радиомаршрутизаторов.

Список литературы

1. 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.

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: ООО «Поликом», 2010. - 389 с.

4. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие логико-вероятностного подхода к оценке надёжности корпоративных сетей связи / Ф.Ю. Лозбинец // Вестник славянских вузов. – 2015. - С. 130-136.

5. Лозбинец, Ф.Ю. Совершенствование методов оценки надёжности мультисервисной корпоративной сети связи на основе логико-вероятностного подхода / Ф.Ю. Лозбинец, Е.В. Колесник, А.А. Гамов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 2. – С.52-66. <http://ntv-brgu.ru/index.php/ntv-bgu-2015-02-07/>.

6. Кирюшин, Р.О. Оценка дестабилизирующих факторов и подход к автоматизации показателей надёжности телекоммуникационных сетей / Р.О. Кирюшин, К.Р. Собенков, Ф.Ю. Лозбинец // Ступени. Альманах научных работ. Вып. 8. – Брянск: Брянский филиал РАНХиГС, 2015. - С. 214-217.

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.

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.

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.

THE ACCOUNTING ESTIMATION OF ELEMENT AND STRUCTURED RELIABILITY OF CORPORATIVE TELECOMMUNICATION NETWORK ON TERRITORY OF BRYANSK REGION

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

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

The variant of methods of the accounting estimation of the factor to readiness of multiservice corporative telecommunications of organs of government is presented. The methods of the design estimation of element reliability on base of normative importances structured reliability her pathways and methods of the estimation of the influence on factor of readiness of the pathways of time of the reconstruction of objects of communication are offered. The results of calculation of South, North and West pathways under different variants of equipment and topological scheme, as well as under different manners of the technical maintenance of network are broughted.

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

References

1. 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.
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. Lozbinev F.Yu. Development of logician-probabilistic approach of estimation of reliability of corporative telecommunications. *The Herald of slavonic high school. Annual international scientifically-practical journal*. Tiraspol, Izd. Pridnestrovskogo state university, 2015, pp.130-136
5. 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, *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 52-66.
6. Kiryushin R.O., Sobenkov K.R., Lozbinev F.Yu. Estimation of destructor factor and approach of automations of the factors of reliability of the telecommunication networks, *The Steps. Almanac of the scientific works*, issue 8. The Bryansk filial of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2015. pp.214-217.

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.

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.

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.

УДК: 004.89: 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКОВ СНИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

Т.А.Филичева

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

В статье описаны принципы использования метода когнитивного при моделировании оценки качества предоставляемых образовательных услуг и практическая реализация разработанных методов в рамках информационно-аналитической системы мониторинга качества предоставляемых образовательных услуг.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, информационное обеспечение, система качества, образовательная система, производственная модель.

Современная теория сложных систем базируется на вероятностном описании процессов, в которые вовлечены объекты. Образовательная система как сложная система с программно-целевым управлением [1] характеризуется воздействием на ее объекты как различных случайных факторов со стороны внешней среды, так и возникающих внутри случайных возмущений [2]. Внешняя среда, в которой функционирует система, своим воздействием может вносить неопределенность, изменяя характер взаимодействия между объектами (или между составными частями рассматриваемого объекта), что влечет непредсказуемые изменения внутри объектов системы, которые могут отрицательно сказываться на развитии, создавая риски.

Учет рисков при анализе функционирования и развития системы в обобщенном варианте включает выполнение следующих процедур:

– *идентификацию рисков* – определение рисков, способных повлиять на достижение поставленных перед системой целей;

– *оценку рисков* – анализ качественных и количественных характеристик, условий и вероятности возникновения рисков с целью определения их влияния на достижение поставленных целей;

– *реагирование на риски* – определение процедур и методов по ослаблению отрицательных последствий рисков событий;

– *управление рисками* – выбор подходов и методов по снижению рисков.

В образовательной деятельности значительному количеству рисков подвержены все ее участники [3], но роль руководства вуза является центральной в этой деятельности, и качество предоставляемых образовательных услуг напрямую зависит от правильности принятых им решений на всех этапах образовательного процесса.

Целью описываемого в статье исследования является разработка подсистемы оценки рисков снижения качества, включенной в информационно-аналитическую систему мониторинга качества предоставляемых образовательных услуг.

При принятии решений по управлению качеством предоставляемых образовательных услуг возможно применение двух подходов. Первый подход предполагает (при множестве критериев, определяющих ситуацию) построение числовой функции, отражающей предпочтения руководства для конкретной задачи принятия решения. Второй подход основан на выявлении предпочтений одновременно с исследованием допустимого множества действий для отыскания эффективного решения. Совместное использование перечисленных подходов с методами нечёткой логики позволяет более эффективно проводить мониторинг качества предоставляемых образовательных услуг, характеризующийся как анализ слабо формализованных процессов, для которых свойственно отсутствие точной количественной информации. Качественный анализ сложной ситуации предусматривает определение *тенденций* протекающих процессов, их качественную оценку и выбор мер, способствующих развитию в соответствии с поставленными целями.

Метод анализа рисков, основанный на когнитивном подходе к моделированию и управлению, позволяет получить количественную оценку негативных последствий, влияющих на качество предоставляемых образовательных услуг. Для построения когнитивной модели анализа рисков снижения качества, предоставляемых образовательных услуг, применяется когнитивная карта [4, 5], отражающая субъективные представления эксперта об исследуемой проблеме (ситуации), связанной с функционированием и развитием слабо формализованных процессов. Когнитивная карта представляет собой взвешенный орграф, вершины которого соответствуют концептам (существенным факторам), а дуги – связям между концептами.

В целях исследования причин несоответствия качества, предоставляемых образовательных услуг, установленным лицензионным (аккредитационным) требованиям, а также требованиям работодателей, следует сформировать множество сравниваемых концептов.

На основе данных стандартных мониторинговых процедур и личного опыта эксперты-аналитики формируют список концептов когнитивной карты, представленной на рис. 1, для исследования возможных причин несоответствия целям в области качества предоставляемых образовательных услуг: e_1 – количество абитуриентов; e_2 – платежеспособность общества; e_3 – качество учебных программ; e_4 – довузовская подготовка; e_5 – реклама и имидж вуза; e_6 – базовый уровень знаний абитуриента; e_7 – отчисления и переводы в другие вузы; e_8 – уровень финансирования; e_9 – количество НИР; e_{10} – трудоустройство выпускников; e_{11} – результаты ГЭК и защит выпускных квалификационных работ; e_{12} – карьера выпускников; e_{13} – обеспеченность соответствующей отрасли кадрами; e_{14} – качество профессиональной деятельности выпускников. Деление концептов на три группы проведено следующим образом: ($e_1 - e_7$) рассматриваются как факторы возникновения рисков, ($e_8 - e_{11}$) – базисные факторы, ($e_{12} - e_{14}$) – целевые факторы.

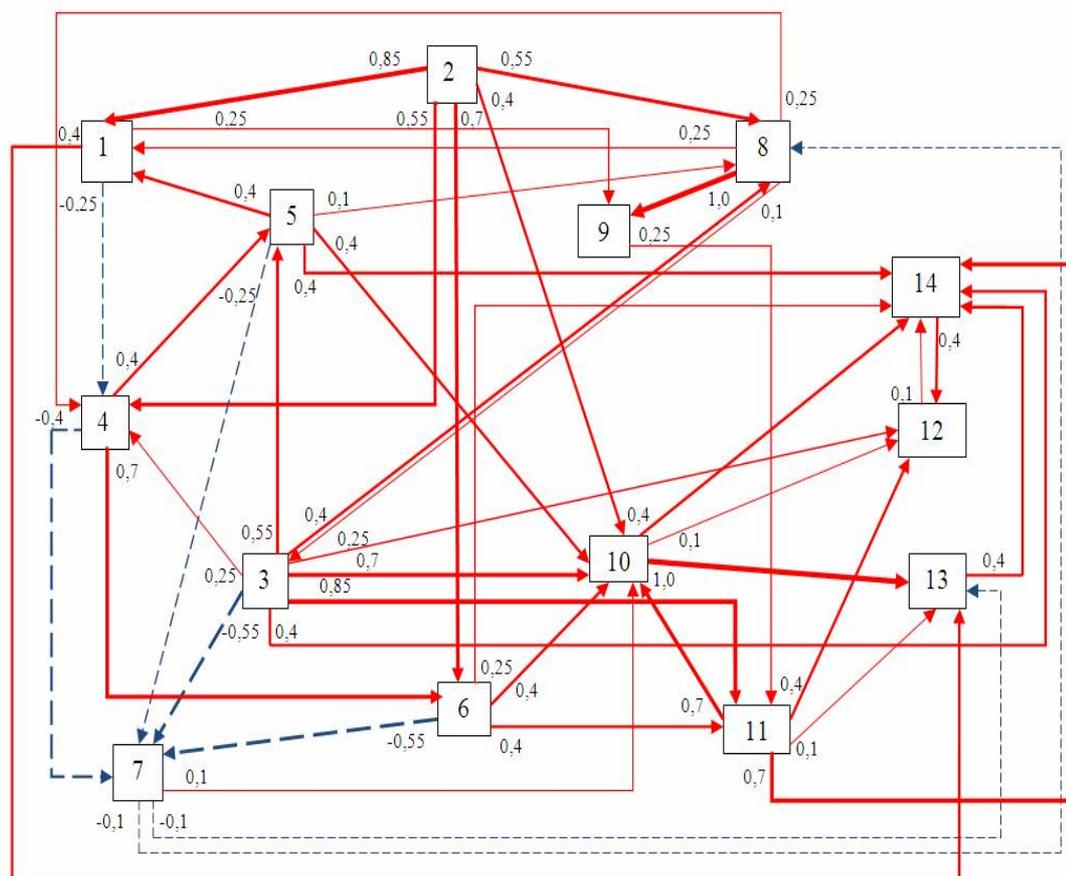


Рис. 1. Визуальное представление когнитивной карты оценки рисков снижения качества предоставляемых образовательных услуг

В целях повышения наглядности концепты обозначены в виде цифр, которые соответствуют приведенной нумерации в наименовании.

Положительное влияние концептов представлено дугой в виде сплошной красной стрелки, отрицательное – дугой в виде пунктирной синей стрелки. Чем толще стрелка на рисунке 1, тем сильнее влияние. Вес влияния указан числом со знаком вблизи стрелки.

Полученная от экспертов информация должна быть обработана на предмет устранения двусмысленностей и повторений, а также согласования используемой терминологии. В связи с этим следует привести описание каждого из выделенных экспертами концептов.

1. *Количество абитуриентов.* Общее число абитуриентов, поступивших в образовательное учреждение в текущем году.

2. *Платежеспособность общества.* Способность населения и организаций оплачивать образовательные услуги, а также заинтересованность организаций в выполнении НИР по соответствующим направлениям развития науки.

3. *Качество учебных программ.* Общее количество недоработок учебных программ, выявленное за отчетный период.

4. *Довузовская подготовка.* Качество дополнительных образовательных услуг, оказываемых абитуриентам в виде подготовительных курсов, определяемое как соотношение общего числа абитуриентов, обучавшихся на подготовительных курсах к числу абитуриентов, поступивших в вуз после их успешного окончания.

5. *Реклама и имидж вуза.* Статус вуза в регионе и за его пределами, интенсивность рекламной деятельности, направленной на привлечение абитуриентов. Данный показатель является качественным и определяется на основании анкетирования абитуриентов, выпускников, населения, работодателей.

6. *Базовый уровень знаний абитуриента.* Уровень знаний, полученный на стадиях начального, среднего и высшего образования; определяется на основе оценок ЕГЭ или внутреннего экзамена вуза в соответствии с правилами приема.

7. *Отчисления и переводы в другие вузы.* Число студентов, отчисленных и переведенных в другие вузы за отчетный период.

8. *Уровень финансирования.* Объем средств из бюджетных и внебюджетных источников, направленный на обеспечение образовательного процесса.

9. *Количество НИР.* Общее количество выполненных НИР на конец отчетного периода по источникам финансирования.

10. *Трудоустройство выпускников.* Процент выпускников вуза, трудоустроенных по его окончании, который определяется как число выпускников, устроившихся на работу после окончания вуза, отнесенное к общему числу выпускников вуза.

11. *Результаты ГЭК и защит выпускных квалификационных работ.* Качество подготовки специалистов, определенное средним баллом по вузу, на основании знаний, показанных при сдаче государственного междисциплинарного экзамена и защиты квалификационной работы.

