



# *Научно-технический вестник*

БРЯНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Б Р Я Н С К

2016(3)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический  
ВЕСТНИК  
Брянского  
государственного  
университета**

**№ 3  
2016**

**Химические науки  
Технические науки  
Науки о Земле**

**Nauchno-tekhnicheskii  
VESTNIK  
Bryanskogo  
gosudarstvennogo  
universiteta**

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

**№ 3  
2016**

**Chemical Science  
Engineering Science  
Earth Science**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 3 (2016). Брянск: РИО БГУ, 2016. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Размещено на официальном сайте журнала: 25.09.2016

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

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

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

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

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

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

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

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

**Editorial Council Chairman:**

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

**Editorial Board:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Электронный журнал «Научно-технический вестник Брянского государственного университета» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации: Эл № ФС77-62798 от 18 августа 2015 г.

**16+**

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

© РИО БГУ, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### Машиностроение и машиноведение

*Ерохин В.В. (Брянск)*

Минимальная жесткость станочного приспособления при обеспечении требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности заготовки ..... 9

*Лагерев И.А. (Брянск)*

Сравнительный анализ гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов ..... 16

#### Транспортное, горное и строительное машиностроение

*Лагерев А.В., Толкачев Е.Н. (Брянск)*

Анализ влияния конструктивных параметров подвесок на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом ..... 50

*Лагерев И.А., Мильто А.А., Лагерев А.В. (Брянск)*

Влияние сил вязкого сопротивления на эффективность демпфирования при повышенных зазорах в шарнирных соединениях крано-манипуляторных установок ..... 60

#### Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

*Юрин А.И., Нефедов А.П. (Москва)*

Исследование метрологической надежности манометров ..... 75

#### Информатика, вычислительная техника и управление

*Лозбинец Ф.Ю., Собенков К.Р., Пономарева А.В. (Брянск)*

Оценка живучести корпоративной сети связи при грозовых воздействиях ..... 80

*Филичева Т.А. (Брянск)*

Применение экспертных опросов при оценке удовлетворенности качеством образовательных услуг ..... 88

#### Энергетика

*Лагерева Э.А. (Брянск)*

Моделирование изменения дисперсного состава твердых включений в многоступенчатых системах пылезолоулавливания ..... 99

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

*Москаленко О.П., Ковалева Е.Л. (Брянск)*

Социально-экологические исследования качества жизни детского населения Брянской области ..... 107

*Псянчин А.В., Хасанова Г.Ф. (Уфа)*

Ландшафтно-экологическое районирование природных комплексов среднегорий Южного Урала ..... 116

**НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Лагерев А.В., Толкачев Е.Н.*

Патент РФ № 164247 на полезную модель «Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой» ..... 121

*Лагерев А.В., Толкачев Е.Н., Лагерев И.А.*

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618964 «Программный комплекс «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом» ..... 124

## CONTENT

### ENGINEERING SCIENCE

#### Machinery Building and Theoretical Engineering

*Erokhin V.V.*

The minimum stiffness of machine tools for ensuring the desired roughness of the machined surface of the workpiece ..... 9

*Lagerev I.A. (Bryansk)*

Comparative analysis of hydraulic crane-manipulating installations transport and technological machines and industrial robots hydraulic manipulators ..... 16

#### Transport, Mining and Construction Machinery

*Lagerev A.V., Tolkachev E.N. (Bryansk)*

Influence analysis of design parameters of suspensions on the technical specifications of conveyor with suspended belt and distributed drive ..... 50

*Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. (Bryansk)*

The influence of forces of viscous resistance on the efficiency of damping in hinges with large gaps in the crane-manipulator installations ..... 60

#### Instrument engineering, metrology and information-measuring devices and systems

*Yurin A.I., Nefedov A.P. (Moscow)*

Investigation of the metrological reliability of manometers ..... 75

#### Informatics, Computer Science and Controlling

*Lozbinev F.Yu., Sobenkov K.R., Ponomareva A.V. (Bryansk)*

Estimation of vitality of corporative telecommunications under thunderstorm influence .. 80

*Filicheva T.A. (Bryansk)*

The use of expert surveys in assessing satisfaction with the quality of educational services ..... 88

#### Power Engineering

*Lagereva E.A. (Bryansk)*

Modeling of changes in particle size distribution of solids in multistage separation systems ..... 99