12. *Карьера выпускников.* Общее число выпускников вуза, получивших продвижение по службе, повышение заработной платы в течение 1–3 лет после окончания образовательного учреждения.

13. *Обеспеченность соответствующей отрасли кадрами.* Общее количество вакантных мест, выставляемых на конкурс замещения должностей в рассматриваемый период.

14. *Качество профессиональной деятельности выпускников.* Уровень качества профессиональной деятельности, оцениваемый по удовлетворенности общества данной деятельностью; определяется посредством проведения социологических опросов в регионе, а также отражается в виде отношения количества рекламаций от работодателей за предыдущий и последующий отчетные периоды.

При построении когнитивной карты экспертами должна оцениваться интенсивность влияния установленных связей между концептами, которая ранжируется по семибалльной

шкале («очень низкое», «низкое», «ниже среднего», «среднее», «выше среднего», «высокое», «очень высокое»).

Общее состояние качества предоставляемых образовательных услуг, с учетом дискретности измерения, определяется набором значений *всех* концептов. Целевое состояние задается вектором значений множества *целевых* концептов, которые определяются на основе мнений экспертов. Задание весов связей, которое учитывает мнения нескольких экспертов при условии согласованности ответов, позволяет снизить субъективность экспертной оценки. Вес связи при оценке несколькими экспертами определяется как среднее арифметическое оценки силы *i*-й связи *j*-м экспертом. Для проверки согласованности оценок экспертов используется метод ранговой корреляции. Коэффициент конкордации рассчитывается по формуле Кендалла. На этапе апробации данного метода был получен коэффициент согласованности $\Theta_c = 0,7$, что позволяет считать мнение экспертов в достаточной степени согласованным.

После формирования и анализа когнитивной модели оценки рисков снижения качества осуществляется моделирование динамики поведения выделенных экспертами концептов посредством внесения значения *возмущения*, зависящим от периода мониторинга значений выделенных концептов. Так, если мониторинг осуществляется один раз в квартал при периоде исследования один год, то значение шага возмущения принимается равным 4. Далее по каждому из выделенных экспертами концептов вносятся начальные значения возмущений, зависящие от показателей, выбранных в качестве целевых на планируемый промежуток времени (один год), и их значений.

Следует отметить, что на каждый планируемый период могут быть выбраны разные целевые показатели в зависимости от стратегических целей образовательного учреждения, а также целевых значений измеряемых показателей. Числовое значение возмущения устанавливается в зависимости от планируемого целевого уровня и применяемой шкалы оценок влияния связей между концептами. В данном случае числовое значение возмущения взято в интервале от -1 до 1 . Глубина расчета для данной когнитивной модели зависит от рассматриваемого периода оценки; например, если период исследования составляет один год, то глубина расчета равна 12. Глубина расчета связана с понятием *модельного времени*, под которым понимается время, являющееся имитацией, прообразом времени реальной системы. Для моделирующей системы модельное время – это переменная, значение которой в системе дискретно изменяется. Его протекание определяет моменты совершения определенных событий, продолжительность выполнения определенных действий. В предложенной модели понятие «глубина расчета» характеризует протекание процесса и незначительно соотносится с реальным временем моделируемой системы. Кроме того, в модели не учитываются временные задержки при передаче воздействия между концептами, и предполагается, что каждое воздействие происходит за единичное время.

При моделировании оценки рисков снижения качества, предоставляемых образовательных услуг выбирается шаг возмущения 4 (мониторинг осуществляется один раз в квартал модельного времени, равного одному году), и возмущения по каждому из концептов определяются с учетом силы влияния на достижение поставленных целей.

Графическое отображение результатов моделирования представлено на рис. 2, на котором каждому из графиков сопоставляется соответствующий концепту цвет; имеется возможность вывести графическое отображение динамики поведения каждого концепта когнитивной модели в отдельности.

Расчет результатов моделирования позволяет получить табличное представление результатов (*когнитивную матрицу*) со всеми выделенными концептами и их поведением в исследуемый период. Устойчивое снижение значения весового коэффициента по концепту в исследуемый период рассматривается как риск снижения качества предоставляемых образовательных услуг и является основанием формирования рекомендаций администрации для принятия управленческих решений.

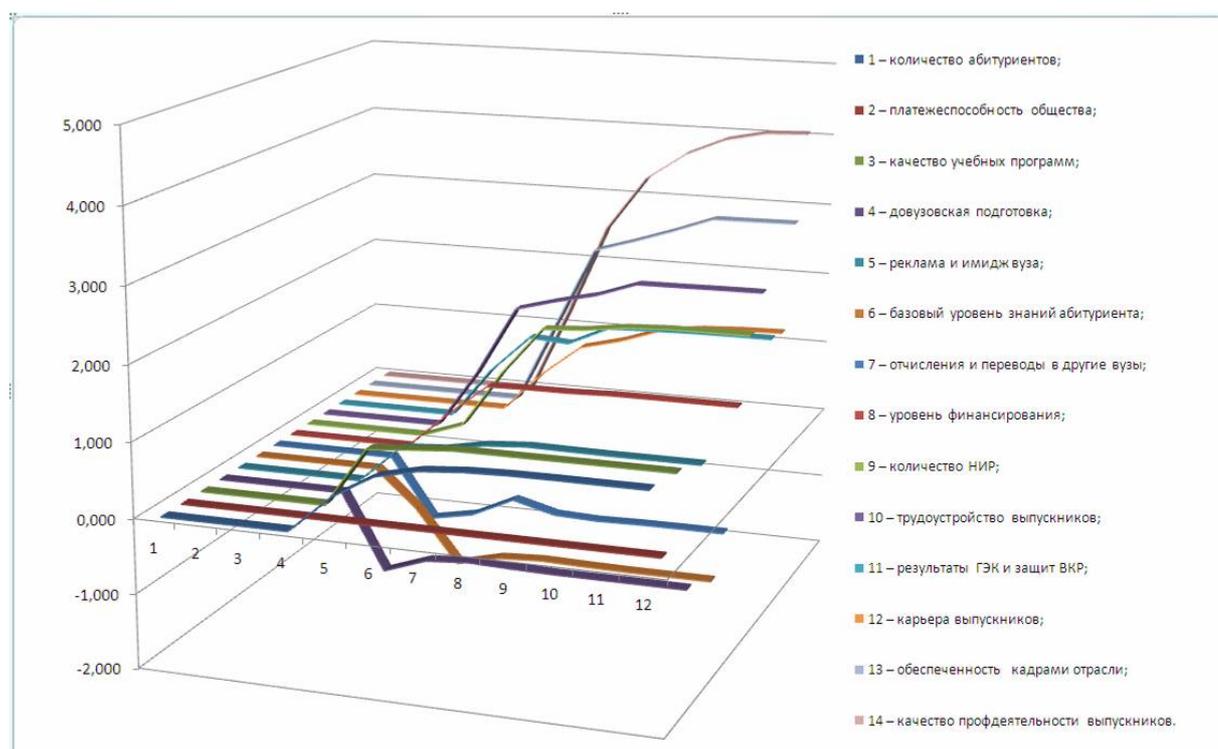


Рис. 2. Графики результатов моделирования оценки рисков снижения качества предоставляемых образовательных услуг

После разработки моделей и их анализа для определения путей снижения рисков и улучшения качества предоставляемых образовательных услуг выделяются *наиболее проблемные* концепты, имеющие неудовлетворительные качественные оценки или значения, не соответствующие целевым.

На основании анализа моделей при учете производственных правил, которые формируются экспертами (например, *ЕСЛИ* <количество абитуриентов меньше установленных контрольных цифр> *ТО* <активизировать проведение рекламных мероприятий> *ИЛИ* <повысить информированность общества> *ИЛИ* <повысить имидж вуза> *ИЛИ* <снизить стоимость обучения>; *ЕСЛИ* <снижился имидж вуза> *ТО* <повысить рекламную деятельность> *ИЛИ* <увеличить количество социально-значимых проектов> *ИЛИ* <повысить качество реализуемых программ> *ИЛИ* <увеличить число выполненных НИР>), определяются способы улучшения, совершенствования и оптимизации рассматриваемого процесса. Производственные правила вносятся специалистами службы качества или аналитиками в совокупность производственных правил, которая позволяет получать рекомендации для администрации при принятии управленческих решений.

Подсистема оценки рисков снижения качества предоставляемых образовательных услуг, включенная в состав информационно-аналитической системы мониторинга качества предоставляемых образовательных услуг (ИАС МК), реализована с помощью интеграции «Web-формы - Microsoft Access - Microsoft Excel - VBA-модуль». Подсистема обеспечивает удаленное взаимодействие экспертов в области качества (сбор мнения экспертов о влиянии концептов когнитивной карты) с целью определения весов концептов, позволяет с помощью когнитивной модели осуществить прогнозную оценку рисков снижения качества, сформировать рекомендации для лица, принимающего решения (ЛПР), по поводу снижения негативного влияния на поведение образовательной системы.

При реализации подсистемы оценки рисков снижения качества, предоставляемых образовательных услуг, группы пользователей характеризуются следующим образом:

Эксперты в предметной области - на основе знаний о предметной области выделяют основные факторы, влияющие на качество предоставляемых образовательных услуг, форми-

руют список концептов когнитивной карты для исследования возможных причин снижения качества, а также устанавливают связи между ними. При установлении связей между факторами, влияющими на качество предоставляемых образовательных услуг, используется удаленный доступ, который позволяет повысить оперативность работы экспертов и привлечь внешних экспертов в области качества.

Служба качества - является организатором процесса сбора и анализа информации по оценке рисков снижения качества предоставляемых образовательных услуг и выполняет следующие функции:

- на подготовительном этапе формирует список концептов когнитивной карты для исследования возможных причин снижения качества предоставляемых образовательных услуг с последующим внесением в базу знаний подсистемы (с учетом мнения экспертов);

- на этапе построения и модификации совокупности продукционных правил для формирования рекомендаций ЛПП осуществляет импорт данных в базу знаний;

- координирует работу пользователей при работе с подсистемой по обновлению совокупности продукционных правил (совместно с аналитиками) для формирования рекомендаций для ЛПП;

- выполняет проверку согласованности мнения экспертов (метод ранговой корреляции) и при достаточной согласованности мнений экспертов осуществляет импорт данных по оценке связей между факторами, влияющими на качество предоставляемых образовательных услуг.

Аналитики - указывают значения возмущений по каждому из концептов когнитивной карты с учетом дискретности воздействий на концепты когнитивной модели по оценке рисков снижения качества и инициируют выполнение моделирования.

ЛПП - является заключительным звеном в процессе принятия решений по уменьшению рисков снижения качества предоставляемых образовательных услуг. Для ЛПП доступна информация по результатам прогноза поведения когнитивной модели как в виде таблицы результатов с рекомендациями по уменьшению рисков снижения качества, так и в виде графиков поведения концептов когнитивной карты. Кроме того, ЛПП может воспользоваться комментариями и рекомендациями аналитиков с обоснованием поведения концептов, которые включены в группу факторов возникновения рисков и базисных факторов.

Метод анализа рисков, основанный на методе когнитивного моделирования, позволяет на основании мнения экспертов формировать рекомендации по снижению рисков и улучшению качества предоставляемых образовательных услуг.

Список литературы

1. Митин, А.И. Информационно-аналитический подход к мониторингу качества профессиональной подготовки / А.И. Митин, Т.А. Филичева. - М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. - 65 с.

2. Казаков, И.Е. Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И.Е. Казаков, С.В. Мальчиков. - М.: Наука, 1983. - 384 с.

3. Костюкова, Т.П. Система управления рисками в образовательной деятельности – непереносимая часть менеджмента качества / Т.П. Костюкова, И.А. Лысенко // Материалы III Международной научно-практической конференции «Информационная среда вуза XXI века» 21–25 сентября 2009 г., г. Петрозаводск. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ito.edu.ru/2009/Petrozavodsk/I/I-0-17.html>.

4. Силов, В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Б. Силов. - М.: ИНПРО-РЕС, 1995. - 228 с.

5. Федулов, Ю.Г. Исследование социально-экономических и политических процессов с помощью когнитивных моделей / Ю.Г. Федулов, А.Б. Юсов, А.А. Матвеев. - М.: РАГС, 2004. - 60 с.

Сведения об авторе

Филичева Татьяна Алексеевна - кандидат технических наук, доцент кафедры математики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» Брянский филиал, *filta@yandex.ru*.