### EARTH SCIENCE

*Moskalenko O.P., Kovaleva E.L. (Bryansk)*

Socio-ecological research on children's quality of life in Bryansk region ..... 107

*Psyanchin A.V., Khasanova G.F. (Ufa)*

Landscape-ecological zoning landscapes of medium-high mountains of the Southern Ural ..... 116



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

*Lagerev A.V., Tolkachev E.N.*

Patent RU No. 164247. Suspension drive of belt conveyor with hanging ribbon ..... 121

*Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A.*

The certificate of state registration of computer program No. 2016618964 "Software package "Dynamics simulation of conveyors with suspended belt and distributed drive" ..... 124

УДК 621.9.06; 621.7.07

## МИНИМАЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТРЕБУЕМОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ

Ерохин В.В.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

В статье рассматривается методика расчета оптимальных режимов обработки рабочих поверхностей деталей станочных приспособлений. Представлен экспертный параметр качества, который позволяет рассчитать дискретные значения параметров качества поверхностей деталей станочных приспособлений. Показана математическая формализация по нахождению минимальной жесткости станочного приспособления по заданным высотным параметрам шероховатости обрабатываемой поверхности заготовки. Указанные в статье методики позволяют проектировать станочные приспособления и другие изделия технологической оснастки с минимальными затратами на их изготовление.

**Ключевые слова:** Станочные приспособления, качество, точность, производительность обработки, эксплуатационные свойства.

Параметрами качества станочного приспособления являются его точность и надежность. Точность станочного приспособления (СП) определяет выполнение заданных параметров точности размеров, отклонений формы и расположения, волнистости и шероховатости обрабатываемых поверхностей заготовки. Точность и надежность СП обуславливается значениями параметров качества, назначенных на детали СП в зависимости от требуемых показателей эксплуатационных свойств (ЭС) СП.

Выбор методов и расчет оптимальных режимов обработки рабочих поверхностей деталей СП при обеспечении совокупности параметров качества этих поверхностей является многокритериальной задачей. Решение этой задачи представлено на рис. 1. Методика решения заключается в следующем [2].

1. В блоке 1 (рис. 1) задаются: методы обработки поверхностей заготовки; допуски и средняя экономическая точность выполнения технологических размеров обрабатываемой заготовки; параметры качества обрабатываемых поверхностей заготовки – параметры шероховатости ( $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ ,  $Sm$ ), волнистости ( $Wz$ ,  $Sw$ ), допуски формы и расположения.

2. В блоке 2 (рис. 1) задаются: схема и силы закрепления; предельные передаваемые нагрузки от СП к обрабатываемой заготовке и от деталей к деталям СП; допустимые параметры виброустойчивости (динамический коэффициент трения, амплитуда колебаний при резонансном режиме); межремонтный период эксплуатации СП [1].

3. На основе данных блоков 1 и 2 в блоке 3 (рис. 1) выбираются лимитирующие ЭС СП, определяющие требуемые функциональность СП, параметры точности и надежности СП.

4. Для лимитирующих ЭС СП в блоке 4 в зависимости от требуемой надежности и точности функционирования СП из базы данных выбираются требуемые величины параметров качества (например,  $H_{max}$ ,  $Wz$ ,  $Wp$ ,  $Sw$ ,  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ ,  $Rp$ ,  $tp$ ,  $Sm$ ,  $S$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_m$ ,  $E$ ,  $\mu$ ,  $HB$ ,  $D_{кр}$ ,  $\rho_d$ ,  $\sigma_{ост}$ ,  $h_{\sigma 0}$ ,  $H_{\mu 0}$ ,  $h_n$ ), оптимальные значения которых необходимо определить. Здесь  $\sigma_b$  – предел прочности на разрыв;  $\sigma_m$  – предел текучести материала;  $E$  – модуль упругости первого рода;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $HB$  – твердость материала;  $D_{кр}$  – размер кристаллита (зерна) материала;  $\rho_d$  – плотность дислокационных петель материала;  $\sigma_{ост}$  – остаточные напряжения поверхностного слоя;  $h_{\sigma 0}$  – глубина залегания остаточных напряжений;  $H_{\mu 0}$  – микротвердость поверхностного слоя;  $h_n$  – глубина наклепанного слоя [4].

5. В блоке 5 производится выбор материала деталей СП и расчет оптимальных параметров качества их рабочих поверхностей. Этот расчет осуществляется в зависимости от заданных в блоках 1 и 2 значений параметров качества обрабатываемых поверхностей заготовки, надежности закрепления и долговечности СП. Критериями оптимальности расчета являются минимальная себестоимость и максимальная производительность обеспечения параметров качества рабочих поверхностей деталей СП.

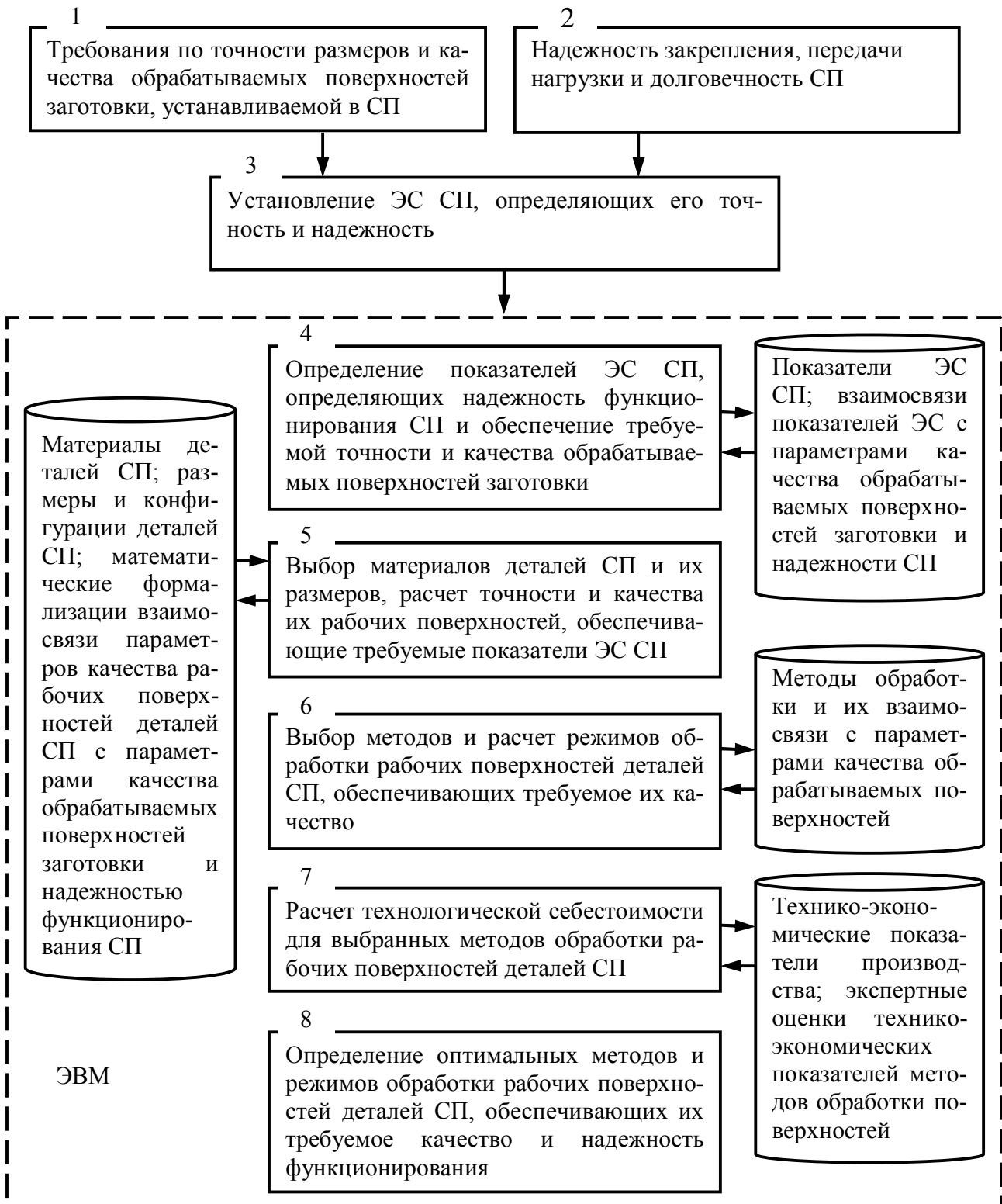


Рис. 1. Блок-схема обеспечения параметров качества СП

В этом случае вводится экспертный параметр оптимальности, определяемый как

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

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 приспособления, ч;  $Cx_j$  – себестоимость обеспечения проектного параметра детали приспособления, 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 (рис. 2), экспертный параметр оптимальности имеет вид [5]

$$Kx_{ji} = [Kx_{j.эм1} \ln(x_{j.эм1}/x_{j.эм2}) + (Kx_{j.эм1} - Kx_{j.эм2}) \ln(x_{ji}/x_{j.эм2})] / \ln(x_{j.эм1}/x_{j.эм2}),$$