THE APPLICATION OF THE METHOD OF COGNITIVE MODELING IN RISK ASSESSMENT REDUCING THE QUALITY OF EDUCATIONAL SERVICES

T.A. Filicheva

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

The article describes the principles of using the method of cognitive modeling in the evaluation of quality of educational services and the practical implementation of the developed methods in the framework of the information-analytical system of monitoring of quality of educational services.

Key words: *cognitive modeling, information management, quality system, educational system, and production model.*

References

1. Mitin A.I., Filicheva T.A. *Informatsionno-analiticheskiy podkhod k monitoringu kachestva professionalnoy podgotovki* [Information-analytical approach to monitoring the quality of professional preparation]. Moscow-Berlin, Izd-vo MGU, 2015. 65 p.
2. Kazakov I.E., Malchikov C.V. *Analiz stokhasticheskikh sistem v prostranstve sostoyaniy* [Analysis of stochastic systems in space of States]. Moscow, Nauka, 1983. 384 p.
3. Kostyukova T.P., Lysenko I.A. Risk management in educational activities is an indispensable part of quality management Information technologies in education. *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Informatsionnaya sreda vuza XXI veka" from 21 to 25 September 2009, Petrozavodsk* (Proceedings of III Int. scientific-practical conference "Information and emission-Yes University of the XXI century" from 21 to 25 September 2009, Petrozavodsk). Available at: <http://ito.edu.ru/2009/Petrozavodsk/I/I-0-17.html>.
4. Silov V.B. *Prinyatie strategicheskikh resheniy v nechetkoy obstanovke* [Strategic decision Making in fuzzy environment]. Moscow, INPRO-RES, 1995. 228 p.
5. Fedulov Yu.G., Yusov A.B., Matveev A.A. *Issledovanie sotsialno-ekonomicheskikh i politicheskikh protsessov s pomoshchyu kognitivnykh modeley* [Study of socio-economic and political processes through cognitive models: textbook]. Moscow, RAGS, 2004. 60 p.

Author' information

Tatiana A. Filicheva - Candidate of technical Sciences, associate Professor of chair of mathematics and information technology at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *filta@yandex.ru*.

УДК 629.114.2.001.2

ПОВЫШЕНИЕ ОПОРНЫХ КАЧЕСТВ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИХ РАБОТЕ НА СЛАБЫХ ПОЧВО-ГРУНТАХ

В.Н. Лобанов¹, В.И. Растягаев², С.С. Сухов²

¹ - Брянский государственный инженерно-технологический университет

² - Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского

Проведено математическое моделирование взаимодействия гусеничных машин спасательной техники, получено уравнение для оценки их опорных качеств при работе на слабых почво-грунтах.

Ключевые слова: почво-грунт, машина гусеничная, опорная длина гусеницы, проходимость гусеничной машины, ширина гусеницы, деформация слабого почво-грунта

Использование тяжелых многооперационных гусеничных высокой энергонасыщенности и проникновение их в регионы с почво-грунтами, имеющими низкую несущую способность, могут обострить экологическую обстановку при проведении спасательных работ [1-3].

Назрела необходимость в разработке научно-обоснованных методов оценки уплотняющего воздействия современных и перспективных машин на лесные почво-грунты с целью минимизировать уплотнение почвы [1-3].

Как показывают опытные данные ряда исследователей [1-3], взаимодействие гусеничных систем с почво-грунтом базируется на уплотнении почвы движителем с учетом его параметров и свойств почвы. Уплотнение слабых почво-грунтов определяется опорными свойствами гусеничных машин.

Опорные свойства гусеничной лесной машины, главным образом, зависят от максимальных давлений гусеницы на почво-грунт под опорными катками q_{\max} , опорной длины гусеницы L и ширины b гусеницы. В свою очередь, максимальные давления q_{\max} зависят от отношения шага катков s к шагу звеньев гусениц t , числа опорных катков n и количества звеньев гусеницы n_1 , передающих нагрузку от опорных катков на почво-грунт [1, 2]:

$$q_{\max} = q_0 \left[\frac{(n-1)s + t}{n_1 t} \right], \quad (1)$$

где q_0 - среднее давление гусеницы на грунт.

Количество звеньев n_1 , передающих нагрузку от опорных катков, определяется свойствами почво-грунта. Чем он слабее, тем больше звеньев участвует в передаче нагрузки от опорных катков, следовательно, меньше пиковое давление q_{\max} [1, 2]. Из формулы (1) видно, что чем меньше отношение шага катков к шагу гусеницы, тем меньше максимальные давления в пиках под опорными катками. У современных сельскохозяйственных, промышленных и болотоходных гусеничных тракторов отношение s/t составляет 1,7...3,5; у гусеничных тракторов $s/t > 3,5$.

Указанные показатели опорных свойств определяют, в основном, глубину колеи, т. е. деформацию почво-грунта после прохода гусеничной машины.

Определим глубину колеи гусеничной машины при работе на слабых почво-грунтах. Для упрощения допустим, что машина движется по горизонтальной поверхности и центр давления совпадает с центром опорной поверхности гусениц.

При работе гусеничной машины на слабых почво-грунтах основная доля деформации грунтов при его сжатии приходится на его уплотнение h_1 .

Деформация уплотнения dh_1 элементарного слоя почво-грунта толщиной dz , расположенного на глубине z от поверхности грунтового массива, определим по уравнению [1]:

$$dh_1 = \frac{dz}{E_0} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)], \quad (2)$$

где E_0 – модуль упругой деформации почво-грунта; $\sigma_x, \sigma_z, \sigma_y$ - нормальные напряжения, действующие на рассматриваемый элементарный объем почво-грунта; μ - коэффициент Пуассона для почво-грунтов [1].

При сплошной нагрузке

$$\sigma_z = q_0; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} q_0. \quad (3)$$

Тогда

$$dh_1 = \frac{\sigma_z dz}{E_0} \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right). \quad (4)$$

Обозначая множитель, стоящий в скобках, через β , получаем:

$$dh = \frac{\beta \sigma_z dz}{E_0}, \quad (5)$$

где β - коэффициент, характеризующий боковое расширение почво-грунта:

Интегрирование полученного выражения (5) в пределах от $z = 0$ (поверхность почво-грунта) до $z = H$ (глубина залегания твердого слоя, т.е. толщина деформируемого слоя грунта), позволяет определить деформацию уплотнения h_1 :

$$h_1 = \int_0^H dh_1 = \frac{\beta}{E_0} \int_0^H \sigma_z dz. \quad (6)$$

Зависимость $\sigma_z = \Phi(z)$ примем в виде [2]

$$\sigma_z = \frac{1}{1 + \frac{\mu(x-1)}{x} \left(\frac{z}{b} \right) + \frac{1}{\mu x} \left(\frac{z}{b} \right)^2} q_0, \quad (7)$$

где $x = L/b$.

Для определения деформации уплотнения почво-грунта, подставим уравнение (7) в выражение (6) и произведем интегрирование в указанных пределах:

$$h_1 = \frac{\beta q_0}{E_0} \int_0^H \frac{dz}{1 + \frac{\mu(x-1)}{xb} z + \frac{1}{\mu xb^2} z^2}. \quad (8)$$

Так как $\frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2} < \frac{4}{\mu x b^2}$, то

$$\begin{aligned} h_1 &= \left[\frac{2\beta q_0 \beta x}{E_0 \sqrt{\frac{4}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \operatorname{arctg} \frac{\frac{2z}{\mu x b^2} + \frac{\mu(x-1)}{xb}}{\sqrt{\frac{4}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \right]_0^H = \\ &= \left[\frac{2\beta q_0 \beta x}{E_0 \sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \operatorname{arctg} \frac{\frac{2z}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]_0^H. \end{aligned} \quad (9)$$

После подстановки пределов имеем следующее выражение для определения h_1 :

$$h_1 = \frac{2\beta x q_0 \beta}{E \sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \left[\operatorname{arctg} \frac{\frac{2H}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} - \operatorname{arctg} \frac{\mu(x-1)}{\sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]. \quad (10)$$

Окончательное выражение для определения деформации уплотнения почво-грунта h_1 после преобразований примет вид:

$$h_1 = \left[\frac{2xb\beta}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}{2\frac{xb}{H} + \mu(x-1)}} \right] q_0 \quad (11)$$

По результатам экспериментальных исследований [1, 2] предлагается принимать значение $H = 2b$.

Обозначив множитель, стоящий в скобках, через α , получим выражение для определения коэффициента сопротивления уплотнению слабого почво-грунта:

$$\alpha = \frac{2xb\beta}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}{x + \mu(x-1)}} \quad (12)$$

На рис. 1 приведены графические зависимости коэффициента сопротивления уплотнению исследуемых почво-грунтов, в таблице – показатели их физико-механических свойств.

Таблица

Показатели физико-механических свойств почво-грунтов

Тип почво-грунта	Параметры почво-грунта		
	E_0 , МПа	q_s , МПа	μ
Торфяная осушенная целина	0,15	0,12	0,28
Влажный с перегноем	0,17	0,15	0,3
Задернелый	0,2	0,2	0,35
Песчаный	0,27	0,25	0,4

Примечание: q_s - предел несущей способности слабого почво-грунта.

Из анализа зависимостей $\alpha = \Phi(L, b)$ видим, что с изменением размеров гусеницы ($2 \leq L \leq 4$ и $0,4 \leq b \leq 1$) коэффициент α увеличивается, т.е. при увеличении размеров опорной поверхности гусеницы опорные свойства лесной машины на различных почво-грунтах возрастают.

Близкие по значению экспериментальные данные по коэффициенту сопротивления уплотнению соответствующих почво-грунтов приведены в [3].

Предложенная формула (12) учитывает влияние на коэффициент сопротивления уплотнению почво-грунта как свойств грунта (μ, β, E_0, q_s), так и параметров гусеничного движителя (b, L, s, t, n_1, n).

Результаты исследований могут быть использованы при разработке перспективных движителей гусеничных машин для проведения спасательных работ.

Список литературы

1. Лобанов, В.Н. Исследование взаимодействия гусеничного движителя лесных машин со слабым грунтом / В.Н. Лобанов // Лесной журнал. - 1997. - № 1-2. - С. 45-49.
2. Растягаев, В.И. К вопросу эксплуатации гусеничных машин спасательной техники на слабых грунтах / В.И. Растягаев, С.С. Сухов // Вестник Брянского государственного университета. - 2011. - №4. - С. 187-190.
3. Растягаев, В.И. К вопросу об экологичности базовых машин спасательной техники / В.И. Растягаев, С.С. Сухов // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Актуальные вопросы экстремальных состояний», Брянск, 25 ноября 2013 г. - Брянск: Десяточка, 2013.