где  $Kx_{j.эм1}$ ,  $Kx_{j.эм2}$  – 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;  $x_{j.эм1}$ ,  $x_{j.эм2}$  – эталонные значения проектных параметров по которым определяются соответствующие им значения  $Tx_j$  и  $Cx_j$ , тем самым и  $Kx_{j.эм1}$ ,  $Kx_{j.эм2}$ ;  $x_{ji}$  – проектный параметр качества приспособления при каком-либо значении  $i$ .

Коэффициенты  $a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_i, b_i$  (рис. 2) являются заданными. Они определяются для соответствующих проектных параметров либо из конкретных производственных условий их обеспечения, либо по экспертным оценкам для абстрактных производственных условий.

Оптимальные параметры определяются по следующей методике.

А. Формируются дискретные ряды параметров качества рабочих поверхностей деталей СП (например, числовые параметры  $Ra$  и  $Sm$  изменяются по ряду R10, параметры  $HВ$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_v$ ,  $\sigma_{ост}$ ,  $D_{кр}$ ,  $\rho_d$  изменяются по ряду R80).

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

В. Методом рекурсивного перебора, начиная с элемента вектора-столбца, имеющего наименьшее значение параметра  $Kx_{ji}$ , определяются первые (оптимальные) значения параметров  $x_{ji}$ , которые удовлетворяют требованиям точности и надежности СП.

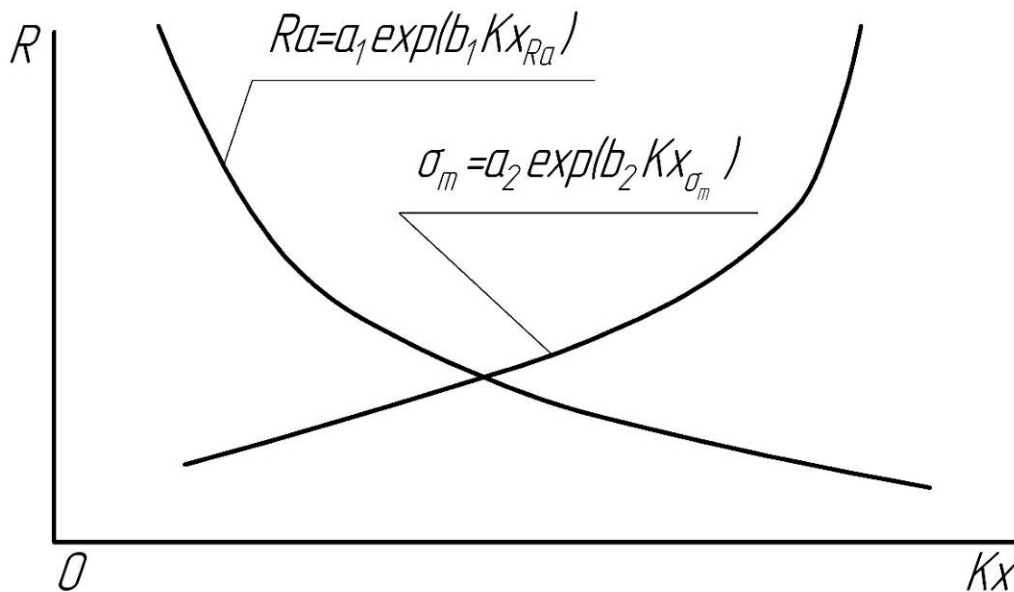


Рис. 2. Взаимосвязь проектных параметров качества СП с экспертными параметрами оптимальности ( $R$  – какой-либо проектный параметр качества СП (здесь  $Ra$ ;  $\sigma_m$ );  $a_1, a_2, b_1, b_2$  – коэффициенты)

6. По рассчитанным значениям параметров качества рабочих поверхностей деталей СП в блоке 6 (рис. 1) выбираются методы и рассчитываются режимы обработки на эти поверхности. Данные для осуществления этого расчета берутся из соответствующей базы данных (рис. 1). В ней содержатся математические формализации, которые определяют для каждого метода обработки взаимосвязи между режимами резания и получаемыми параметрами качества обрабатываемых поверхностей [6].

7. Технологическая себестоимость для выбранных методов обработки рабочих поверхностей деталей СП определяется в блоке 7. Для известной производственной структуры предприятия она определяется по общепринятым методикам. В случае проектирования СП

для абстрактной производственной структуры, так же, как и в блоке 5, необходимо использовать ранжирование методов и режимов обработки поверхностей по минимуму себестоимости на основе экспертных оценок.

8. На основе данных по технологической себестоимости (блок 7), в блоке 8 определяются оптимальные методы и режимы обработки рабочих поверхностей деталей СП, обеспечивающих их требуемое качество и надежность функционирования.

При обработке поверхностей заготовки формируется их микропрофиль, который определяется параметрами шероховатости поверхности. На параметры шероховатости влияют колебания заготовки, приспособления, станка и инструмента. За базовые параметры шероховатости возьмем два параметра: высотный – среднее арифметическое отклонение профиля ( $Ra$ ); шаговый – средний шаг неровностей профиля ( $S_m$ ). Параметр шероховатости  $Ra$  обрабатываемой поверхности заготовки можно определить по следующей формуле

$$Ra = (Ra_c^2 + Ra_n^2 + Ra_u^2 + Ra_z^2)^{0,5} \text{ (мкм)},$$

где  $Ra_c, Ra_n, Ra_u, Ra_z$  – составляющие от среднего арифметического отклонения профиля поверхности  $Ra$ , зависящие от колебаний соответственно станка, приспособления, инструмента и заготовки, мкм.

Составляющая  $Ra_n$  определяется одним из двух методами. Первый метод заключается в том, что известно средняя экономическая точность процесса обработки по параметру шероховатости  $Ra$ :

$$Ra_n \leq Ra - \omega_{cp.э.ш}, \text{ мкм},$$

где  $\omega_{cp.э.ш}$  – средняя экономическая точность формирования высотного параметра шероховатости  $Ra$  резанием поверхности заготовки, учитывающая состояния (точность, динамическую жесткость) станка, инструмента и заготовки, мкм.

Второй метод заключается в анализе вероятностей формирования высотного параметра шероховатости. Допустим, что на параметр шероховатости влияют различные факторы с равной вероятностью. В этом случае, приводя эти факторы к составляющей технологической системы, т.е. к станку, приспособлению, инструменту и заготовки, можно определить долю составляющих шероховатости  $Ra$ . Так на параметры шероховатости в основном влияют жесткость элементов технологической системы и геометрия режущего инструмента, значит на параметр  $Ra$  влияют пять факторов, два из которых относятся к инструменту. Это значит, что параметр  $Ra_n$  можно определить по следующей укрупненной и приближенной формуле

$$Ra_n \leq 0,2Ra \text{ (мкм)}.$$

Шаговый параметр шероховатости  $S_m$  определяется главной или несущей частотой колебания какого-либо и только одного элемента технологической системы, т.е. либо станка, либо приспособления, либо инструмента, либо заготовки. Для определения проектных параметров станочного приспособления необходимо задаться параметром  $S_m$ , численное значение которого определяется функциональным назначением поверхности детали.

Зная параметр  $Ra_n$  и  $S_m$ , можно определить гармоническую функцию колебаний обрабатываемой поверхности заготовки в следующем виде

$$q_{ш} = Ra_n \sin(\omega t) \text{ (мкм)}, \quad (1)$$

где  $\omega = 2 \cdot \pi 1000V/S_m$  – угловая частота колебания заготовки в зоне резания, формирующая шероховатость поверхности,  $c^{-1}$ ;  $S_m$  – средний шаг неровностей профиля, мм;  $V$  – скорость резания, м/с;  $t$  – координата времени, с.

Для определения влияния параметров приспособления на параметры шероховатости  $Ra_n$  и  $S_m$  зададимся следующими правилами [7]:

- 1) заготовка абсолютно твердое тело;
- 2) если неизвестно направление силы резания, то ее направление задается наихудшим вариантом колебания приспособления, т.е. она должна быть направлена на отрыв заготовки от опорной базы, предотвращающей поворот заготовки, опорной базы, предотвращающей линейное перемещение заготовки, направляющей базы, установочной базы, двойной направляющей базы.