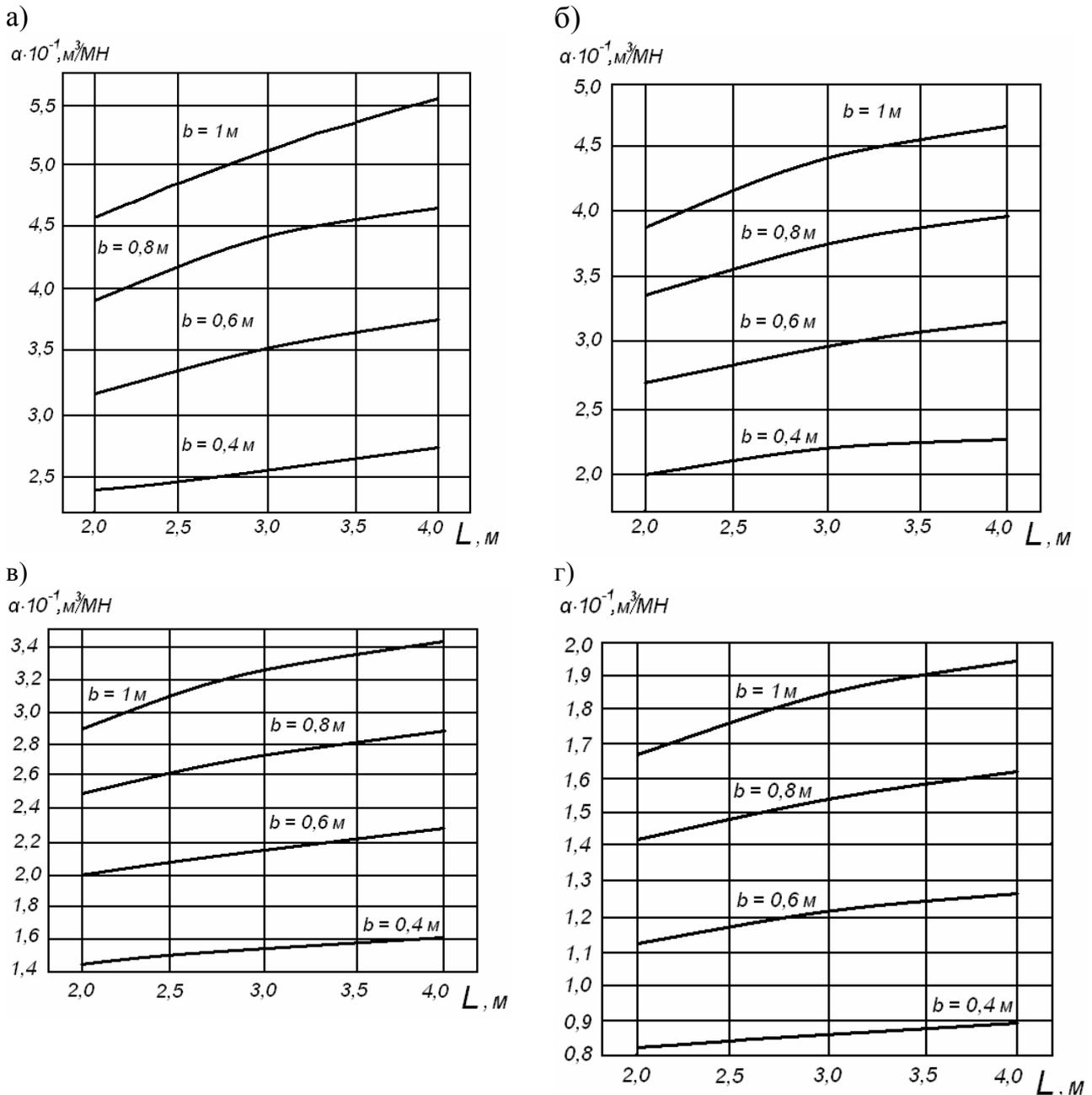


Рис. 1. Зависимость $\alpha = \Phi(L)$ для различных типов почво-грунтов:

а - торфяная осушенная целина; б - влажный с перегноем; в – задернелый; г - песчаный

4. Сухов, С.С. Экологическая оценка процесса взаимодействия пневматического колеса с деформируемым грунтом / С.С. Сухов, В.И. Растягаев, В.В. Лазарев В.В. // Вестник Брянского государственного университета. – 2010. - №4. - С. 246-250.

Сведения об авторах

Лобанов Валерий Николаевич – кандидат технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

Растягаев Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского».

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*.

IMPROVING THE SUPPORT QUALITIES CRAWLER CARS AND RESCUE EQUIPMENT IN THEIR WORK ON WEAK SOILS

V.N. Lobanov¹, V.I. Rastyagaev², S.S. Sukhov²

¹ - Bryansk State Engineering-technological University,

² - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Mathematical modeling of interaction of tracked vehicles rescue equipment, the equation for the evaluation of their strong qualities when working on weak soils.

Keywords: soil, tracked vehicle, the supporting length of track, cross-country tracked vehicle track width, the deformation of weak soil

References

1. Lobanov V. N. Study of the interaction between caterpillar tracks of forest machines with low ground, *Lesnoy Zhurnal*, 1997, No.1-2, pp. 45-49.

2. Rastyagaev V.I., Sukhov S.S. To the question of exploitation of tracked vehicles and rescue equipment on soft soils, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, No.4, pp. 187-190.

3. Rastyagaev V.I., Sukhov S.S. To the question about ecological compatibility of basic machines of the Savior-tive technology. Materials of the international scientifically-practical conference "Topical issues of extreme States", November 25, 2013. - Bryansk: Group of companies "De-syatochka", 2013.

4. Sukhov S.S., Rastyagaev V.I., Lazarev V.V. Environmental assessment process the interaction pneumatic wheel with deformable soil, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, No.4, pp. 246-250.

Authors' information

Valery N. Lobanov – Candidate of Technical Sciences, Professor at Bryansk State Engineering-technological University.

Vladimir I. Rastyagaev – Candidate of Technical Sciences, associate Professor of Department of the life safety at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University.

Sergey S. Sukhov - Candidate of Technical Sciences, Head of Department of the life safety at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *bgd_cc@bk.ru*.

УДК 631.6.02

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СКЛОНОВ НА ЭРОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ

М.В. Долганова

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Дана оценка влияния морфометрических показателей склонов на эрозионную устойчивость пахотных земель и обоснована необходимость их учета при разработке и внедрении фитомелиоративных мероприятий на склоновых землях.

Ключевые слова: эрозия почв, эрозионная устойчивость почв, почвозащитная эффективность культур, элементы рельефа.

Развитие эрозионных процессов в любом регионе неразрывно связано с земледелием, т. е. с хозяйственной деятельностью людей. Естественные факторы развития эрозии в полной мере могут проявляться только на фоне этой деятельности.

Однако было бы неправильно думать, что хозяйственная деятельность людей может только способствовать развитию эрозионных процессов. Направленным агротехническим воздействием на почву, регулированием растительного покрова, правильной противоэрозионной организацией территории люди могут приостановить эрозию и значительно повысить плодородие эродированных земель. Таким образом, хозяйственная деятельность людей может и должна быть направлена на организацию защиты почв от эрозии. Она является основным фактором прекращения действия эрозионных процессов.

Российскими и зарубежными учеными обоснованы многие теоретические и практические положения почвозащитного земледелия. Однако и до настоящего времени возникают трудности в решении практических вопросов на самом ответственном этапе – проектировании противоэрозионных мероприятий, и в целом почвозащитных систем земледелия. Наиболее успешно решить проблему защиты почв от эрозии можно только путем комплексного учета совокупного влияния на почвенный покров природных и антропогенных факторов [5, 7].

Необходима количественная характеристика гидрометеорологического, геоморфологического, почвенного, агротехнического факторов применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям.

Характерной особенностью геоморфологического фактора является относительное его постоянство. Длина, крутизна, формы и экспозиция склонов изменяются только в пространстве и остаются неизменными для каждого элементарного склона.

Интегральным и комплексным геоэкологическим показателем устойчивости земель в условиях эрозии является эрозионная устойчивость, от которой в прямой зависимости находится устойчивость агроландшафтов и под которой понимается способность участков земной поверхности противостоять силовому воздействию поверхностных водных потоков и дождевых капель. Эрозионная устойчивость отражает противодействие почв и горных пород в зависимости от комплекса конкретных условий: интенсивности стока, крутизны, экспозиции склонов и др., всегда зависима от сопротивления почв размыву и является величиной безразмерной [1, 2].

Для случая пахотных земель эрозионная устойчивость в пределах некоторой точки x элементарного водосбора в условиях плоскостной эрозии определяется критериальным выражением, которое имеет вид [1]:

$$P_x = \frac{R_x}{\rho g h S_y \sin^m \alpha}, \quad (1)$$

где R_x – сопротивление почвы размыву в пределах точки x , Н; g – ускорения свободного падения, м/с²; ρ – плотность воды, кг/м³; h – среднегодовой слой активного поверхностного

стока, м; α – крутизна склона в пределах данной точки, град; S_y – условная расчетная площадь водосбора выше точки x , м²; k – коэффициент, учитывающий влияние экспозиции склона.

Значение условной расчетной площади водосбора S_y может быть найдено по формуле

$$S_y = kL^{0,4},$$

где k – коэффициент размерности; L – длина прямой линии активного стока, м.

Как видно, функция рельефа в модели эрозионной устойчивости включает такие элементы как крутизна поверхности, условная площадь водосбора, форма профиля и экспозиция склонов. Ведущим среди них является крутизна поверхности.

Пороговая величина данного показателя, при которой начинается эрозия, может быть весьма различной, что зависит от ряда других сопутствующих факторов. Вычисленные Е.В. Хориной средние для хозяйств Брянской области значения пороговой крутизны варьируют от 0,8 до 2°. Многими исследователями в качестве «порогового» значения крутизны, при котором возможен смыв почв, принята величина 1°. В Брянской области склоны свыше 1° составляют около 30 % площади пашни [8].

Физический смысл критерия P_x заключается в том, что он отражает соотношение двух сил: силы сопротивления почв размыву и расчетной силы водного потока, которая определяет его эродирующую способность. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что явная эрозия отсутствует, если значение критерия больше 0,3. Данная величина является самым низким пределом, при котором почвообразовательный процесс еще может компенсировать действие смыва [1–3].

В табл. 1 приведены расчетные данные эрозионной устойчивости и среднегодового смыва дерново-подзолистых почв, преобладающих в почвенном покрове Брянской области, в зависимости от крутизны поверхности. Расчет выполнен по средневзвешенным значениям сопротивления размыву дерново-подзолистых почв $P_x = 18$ Н, среднегодового слоя поверхностного стока 100 мм и полного горизонтального расчленения 0,9 км/км².

Таблица 1

Эрозионная устойчивость и среднегодовой смыв почвы в условиях чистого пара, в зависимости от крутизны поверхности

Крутизна поверхности, град	Эрозионная устойчивость	Смыв почвы, т/га
1	0,47	0,7
2	0,19	2,8
3	0,12	6,7
4	0,07	16,9
5	0,05	28,8
6	0,04	41,9
7	0,03	68,5

Уже при крутизне 1,5° эрозионная устойчивость пашни становится ниже критической величины (0,3), а среднегодовой смыв почвы составляет около 1,5 т/га. При более низкой устойчивости почвообразовательный процесс не в состоянии компенсировать эрозионные потери, и происходит деградация почвенного покрова. Таким образом, в среднем многолетнем разрезе со всей площади пашни области выносятся более 4 млн. т ценнейших компонентов гумусового горизонта почв.

В табл. 2 представлен расчет эрозионной устойчивости склоновых земель, произведенный на случай «чистого пара» $P_{хн}$ и под культурами, с использованием показателя почвозащитной эффективности K в зависимости от длины линии активного стока L и крутизны α :

$$P_{хк} = KP_{хн} \quad (2)$$

Анализ данных, представленных в табл. 2, показал, что показатель эрозионной устойчивости земель под сельскохозяйственными культурами $P_{хк}$ изменяется с крутизной α и длиной прямой линии активного стока L , уменьшаясь с увеличением указанных величин.

Таблица 2

Изменение величины эрозионной устойчивости под сельскохозяйственными культурами в зависимости от L и α

Культура (почва)	α , град	R_n , Н	K	$P_{хи}$	$P_{хк}$
Озимая пшеница (серая лесная легкосуглинистая)	2	25	5,5	<u>0,39</u>	<u>2,14</u>
	4			0,25	1,37
	8			<u>0,15</u> 0,10	<u>0,82</u> 0,55
Озимая пшеница (дерново-подзолистая песчаная)	2	16	5,5	<u>0,25</u>	<u>1,37</u>
	4			0,16	0,88
	8			<u>0,09</u> 0,06	<u>0,49</u> 0,33
Овес (серая лесная легкосуглинистая)	2	20	3,0	<u>0,31</u>	<u>0,93</u>
	4			0,20	0,60
	8			<u>0,12</u> 0,08	<u>0,36</u> 0,24
Овес (дерново-подзолистая песчаная)	2	12	3,0	<u>0,19</u>	<u>0,57</u>
	4			0,12	0,36
	8			<u>0,07</u> 0,05	<u>0,21</u> 0,15
Картофель (серая лесная легкосуглинистая)	2	24	1,2	<u>0,38</u>	<u>0,45</u>
	4			0,24	0,28
	8			<u>0,14</u> 0,10	<u>0,16</u> 0,12
Картофель (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	2	18	1,2	<u>0,28</u>	<u>0,33</u>
	4			0,18	0,21
	8			<u>0,11</u> 0,07	<u>0,13</u> 0,08
Кукуруза (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	2	22	2,3	<u>0,34</u>	<u>0,78</u>
	4			0,22	0,50
	8			<u>0,12</u> 0,10	<u>0,27</u> 0,23
	8			<u>0,03</u> 0,02	<u>0,06</u> 0,04
				<u>0,05</u>	<u>1,00</u>
				0,03	0,60

Окончание табл. 2

Клевер (дерново-подзолистая супесчаная)	2	10	20,0	<u>0,15</u>	<u>3,00</u>
	4			0,10	2,00
	8			<u>0,06</u> 0,04	<u>1,20</u> 0,80
				<u>0,02</u> 0,01	<u>0,40</u> 0,20

Примечание: числитель – при $L=100$ м; знаменатель – при $L=300$ м).