Уравнение колебания твердого тела описывается уравнением

$$\overline{A} \cdot \ddot{q} + \overline{C} \cdot q = \overline{Q}(t), \quad (2)$$

где  $\overline{A} = \begin{pmatrix} M & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C \end{pmatrix}$  – матрица коэффициентов сил инерции заготовки;

$M$  – масса обрабатываемой заготовки, а также плавающей поводковой части поводкового устройства, если он имеется;  $A, B, C$  – главные центральные моменты инерции заготовки, а также плавающей поводковой части поводкового устройства по осям  $X, Y, Z$ , если он имеется;  $q \{q_1=\xi, q_2=\eta, q_3=\zeta, q_4=\theta, q_5=\psi, q_6=\varphi\}$  – вектор-столбец, характеризующий перемещения технологических баз ( $\xi, \eta, \zeta$  – перемещения упругого элемента соответственно по осям неподвижной системы координат  $O\xi\eta\zeta$ ;  $\theta, \psi, \varphi$  – корабельные углы Эйлера, предложенные акад. А.Н. Крыловым для упрощения определения направляющих косинусов при малых колебаниях;  $\overline{C}$  – матрица коэффициентов динамической жесткости опорных и зажимных деталей в зонах их контакта с заготовкой;  $\overline{Q}(t)$  – вектор-столбец, характеризующий действия внешних сил на заготовку.

Если принять гармонический характер изменения действия внешних сил, т.е.  $Q_x \sin \omega t, Q_y \sin \omega t$  и  $Q_z \sin \omega t$  ( $Q_x, Q_y, Q_z$  – составляющие внешней силы, действующие в направлениях соответственно осей  $X, Y, Z$ ), и подставить уравнение (1) в уравнение (2), тогда получим значения минимальных упругих жесткостей опорных и зажимных деталей приспособления в зоне контакта с заготовкой [8]:

$$\begin{aligned} \sum_i j_{i,x} &= Q_x / Ra_n + M\omega^2; \\ \sum_i j_{i,y} &= Q_y / Ra_n + M\omega^2; \\ \sum_i j_{i,z} &= Q_z / Ra_n + M\omega^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $j_{i,x}, j_{i,y}, j_{i,z}$  – упругие составляющие жесткости опорных и зажимных деталей, а также подводимых опор соответственно в направлении осей  $X, Y, Z$ , Н/м.

В формуле (3) размерность параметра  $Ra_n$  берется в метрах.

Однако жесткость опорных и зажимных деталей станочного приспособления в зоне контакта их с заготовкой не может быть больше контактной жесткости, обусловленная допустимым давлением на опору, равным  $0,2\sigma_m$  ( $\sigma_m$  – условный предел текучести материала установочной опоры или прихвата). В случае, если это условие не соблюдается необходимо увеличить площадь контакта опор или дополнительно ввести в конструкцию приспособления подводимые опоры или уменьшить внешние силы (силы резания).

Например, при фрезеровании плоскости заготовки из стали 45 (термообработка – улучшение) с изменяющимися силами резания  $Q_x = 800$  Н,  $Q_z = 1100$  Н,  $Q_y = 900$  Н, необходимо получить параметры шероховатости поверхности  $Ra_{1,2}, S_m = 0,12$  мм в направлении оси  $Z$ . Параметр  $Ra_n = 0,2Ra = 0,2 \cdot 1,2 = 0,24$  мкм. Масса заготовки  $M = 0,5$  кг. Скорость резания фрезой с режущими пластинами из твердого сплава составляет 120 м/мин. В этом случае

$$\begin{aligned} \omega &= 2 \cdot \pi 1000 V / S_m = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 120 / (60 \cdot 0,12) = 104667 \text{ с}^{-1}. \\ \sum_i j_{i,z} &= 1100 / (0,24 \cdot 10^{-6}) + 0,5 \cdot (104667)^2 = 10060923778 \text{ Н/м} = 10061 \text{ Н/мкм}. \end{aligned}$$

Упругая составляющая контактной жесткости стыка заготовки с опорами, изготовленными по ГОСТ 13440-68, составляет

$$j_{км} = 4280000 \text{ Н/мкм (давление на опору 1 МПа);}$$
$$j_{км} = 998000 \text{ Н/мкм (давление на опору 5 МПа);}$$
$$j_{км} = 533000 \text{ Н/мкм (давление на опору 10 МПа);}$$
$$j_{км} = 284800 \text{ Н/мкм (давление на опору 20 МПа).}$$

Однако следует учитывать, что СП состоит из множества соединенных деталей. Это обуславливает уменьшение общей жесткости соединений деталей СП, т.к. детали СП соединены последовательно относительно силового замкнутого поля [3].