Морфология рельефа склоновых водосборов, изменяя параметры стоков [7], также вносит свою лепту в изменение величины эрозионной устойчивости под культурами (табл. 3), что свидетельствует о необходимости учета данного элемента рельефа при оптимизации эрозионной устойчивости склоновых земель.

Таблица 3

Изменение величины эрозионной устойчивости под сельскохозяйственными культурами в зависимости от профиля склона ψ (при $\alpha = 4^0$, $L= 250$ м)

ψ	<u>1,00</u> 1,00	<u>1,03</u> 0,95	<u>1,05</u> 0,90	<u>1,10</u> 0,85	<u>1,15</u> 0,80	<u>1,20</u> 0,75	<u>1,25</u> 0,70	<u>1,30</u> 0,65	<u>1,40</u> 0,60
Культуры									
Озимые зерновые	<u>0,66</u> 0,66	<u>0,67</u> 0,62	<u>0,69</u> 0,59	<u>0,72</u> 0,56	<u>0,75</u> 0,52	<u>0,79</u> 0,49	<u>0,82</u> 0,46	<u>0,85</u> 0,42	<u>0,92</u> 0,39
Яровые зерновые	<u>0,40</u> 0,40	<u>0,41</u> 0,38	<u>0,42</u> 0,36	<u>0,44</u> 0,34	<u>0,46</u> 0,32	<u>0,48</u> 0,30	<u>0,50</u> 0,28	<u>0,52</u> 0,26	<u>0,56</u> 0,24
Высокостебельные пропашные	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,26</u> 0,23	<u>0,27</u> 0,21	<u>0,28</u> 0,19	<u>0,31</u> 0,18	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,33</u> 0,17	<u>0,34</u> 0,16	<u>0,35</u> 0,15
Низкостебельные пропашные	<u>0,12</u> 0,12	<u>0,13</u> 0,11	<u>0,13</u> 0,10	<u>0,13</u> 0,10	<u>0,14</u> 0,09	<u>0,14</u> 0,09	<u>0,15</u> 0,08	<u>0,15</u> 0,08	<u>0,16</u> 0,07
Многолетние травы	<u>2,00</u> 2,00	<u>2,05</u> 1,90	<u>2,10</u> 1,80	<u>2,20</u> 1,72	<u>2,30</u> 1,60	<u>2,40</u> 1,50	<u>2,50</u> 1,40	<u>2,60</u> 1,30	<u>2,80</u> 1,20

Примечание: числитель – выпуклый профиль; знаменатель – вогнутый профиль.

Таким образом, эрозионная устойчивость склоновых земель может быть повышена за счет увеличения сопротивления почв размыву включением в севооборот эффективных в противозерозионном отношении сельскохозяйственных культур.

О величине смыва за годовой период на склонах разной эрозионной устойчивости, как в условиях нарушенного сложения, так и под культурами, можно судить по данным табл. 4.

Таблица 4

Расчетные значения среднегодового смыва почвы A с учетом показателя почвозащитной эффективности культурной растительности K (при $H = 0,12$; $\alpha = 3^0$; $L = 200$ м)

Культура (почва)	A_k , т/га
Озимая пшеница (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	0,4
Озимая пшеница (серая лесная легкосуглинистая)	0,3
Овес (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	2,3
Овес (серая лесная легкосуглинистая)	1,0
Картофель (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	3,0
Картофель (серая лесная легкосуглинистая)	5,5
Клевер (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	0,1

Исследования показали, что сельскохозяйственные культуры по-разному предохраняют почву от смыва. Среднегодовой смыв почвы в условиях чистого пара (при оценке эрозионной устойчивости склона произведенной по среднему значению P , где значения всех исходных величин являются средневзвешенными по склону) составляет при средней крутизне 3° и длине линии стока 200 м – 10 т/га.

При указанных морфометрических условиях среднегодовой смыв почвы под сельскохозяйственными культурами в среднем составляет: 0,10 т/га под посевами клевера; 0,40 т/га – озимые зерновые; 2,30 т/га – овес; 5,45 т/га – картофель [4–6].

Таким образом, при рациональной структуре посевных площадей, с учетом показателей сопротивления размыву почв нарушенной и ненарушенной структур, эрозионной устойчивости склонов, можно в значительной степени стабилизировать агроландшафты и на этой основе обеспечить высокую продуктивность агроценозов.

Список литературы

1. Бастраков, Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель / Г.В. Бастраков. – Брянск: Изд-во БГПУ, 1994. – 260 с.
2. Демихов, В.Т. Эрозионные свойства почв Брянской области / В.Т. Демихов, М.В. Долганова, Е.В. Хорина, Д.И. Чучин. – Брянск: ООО «Новый проект», 2015. – 184 с.
3. Долганова, М.В. Вклад Бастракова Г.В. в решение проблемы рационального землеустройства и землепользования в условиях эрозии почв / М.В. Долганова, В.Т. Демихов, Д.И. Чучин // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 396-398.
4. Долганова, М.В. Обоснование фитомелиоративных мероприятий при оптимизации эрозионной устойчивости склоновых земель / М.В. Долганова // Вестник Брянского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 132 – 134.
5. Долганова, М.В. Повышение эрозионной устойчивости почв агроландшафтов Брянской области фитомелиоративными мероприятиями / М.В. Долганова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2016. – № 1. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/01/pdf/11.pdf>.
6. Долганова, М.В. Почвозащитная противоэрозионная способность культурной и естественной травянистой растительности: дис. ... канд. биолог. наук / М.В. Долганова. – Брянск, 2005. – 230 с.
7. Литвин, Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л.Ф. Литвин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 225 с.
8. Хорина, Е. В. Эрозионная устойчивость пахотных земель Брянской области: дис. ... канд. географ. наук / Е.В. Хорина. – Воронеж, ВГУ. 2013. – 124 с.

Об авторе

Долганова Марина Владимировна – кандидат биологических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства естественно-географического факультета Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского, dolganova0801@yandex.ru.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF SLOPES ON EROSION RESISTANCE OF SOILS

Dolganova M.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

In article the assessment of influence of morphometric indicators of slopes on erosive stability of arable lands is given and proved need of their account at development and deployment of phytomeliorative actions on slope lands.

Keywords: *erosion of soils, erosive stability of soils, soil-protective efficiency of cultures, relief elements.*

References

1. Bastrakov G.V. *Eroziionnaya ustoychivost relefa i protiveroziionnaya zashchita zemel* [Erosion resistance of the relief and protection of land]. Bryansk, BGPU, 1994. 260 p.
2. Demikhov V.T., Dolganova M.V., Khorina E.V., Chuchin D.I. *Eroziionnye svoystva pochv Bryanskoy oblasti* [Erosive properties of soils of the Bryansk region]. Brjansk, OOO Novyy proekt, 2015. 184 p.
3. Dolganova M.V., Demikhov V.T., Chuchin D.I. Vklad Bastrakova G.V. v reshenie problemy ratsionalnogo zemleustroystva i zemlepolzovaniya v usloviyakh erozii pochv, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 396-398.
4. Dolganova, M.V. Obosnovanie fitomeliorativnykh meropriyatiy pri optimizatsii eroziionnoy ustoychivosti sklonovykh zemel, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, No.4, pp. 132 – 134.
5. Dolganova M.V. Povyshenie eroziionnoy ustoychivosti pochv agrolandshaftov Bryanskoy oblasti fitomeliorativnymi meropriyatiyami, *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)*, 2016. No.1, available at: <http://ej.kubagro.ru/2016/01/pdf/11.pdf>.
6. Dolganova M.V. Pochvozashchitnaya protiveroziionnaya sposobnost kulturnoy i estestvennoy travyanistoy rastitelnosti. Cand. Diss. (Biology). Brjansk. 2005. 230 p.
7. Litvin L.F. *Geografiya erozii pochv selskokhozyaystvennykh zemel Rossii* [The geography of soil erosion on agricultural lands of Russia]. Moscow, IKC Akademkniga, 2002. 225 p.
8. Khorina E.V. Eroziionnaya ustoychivost pakhotnykh zemel Bryanskoy oblasti. Cand. Diss. (Geography). Voronezh. 2013. 124 p.

Author' information

Marina V. Dolganova – Candidate of biological Sciences, Associate Professor, Department of geography, ecology and land management of natural-geographical faculty at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, dolganova0801@yandex.ru.

УДК 94(470.53)''17/19'':911.5

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ КУЛЬТУРНОГО ЛАНДШАФТА ГОРОДА УСОЛЬЕ В XVIII-XX ВВ.

Е.С. Черепанова¹, М.К. Дмитриева¹, Ю.В. Бушмакина²

¹ - Пермский государственный национальный исследовательский университет

² - Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Геоинформационные системы в настоящее время играют важную роль в современных исторических исследованиях: сбор и анализ картографических архивных материалов, их дальнейшая обработка методами геоинформационных технологий, визуализация и пространственный анализ позволяет устранять противоречия между текстовыми и картографическими историческими источниками. Алгоритмы сбора и обработки архивных данных о культурных ландшафтах в геоинформационных системах позволяют создавать математико-картографические модели ландшафтов такого типа с учетом рельефных особенностей, отображать их пространственно-временную динамику и прогнозировать дальнейшее развитие. Успешное внедрение ГИС-технологий в исследования динамики культурных ландшафтов показывает их эффективность для решения ряда задач: оценка воздействия на ландшафт, выбор стратегии управления, пространственное планирование и т.д.

Ключевые слова: культурный ландшафт, база геоданных, геоинформационные технологии, архивные источники, моделирование.

На современном этапе развития исторической геоинформатики наблюдаются тенденции возникновения новых способов визуализации и моделирования изменений, происходящих в культурных ландшафтах и объектах историко-культурного наследия. Историко-культурное наследие является, наряду с природными богатствами страны, главным основанием для национального самоуважения. В свою очередь, на региональном уровне встают вопросы о сохранении и изучении культурного ландшафта. В данной статье рассматривается один из этапов ретроспективного анализа одного из множества культурных ландшафтов, существующих на территории Пермского Прикамья - города Усолье. Город Усолье, в то время - село Новое Усолье, являлся одним из крупнейших промышленных и торговых центров Пермского Прикамья, а также важнейшим солеваренным, культурным и религиозным центром и торговым пунктом. На сегодняшний день на территории города сохранилось около сорока объектов культурного наследия федерального и регионального значения.

Культурный ландшафт подвержен пространственным и временным изменениям, и изучение его динамики позволит увидеть развитие, провести анализ и принять те или иные меры при управлении и сохранении ландшафта. Применение информационных технологий для сохранения и изучения историко-культурного наследия и создание на их основе информационных ресурсов - одно из заметных направлений в исторической информатике, Digital History и Digital Humanities. В настоящее время для их решения, наряду с уже ставшей традиционной технологией баз данных, все шире используются ГИС-технологии и технология 3D-моделирования [16].

В качестве примера реализации идей использования ГИС-технологий в историографии можно привести пример создания проекта «Историко-культурное наследие Пермского края: сохранение, визуализация и изучение средствами ГИС-технологий», который реализуется Центром геоинформационных систем и технологий и лабораторией исторической и политической информатики Пермского государственного национального исследовательского университета с 2014 г. [12]. В результате реализации проекта создана историко-ориентированная геоинформационная система, содержащая информацию о памятниках историко-культурного наследия Пермского края, обеспечивающая доступ к ней для изучения и использования без ущерба для физической целостности объектов историко-культурного наследия. Основными материалами при формировании источниковой базы стали материалы региональных мониторингов, проведенных сотрудниками археологических и этнографических экспедиций Уральского региона, инспекторами по охране культурного наследия Пермского края; монографии, статьи, материалы конференций, посвященные исследованию памятников

истории и культуры края и т.д. Анализ каждого вида источника позволил получить необходимые качественные и количественные данные для характеристики объектов историко-культурного наследия [6]. Параллельно проекту велась работа по изучению динамики культурного ландшафта локальной территории города Усолье.

Понятие о культурном ландшафте в отечественной географии имеет общие истоки и общую историю с родовым по отношению к нему понятием о географическом ландшафте как природном комплексе [7]. В 1913 г., выступая с докладом в Русском географическом обществе, Л.С. Берг определил конечной целью географического исследования изучение ландшафтов, как природных, так и культурных. Культурными ландшафтами он считал те, «в которых человек и произведения его культуры играют важную роль. «Город или деревня, по нашей терминологии, суть составные части культурного ландшафта». Тем самым Л.С. Берг ввел понятие «культурный ландшафт» в отечественную научную литературу и сформулировал своё представление о географии как о науке о ландшафтах, рассматривая наряду с природными ландшафтами также и культурные ландшафты, в формировании которых важнейшая роль принадлежала практической деятельности человека. С тех пор концепция культурного ландшафта активно обсуждалась рядом видных отечественных географов (А.И. Воейков, В.П. Семёнов-Тян-Шанский, В.И. Вернадский и др.).

Исторические события и явления происходят не только во времени, но и в пространстве, поскольку невозможно отделить историю города от событий в нем происходящих [10]. Историческое пространство, в свою очередь, находит отражение в картах и планах населенных пунктов. Определение последовательности карт и взаимный пространственный анализ их содержания позволяет проследить динамику постепенного изменения культурного ландшафта. Использование возможностей геоинформационных технологий и геоинформационного картографирования при обработке архивных исторических документов позволяет получать качественно новый продукт и качественно новые знания в процессе изучения культурных ландшафтов.

Основанное в 1606 году село Новое Усолье, уже к XVIII в. являлось крупнейшим солеваренным центром Пермского Прикамья. По определению, территории, на которых располагались солеваренные промыслы, строились в низменных пойменных местах. Село практически полностью было расположено на ежегодно подтопляемой территории поймы реки Камы. Для обеспечения добычи соли необходима «большая» вода для молевого сплава дров до варниц, погрузки соли и ее транспортировки. Это означает, что только во время половодья (апрель-май) или паводковых периодов (август-октябрь) была возможность вывозить соль. Кроме того, выработка соли также была сезонной. Поэтому наводнения для тех мест являлись скорее правилом, чем исключением, и население к этому относилось спокойно (рис.1).



Рис. 1. Наводнение в Усолье (из фондов ГАПК)

Еще одно частое бедствие села – опустошительные пожары. В 1649 г. произошел первый из известных пожаров, а их наибольшее количество описано в XVIII в. [2]. Высокая пожароопасная обстановка села была следствием наличия большого количества промышленных дровяных сараев и хранящихся в них дровах. Значение заготовки дров для соляного промысла было огромным: в царских указах того времени отмечалось, что для производства соляных заводов и выварки соли Соликамского и Чердынского уездов лес можно использовать «всякого рода» для получения дров, постройки судов и других надобностей, чтобы не было ограничения в снабжении заводов и поставки соли [14]. В связи с этим в течении периода интенсивного развития соляной промышленности были вырублены леса северного Прикамья на значительном пространстве, особенно вдоль рек, что привело к масштабной перестройке направленности русловых процессов на Верхней Каме. Следствием явилось преобразование и смена морфологических типов русла и пойм [8].

К концу XVIII – началу XIX вв. село было достаточно крупным поселением, приблизительная площадь достигала 15 км². В посадской части расположились каменные палаты Строгановых, два каменных дома, принадлежавших Е.Л. Лазареву [13]. В последующей застройке регулярный план Усолья был значительно переработан после пожара 1809 года – тогда сгорело около 1200 строений: обывательские дома, соляные промыслы, амбары, припасные магазины (магазинны).

После этого пожара был построен ряд каменных зданий: Никольская церковь (1813-1820 гг.), дом князя Голицына (1815-1818 гг.), «Господский дом» (1832 г.), дом конторы сользавода (1833 г.). От пожаров страдали многие жилые постройки и солеварни, затем отстраивались вновь, переходили от одного частного лица к другому (в виде приданного, дарились, продавались). Большое количество различных по характеру и назначению строений, выполненных в стиле классицизма - основная черта «золотого периода» в архитектурной истории Нового Усолья, наступившего в начале XIX в. Архитектурные нововведения касались не только жилых строений, но и всех видов строительства – при заводах вводилась должность архитектора, в их обязанности входила разработка и взаимопривязка генпланов, взаимосвязь строений. В 1820-30-х годах здесь продуктивно работала чертежная мастерская, в которой выполнялись чертежи не только для Усолья, но и для строений в Нердвинском округе Пермской губернии, Соликамском и Оханском уездах в имении господ наследников графа Г. А. Строганова [2].

Будучи крупным населенным пунктом, превосходящим по численности города Чердынь и Соликамск, Усолье продолжало называться селом, поскольку принадлежность частным владельцам не позволяла официально получить статус города [2].

По степени завершенности и зрелости, архитектурная среда конца XVIII – первой половины XIX века неоднородна: классицистические постройки соседствуют со зданиями ранее существовавшими. Особенности быта, определяемые рангом населенного пункта, с одной стороны, и национальными и территориальными традициями – с другой, а также ландшафт и климат вносили специфические черты в облик каждой местности. Усольский архитектурный ансамбль может служить ярким примером неоднородной застройки. Разные по времени, стилю и назначению постройки не «спорят» между собой, скорее, наоборот, они связаны в единое и гармоничное целое, составляя культурный ландшафт.

В послереволюционный и довоенный период начался упадок села – большинство зданий перестали использоваться по своему первоначальному назначению, и это нанесло серьезный урон историко-культурному наследию города.

Еще большие изменения во внешнем облике село Усолье претерпело после строительства Камской ГЭС. Идея строительства появилась в 1930 году, однако только в апреле 1954 года русло стало зарегулированным – остановилось свободное течение реки Кама. Для Усолья катастрофические наводнения стали реальностью – если природные отступали, то здесь вода пришла навсегда. Под затопление должны были попасть (решение Молотовского облисполкома № 678 от 6 июля 1951 года) само село Усолье (частично), деревня Быстрая, село Таман, деревня Кондасс со сплавым участком, село Пыскор и поселок Орел с судоверфью [2].

В настоящее время в Усолье сохранилось 40 памятников культуры, гражданского строительства и промышленного зодчества, в том числе федерального значения (табл.). Стоит отметить, что памятники истории XX в., территориально находящиеся на коренном берегу р. Камы в таблицу не внесены.

Таблица

Реестр сохранившихся памятников культуры, гражданского строительства и промышленного зодчества г. Усолье

№	Наименование объекта культурного наследия	Год (период) постройки
1	Часовня Спаса Убруса	конец XVII в.
2	Дом Строгановых	1724 г.
3	Спасо-Преображенский собор	1727 г.
4	Колокольня с торговыми рядами	1730 г.
5	Церковь Владимирской Божьей Матери (Рубежская)	1774 г.
6	Дом господский	нач. 19 в
7	Часовня-ротонда Покровская	нач. 19 в.
8	Лавка винная Кузнецова	1810 г.
9	Дом Кузнецова (магазин Бушкевич)	1810 г.
10	Амбар припасной у Посада	1810 г.
11	Амбар хлебный Строгановых	1810 г.
12	Амбар припасной Голицына	1810 г.
13	Магазейн материальный	1810 г.
14	Лавка мелочная	1810-1820 гг.
15	Усадьба Голицына	1818 г.
16	Флигель	1818 г.
17	Дом жилой Мальцева	1818 г.
18	Амбар припасной	1819 г.
19	Церковь Никольская	1820 г.
20	Дом Абамелек-Лазаревых	1830-е г.
21	Дом конторы сользавода	1833 г.
22	Амбар припасной Лазарева	1840 г.
23	Аптека Иванова	1-я пол. 19 в.
24	Больница промысловая Абомелек-Лазаревых	сер. 19 в.
25	Дом жилой Попкова	сер. 19 в.
26	Дом Брагина ("народный дом" солеваров)	2-я пол. 19 в.
27	Правление Шуваловых	2-я пол. 19 в.
28	Дом жилой и колбасное заведение Кузнецова	2-я пол. 19 в.
29	Дом жилой (библиотека земская)	кон. 19 в.
30	Кузница Строгановых	19 в.
31	Мастерская столярная	19 в.
32	Контора сользавода Голицына	19 в.
33	Административно-промышленное здание Шуваловых	19 в.
34	Производственное здание нижних промыслов	19 в.
35	Варница Никольская	19 в.
36	Магазин Жакова	1905-1907 г.
37	Ансамбль земской больницы:	1905-1910 гг.
38	Дом жилой церковнослужителя	1907-1915 гг.
39	Магазин купца А. Воронина	1910 г.
40	Типография М.А. Тарасова	1915 г.

Таблица составлена в соответствии с Постановлением Совета Министров РСФСР от 13.08.1960 № 1327 «О дальнейшем улучшении дела охраны памятников культуры в РСФСР»; Постановлением Совета Министров РСФСР от 05.12.1974 № 624 «О дополнении частичном изменении постановления Совета Министров РСФСР от 30 августа 1960 г. № 1327 «О даль-

нейшем улучшении дела охраны памятников культуры в РСФСР» и Распоряжением губернатора Пермской области № 713-р от 05.12.2000 «О государственном учете недвижимых памятников истории и культуры Пермского края регионального значения. Кроме того, город Усолье отнесен к историческим городам России.

Для изучения динамики культурного ландшафта необходимо использование различных исторических источников, главными из которых являются картографические архивные материалы разной датировки. Главным инструментом использования этих материалов становятся геоинформационные системы (ГИС), которые являются средством ввода, хранения, обработки, анализа и вывода пространственно-координированных данных для получения новой информации и новых знаний. Возможности применения пространственного анализа после того, как с карты были оцифрованы и описаны формальными моделями пространственные объекты с присвоенными им необходимыми атрибутами – это тот инструмент ГИС, который отличает ГИС как таковую от систем автоматизированного проектирования (САПР). Кроме того, ГИС позволяет «увязывать» между собой данные, относящиеся к разным временным срезам. Геоинформационные технологии, как часть ГИС, не только работают с картографическими и текстовыми материалами, но и позволяют в итоге визуализировать их в удобном для восприятия виде. Реализованный инструментарий в полнофункциональных ГИС позволяет понимать «поведение» пространственно-координированных объектов после того как «просто» данные становятся географическими данными. Данный проект реализован средствами лицензионного программного обеспечения ArcGIS 10.2 (ESRI). Под проектом мы будем понимать данные, используемые в рамках настоящего исследования.

В фондах 279 «Коллекция планов, карт и чертежей Пермской губернской чертежной межевой комиссии и Пермского земельно-устроительного отряда» и 716 «Архивная коллекция картографических документов» Государственного архива Пермского края сохранилось большое количество дореволюционных картографических источников по истории с. Новое Усолье. Например, «План обывательских и господских строений, оставшихся после пожара и возводимых вновь в селе Усолье Соликамского уезда», «План села Усолье (с показанием расположения новых кварталов обывательских и прочих строений, церковных и торговых площадей) Соликамского уезда», «План села Усолье Соликамского уезда». На данном этапе особая работа была проведена с планами с датировкой 1809 г., 1813 г., 1842 г. и 1951 г. [3-5, 11].

Для корректной работы с пространственными данными, в том числе историческими, необходима единая система координат для всех данных проекта. Поэтому, первоначально все имеющиеся картографические источники были геопривязаны (приведены в единую систему координат WGS_1984_Web_Mercator_Auxiliary_Sphere). В качестве подложки для привязки данных использовались снимки различного пространственного разрешения на территорию города Усолье из архивов «Центра космического мониторинга ПГНИУ»: LandSat (пространственное разрешение 30 м, 2001 г.) и Spot-6 (естественные цвета, пространственное разрешение 1,6 м, 2014 г.). Кроме того, использовались базовые карты ресурса ArcGIS Online. ArcGIS Online представляет собой инфраструктуру, позволяющую осуществлять быстрое создание картографических материалов и обмен ими [9]. Этот портал представляет собой готовую ГИС «в облаке», в которой можно не только хранить данные, но также использовать уже готовые картографические сервисы – базовые и тематические карты. В ArcGIS Online содержится большое количество пространственных данных, часть которых была использована в настоящей работе - слой «Imagery World» представляющий собой покрытие снимками высокого пространственного разрешения на всю планету. Таким образом, был подготовлен ГИС-проект для дальнейшей работы с данными.

Следующий этап предполагал создание схемы базы геоданных ArcGIS, при разработке которой вся информация была разделена на позиционную (пространственную) и непозиционную (семантическую) (рис. 2). К позиционной информации были отнесены растровые картографические слои и векторные картографические слои. В свою очередь, растровые картографические слои подразделены на имеющие геопривязку картографические материалы и данные дистанционного зондирования Земли, которые использовались как вспомогательный

материал при оцифровке, привязке и идентификации объектов. Векторные картографические слои, которые представляют собой оцифрованные объекты, в свою очередь подразделены на слои «Кварталы», «Строения» и «Водные объекты».

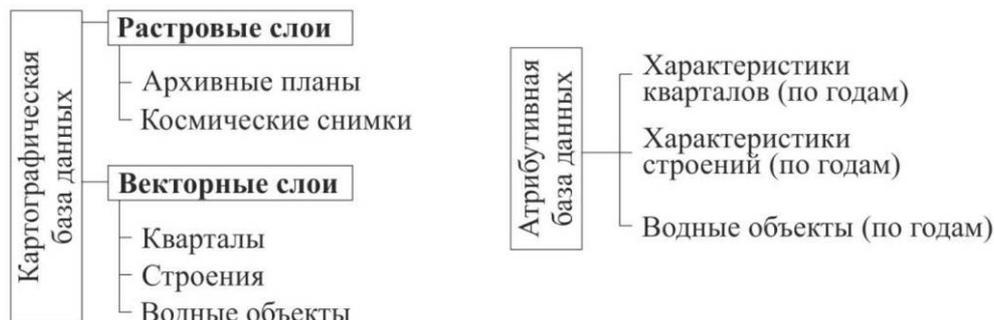


Рис. 2. Структура картографической и атрибутивной базы данных

Семантическая информация таблиц атрибутов объектов представляет собой описательную информацию, которая является основой географических объектов, позволяющей визуализировать, строить запросы и анализировать данные. В атрибутивных таблицах слоя «Строения» для хранения информации определены следующие столбцы: вид строения, тип строения, категория историко-культурного значения, год строительства, принадлежность строений определенным владельцам. В атрибутивных таблицах слоя «Кварталы» содержатся столбцы типа квартала и принадлежности определенным владельцам данной территории.

Таким образом, была разработана база геоданных, которая позволяет хранить информацию упорядоченным способом, а так же облегчает работу с ней, позволяя просматривать, изменять, дополнять, сортировать информацию, делать любые выборки и анализировать.

На следующем этапе работы со всех геопривязанных планов были оцифрованы кварталы и строения, а также водные объекты. Необходимость наличия в базе геоданных контуров водных объектов вызвана поименным положением основной части села и частыми наводнениями (выходами воды за пределы русловых бровок), которые, в свою очередь, являются одним из факторов руслоформирования.

Таким образом, визуализированы все составляющие проекта – слои пространственных объектов; настроены свойства слоев согласно их описательной информации, введенной авторами в таблицы атрибутов слоев проекта. Необходимо отметить, что формат базы геоданных ArcGIS позволяет не только хранить и визуализировать данные, но и задавать поведение объектов внутри базы геоданных. Под поведением объектов понимается не только удобство хранения данных в целом и их организация и редактирование, но и конкретная установка так называемых связей между пространственными и непространственными таблицами, позволяющих получать дополнительную информацию (рис. 3).

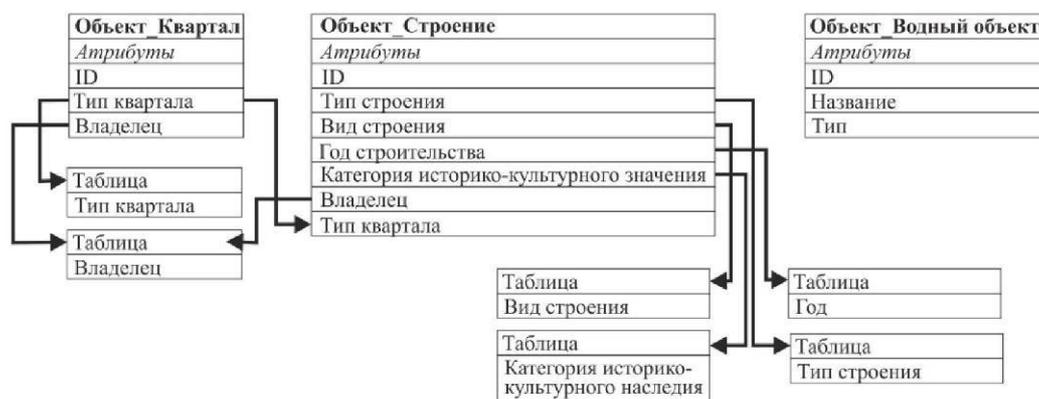


Рис. 3. Связи между пространственными и непространственными таблицами атрибутивной базы данных

На основе положений объектов, идентифицируемых на снимках и картах, были восстановлены утраченные кварталы и строения, обозначенные на более ранних планах (рис. 4).



Рис. 4. Пример окна рабочего проекта

Планы 1809, 1813 и 1842 гг. представляют особый интерес как планы, показывающие развитие города между двумя крупными пожарами, произошедшими 6 июня 1809 г. и 9-11 мая 1842 г. План 1809 г. был составлен после пожара, когда выгорела большая часть села; на нем обозначены названия сформировавшихся на тот момент и проектируемых к будущей застройке слобод (Посадская, Пихтовская, Ларьковская, «За прорвой», Капустная, Козья, «У Часовни», «Заотной и подальним Озером», «На Малом Камне», «При кладбище», Чигиринская, Орлинская, Рубежская, и «На Богомолке»). Сформирован также основной план территории – вдоль камского берега, вытянут с севера на юг. Также с плана в базу геоданных внесена информация о владельцах строений.

В 1809 г. в с. Новое Усолье располагались также следующие здания – Спасская церковь с часовней при ней и колокольной с торговыми лавками, Владимирская церковь, две часовни, «общее господ владельцев правление», господский дом Г.А. Строганова, два дома Е.Л. Лазарева, кузницы А.А. Голицыной, В.А. Шаховской и Е.Л. Лазарева. Из промышленных объектов присутствуют солеварни и соляные амбары и здания верхнего (52 объекта) и нижнего (115 объектов) соляных промыслов. Общая площадь строений составила 225000 м² из которых около 50000 м² - сгоревшие строения в верхнем соляном промысле. Один из объектов идентифицировать пока не удалось.

План села Новое Усолье 1813 года в сравнении с планом 1809 г., имеет незначительные различия. По-прежнему показаны вышеупомянутые слободы, но в то же время в них появились и новые кварталы. Так, увеличились Козья, Пихтовская, Ларьковская слободы. Количество каменных строений увеличилось, среди них, по-прежнему Соборная церковь с колокольной, Владимирская церковь, «часовня в промыслах» (уже названная Покровской), «часовня близ лугов», Господский дом, дом Лазарева и т.д. Среди новых каменных строений обозначены солеварни графа Строганова, барона Строганова, новостроящиеся солеварни княгини Шаховской. В целом, план повторяет план 1809 г., однако, дополнительно удалось идентифицировать переход прав на собственность от одного владельца к другому. В обоих планах наибольшее количество промышленных строений имеет граф Строганов, однако за эти несколько лет происходили и изменения во владениях. Так, В.А. Всеволожский «поте-

рял» 5 промышленных строений (16 в 1809 г. и 11 в 1813 г.), которые перешли княгине А.А. Голицыной (ее владения увеличились с 17 до 22 строений).

Согласно плану, к 1842 г. в Усолье находились следующие слободы – Посадская, Капустная, Пермская, Покровская, Орлинская, Чигиринская, Ивановская, Низовская, Запотымская, Ларьковская, Пихтовская и Богомольская. Рубежская слобода, особенно пострадавшая от пожара 1809 г. показана незастроенной, а слобода «У Часовни» на плане 1809 г., в 1842 г. названа Ивановской и разрослась. План примечателен тем, что здания на нем генерализированы, отображены только несколько «значительных» зданий. Среди них на плане показаны Спасо-Преображенский собор и колокольня, Владимирская и Николаевская церкви, «дом, занимаемый правлением и конторами», дом Лазарева, больница князей Голицыных. Помимо указанных, на плане показаны и другие каменные строения, но без указания их в экспликации, поэтому их сложно однозначно идентифицировать. В Богомольской слободе располагалось одно новое каменное строение. Важно отметить, что на плане показаны земельные участки, отведенные под строения, однако не показаны промысловые строения ни в Верхних, ни в Нижних Промыслах.

Проект планировки города Усолье был разработан в 1951 г. институтом Гипрогор в связи с предстоящим затоплением Молотовского (Камского) водохранилища. Он показывает продолжающееся развитие города в западном направлении. Также визуализируются строения XVIII-XIX вв. в восточной части города. В опорном плане г. Усолья по состоянию на 1951 г. хорошо видны значительные изменения, произошедшие с городом, которое сменило свой статус с "села" на "город. В плане не приведены названия слобод (районов), поэтому удалось классифицировать их только по типу кварталов. Большую часть города составляет деревянная и усадебная застройка; меньше - застройка каменная, которая расположена, как раз-таки, в старой исторической части города. Промышленные территории в основном располагаются в исторически сложившемся промысловом районе, где раньше находился нижний соляной промысел. Относительно небольшую территорию занимают коммунально-складские территории. Большинство строений на плане 1951 года сменили свой функциональный статус.

Формат хранения географических пространственных данных в базе геоданных позволяет хранить так называемые вложения. Вложения представляют собой возможности связывания негеографических данных с географической (пространственной) информацией: позволяют хранить детальную информацию об объектах и получать ее одновременно по запросу пользователя. Вложения реализованы для объектов «Строения» и в данном проекте включают в себя название, архивную фотографию и современную фотографию (при наличии), а также краткое описание строения. Все эти характеристики формируются в виде документа Adobe Reader (формат pdf). При нажатии на объект пользователь может открыть документ и просмотреть основную информацию (рис. 5).

Перспективы данного проекта крайне разнообразны и велики. В первую очередь, это возможность использовать цифровые данные для работы с объектами культурного наследия: осуществлять их пространственный анализ, мониторинг, учет, а также появляется возможность использовать данные для различного рода исторических, археологических и других исследований. В настоящее время идет работа по поиску, обработке и вводу новых данных из архивных источников. Планируется создание цифровой модели рельефа локальной территории по ситуации до создания Камского водохранилища по данным плана 1951 г. и сравнение его с современным пойменным рельефом. Город Усолье становится туристским центром, ведется работа по созданию охранных зон как основы будущего исторического заповедника.

ГИС предоставляют совершенно новые возможности исторических исследований: междисциплинарные подходы к ретроспективным исследованиям, использующие современные информационные технологии и соответствующие научные наработки отраслей общественных наук, доказали свою плодотворность, новизну и крайнюю необходимость в современной науке. ГИС в истории подчеркивают свою ценность как исследовательский метод,

позволяющий оценить пространственные данные и их взаимосвязи, а также как инструмент для визуализации данных и создания цифровых архивов.

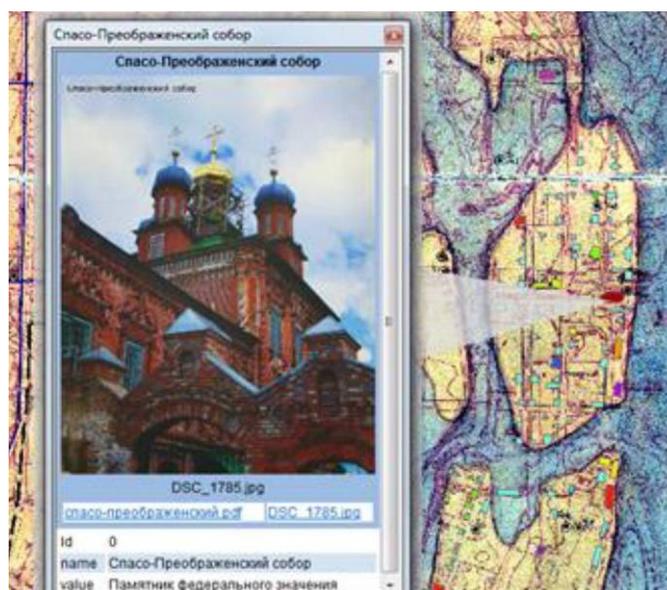


Рис. 5. Пример вложения

Список литературы

1. Бушмакина, Ю.В. Планы с. Новое Усолье из фондов ГАПК как исторический источник / Ю.В. Бушмакина // Вестник научной ассоциации студентов и аспирантов исторического факультета Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия *Stydis historica jenium*. – 2015. - № 1 (11). – С. 35-39.
2. Головчанский, Г.П. Строгановские городки, острожки / Г.П. Головчанский, А.Ф. Мельничук. – Пермь: Книжный мир, 2005. - 230 с.
3. Государственный архив Пермского края. Ф. 279. Оп. 3. Д. 33. План обывательских и господских строений, оставшихся после пожара и возводимых вновь в селе Усолье Соликамского уезда.
4. Государственный архив Пермского края. Ф. 279. Оп. 3. Д. 419. План села Усолье (с показанием расположения новых кварталов обывательских и прочих строений, церковных и торговых площадей) Соликамского уезда.
5. Государственный архив Пермского края. Ф. 716. Оп. 3. Д. 1861. План села Усолье Соликамского уезда.
6. Корниенко, С.И. Геопортал «Историко-культурное наследие Пермского края» как новый полиинформативный источник и программно-технологический инструмент для реализации международных исследовательских проектов / С.И. Корниенко, А.С. Круглова, С.В. Пьянков // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер»: Материалы международной научной конференции «Геоинформационные системы и технологии в исторических исследованиях», Барнаул, 25-27 сентября 2015 г. – 2015. - № 43. – С. 87-92.
7. Ливинская, О.А. Понятие культурного ландшафта в отечественной географии / О.А. Ливинская // Псковский регионологический журнал. – 2012. - № 14. – С. 212.
8. Назаров, Н.Н. Морфодинамические изменения русла верхней Камы (исторический аспект) / Н.Н. Назаров, Е.С. Черепанова // Вестник Удмуртского университета. - 2011. - № 6. – С. 119-126.
9. Облачная ГИС: ArcGISOnline для организаций [электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/13-1/Esri2.pdf.
10. Пиотух N.V. Картографический метод в исторических исследованиях: прошлое и настоящее / Н.В. Пиотух // История. Карта. Компьютер: сборник научных статей. - Барнаул, 1998. – С. 72-88.

11. Проект планировки и застройки г. Усолье 1951 года. - М., 1951.
12. Пьянков, С.В. Историко-культурное наследие Пермского края: сохранение, визуализация и изучение средствами ГИС-технологий / С.В. Пьянков, С.И. Корниенко, А.С. Круглова // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер»: Материалы XIV международной научной конференции «История и компьютер», Москва, 3-5 октября 2014 г. - 2014. - № 42. - С. 142-144.
13. Усолье: мозаика времен: в 2 частях. Ч. 1 / под ред. С.М. Баркова, Л.М. Соколовой. - Пермь: ООО «Раритет-Пермь», 2004. - 320 с.
14. Устрялов, Н.Г. Именитые люди Строгановы / Н.Г. Устрялов. – СПб.: Типография штаба военно-учебных заведений, 1842. - 168 с.
15. Цыпуштанов, В.А. На Усольской заповедной земле / В.А. Цыпуштанов. - Усолье: ПрессА, 2001. - 30 с.
16. Borodkin L. Spatial analysis of peasant' migrations in Russia/USSR in the First Quarter of the 20th century. In: Information Fusion and Geographik Information Systems. Springer International AG Switzerland, 2015, Part 2.

Сведения об авторах

Черепанова Екатерина Сергеевна - кандидат географических наук, доцент кафедры «Картография и геоинформатика» Пермского государственного национального исследовательского университета, cherepanova_es@rambler.ru.

Дмитриева Мария Константиновна, магистрант кафедры «Картография и геоинформатика» Пермского государственного национального исследовательского университета, motley90@rambler.ru.

Бушмакина Юлия Владимировна, магистрант кафедры «Древняя и средневековая история России» Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета, yuliyabushmakina@gmail.com.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS TO STUDY THE DYNAMICS OF THE CULTURAL LANDSCAPE OF THE TOWN USOLYE IN XVIII-XX CENTURIES

E.S. Cherepanova¹, M.K. Dmitrieva¹, Yu.V. Bushmakina²

¹ - Perm State University (PSU)

² - Perm State Humanitarian Pedagogical University (PSHPU)

GIS are now playing an important role in modern historical studies. Data processing methods of GIS technology visualization and spatial analysis allows to eliminate the contradiction between text and mapping historical sources. Algorithms collection and processing of archival data on cultural landscapes in geographic information systems allow the creation of mathematical and cartographical model landscape and display their spatio-temporal dynamics and predict further development. The successful implementation of GIS technology in the study of the dynamics of cultural landscapes shows their effectiveness for a number of purposes: assessment of the impact on the landscape, the choice of strategy management and spatial planning.

Key words: *cultural landscape, database, GIS, archival sources, modeling.*

References

1. Bushmakina Yu.V. Plany s. Novoe Usole iz fondov GAPK kak istoricheskiy istochnik. *Vestnik nauchnoy assotsiatsii studentov i aspirantov istoricheskogo fakulteta Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya Stydis historica jenium*, 2015, No.1, pp. 35-39.
2. Golovchanskij G. P., Melnichuk A. F. *Stroganovskie gorodki, ostrozhki*. Perm, Knizhnyy mir, 2005. 230 p.
3. Gosudarstvennyy arkhiv Permskogo kraya F.279. Op.3. D.33. Plan obyvatelskikh i gospodskikh stroeniy, ostavshikhsya posle pozhara i vozvodimyykh vnov v sele Usole Solikamskogo uezda.

4. Gosudarstvennyy arkhiv Permskogo kraya F.279. Op.3. D.419. Plan sela Usole (s pokazaniem raspolozheniya novykh kvartalov obyvatelskikh i prochikh stroeniy, tserkovnykh i torgovykh ploshchadey) Solikamskogo uezda.

5. Gosudarstvennyy arkhiv Permskogo kraya F.716. Op.3. D.1861. Plan sela Usole Solikamskogo uezda.

6. Kornienko S.I., Kruglova A.S., Pyankov S.V. Geoportal «Istoriko-kulturnoe nasledie Permskogo kraya» kak novyy poliinformativnyy istochnik i programmno-tekhnologicheskii instrument dlya realizatsii mezhdistsiplinarnykh issledovatel'skikh proektov. *Informatsionnyy byulleten assotsiatsii «Istoriya i kompyuter»: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii v istoricheskikh issledovaniyakh», Barnaul, 25-27 sentyabrya 2015 g.* Barnaul, izdatel'stvo AltGU, 2015, No.43, pp. 87-92.

7. Livinskaya O. A. Ponyatie kulturnogo landshafta v otechestvennoy geografii. *Pskovskiy regionologicheskii zhurnal*, 2012, No.14, p. 212.

8. Nazarov N.N., Cherepanova E.S. Morfodinamicheskie izmeneniya rusla verkhney Kamy (istoricheskii aspekt). *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2011, No.6-4, pp. 119-126.

9. *Oblachnaya GIS: ArcGISOnline dlya organizatsiy.* Available at: http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/13-1/Esri2.pdf.

10. Piotukh N.V. Kartograficheskii metod v istoricheskikh issledovaniyakh: proshloe i nastoyashchee. *Istoriya. Karta. Kompyuter: sbornik nauchnykh statey.* Barnaul, 1998, pp. 72-88.

11. *Proekt planirovki i zastroyki g. Usole 1951 goda.* Moscow, 1951.

12. Pyankov S.V., Kornienko S.I., Kruglova A.S. Istoriko-kulturnoe nasledie Permskogo kraya: sokhranenie, vizualizatsiya i izuchenie sredstvami GIS-tekhnologii. *Informatsionnyy byulleten Assotsiatsii «Istoriya i kompyuter»: materialy XIV konferentsii Assotsiatsii «Istoriya i kompyuter», Moscow, 3-5 oktyabrya 2014 g.* Moscow, 2014, No.42, pp. 142-144.

13. *Usole: mozaika vremen: v 2 chastyakh / pod red. S.M. Barkova, L.M. Sokolovoy.* Perm: OOO «Raritet-Perm», 2004, part1. 320 p.

14. Ustryalov N.G. *Imenitye lyudi Stroganovy.* Saint-Petersburg, Tipografiya shtaba voenno-uchebnykh zavedeniy, 1842. 168 p.

15. Tsypushtanov V.A. *Na Usolskoy zapovednoy zemle.* Usole, PressA, 2001. 30 p.

16. Borodkin L. Spatial analysis of peasant' migrations in Russia/USSr in the First Quarter of the 20th century. In: *Information Fusion and Geografhik Information Systems.* Springer International AG Switzerland. 2015. P. 2.

Authors' information

Ekaterina S. Cherepanova - Candidate of Geographical Sciences, Associate professor of the Department of "Cartography and Geoinformatics" at Perm State University (PSU), cherepanova_es@rambler.ru.

Mariya K. Dmitrieva – undergraduate of the Department of "Cartography and Geoinformatics" at Perm State University (PSU), motley90@rambler.ru.

Yuliya V. Bushmakina – undergraduate of the Department of "Ancient and medieval history of Russia" at Perm State Humanitarian Pedagogical University, yuliyabushmakina@gmail.com.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 160246

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ СЕКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ СТРЕЛЫ КРАНО- МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

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 № 2015131596

Приоритет полезной модели 29 июля 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 15 февраля 2016 г.

Срок действия патента истекает 29 июля 2025 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU⁽¹¹⁾

160 246⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
B66C 23/64 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015131596/11, 29.07.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.07.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.07.2015

(45) Опубликовано: 10.03.2016 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Лагерев Александр Валерьевич (RU),
Лагерев Игорь Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ СЕКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ СТРЕЛЫ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

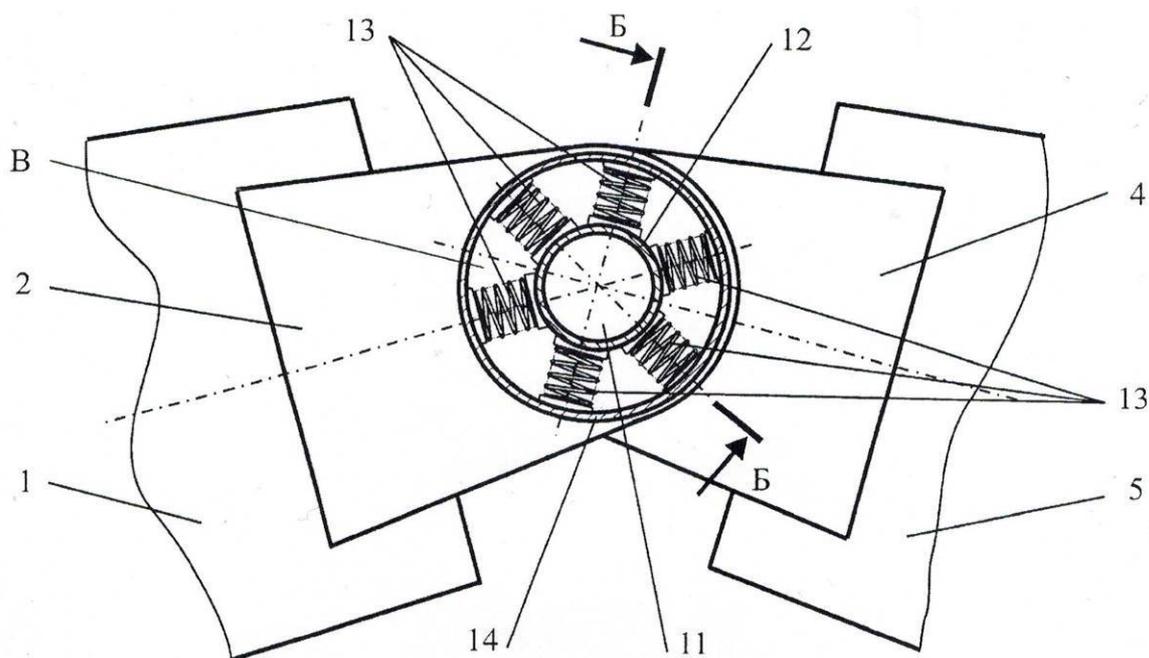
(57) Формула полезной модели

1. Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки, образованное двумя парами проушин, каждая из которых неподвижно закреплена на конце металлоконструкции одной из соединяемых смежных секций стрелы, изготовлена из толстостенного листового проката и имеет соосные отверстия для установки в них шарнирного пальца для создания цилиндрического шарнира, отличающееся тем, что шарнирный палец выполнен удлиненным за счет исполнения цилиндрического хвостовика шарнирного пальца, на котором установлено металлическое кольцо, имеющее возможность свободного скольжения относительно поверхности хвостовика, а к наружной поверхности этого кольца по его периметру одним своим концом неподвижно прикреплены расположенные радиально по отношению к продольной оси шарнирного пальца пружины растяжения-сжатия равной длины, второй конец которых имеет неподвижное крепление к одной из смежных секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки.

2. Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки по п. 1, отличающееся тем, что шарнирный палец выполнен удлиненным с обеих сторон за счет исполнения симметрично расположенных двух цилиндрических хвостовиков шарнирного пальца.

RU 160246 U1

RU 160246 U1



RU

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