Из анализа вышеприведенных расчетов можно сделать вывод: для обеспечения требуемой контактной жесткости совокупности поверхностей деталей СП относительно обеспечения на обрабатываемых поверхностях заготовки параметра шероховатости  $Ra$  необходимо по возможности снижать скорость резания и силу резания. Снижение скорости резания обуславливает уменьшение как производительности обработки, так и параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей заготовки. Уменьшение силы резания приводит к повышению параметров качества обрабатываемых поверхностей резанием со снижением производительности обработки.

Также следует учитывать, что при чистовых операциях обработки поверхностей заготовки, когда глубина резания и силы резания небольшие, жесткость СП должна быть больше жесткости СП, используемого на технологических операциях, связанных с большими усилиями резания. Это обусловлено повышенными частотами колебаний СП, вызванных силами резания материала заготовки.

Из анализа формул (3) видно, что первоначально необходимо управлять площадью контакта заготовки с опорными и зажимными деталями СП, вторым вариантом может быть изменение силы резания и последним изменяемым параметром может быть снижение скорости резания.

#### Список литературы

1. Ильицкий, В.Б. Поводковая технологическая оснастка / В.Б. Ильицкий, Ю.А. Малахов, В.В. Ерохин. – Брянск: БГТУ, 1999. – 184 с.
2. Ерохин, В.В. Обеспечение качества станочных приспособлений. Дис. ... докт. техн. наук. – Брянск. 2007. – 412 с.
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. Обеспечение параметров качества станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2007. - №2. – С. 16-19.
5. Ерохин, В.В. Производительность обработки и экономическая эффективность применения технологической оснастки с улучшенными эксплуатационными свойствами / В.В. Ерохин, Д.А. Погonyшева, И.Г. Степченко // Вестник Брянского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 21-24.
6. Ерохин, В.В. Систематизация станочных приспособлений и методология определения их проектных параметров и эксплуатационных свойств / В.В. Ерохин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. - №4. – С. 14-19.
7. Ерохин, В.В. Проектирование виброустойчивой поводковой технологической оснастки / В.В. Ерохин // Вестник машиностроения. – 2015. - №1. – С. 36-37.
8. Ерохин, В.В. Основные аспекты проектирования станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - №1. – С. 11-17.

#### Сведения об авторе

Ерохин Виктор Викторович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», [erohinv@mail.ru](mailto:erohinv@mail.ru).

## THE MINIMUM STIFFNESS OF MACHINE TOOLS FOR ENSURING THE DESIRED ROUGHNESS OF THE MACHINED SURFACE OF THE WORKPIECE

Erokhin V.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

In the article the method of calculating the optimum modes of processing of working surfaces of machine tool parts. Submitted by the expert quality parameter, which allows you to calculate the discrete values of machine tool surfaces quality parameters details. It is shown that mathematical formalization of finding the minimum stiffness of machine tools on the set altitude parameters treated workpiece surface roughness. These techniques allow the article to design the machine accessories and other items of industrial equipment with minimal cost of their production.

**Keywords:** *machine retaining device, quality, accuracy, processing capacity, operational properties.*

### References

1. Ilitsky V.B., Malakhov Yu.A., Erokhin V.V. *Povodkovaya tekhnologicheskaya osnastka* [Machine-tool adaptations]. Bryansk, BGTU, 1999. 184 p.
2. Erokhin V.V. Ensuring the quality machine tool adaptations. Doct. Diss. (Engineering). Bryansk. 2007. 412 p.
3. Erokhin V.V. Dynamic effective coefficient of friction vibration machine tool accessories, *Russian Engineering Research*, 2006, No.11, pp. 45-48.
4. Erokhin V.V. Maintenance of parameters of quality surfaces of adaptations for machine tool, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2007, No.2, pp. 16-19.
5. Erokhin V.V., Pogonysheva D.A., Stepchenko I.G. Performance handling and economic efficiency of the production tools with improved performance characteristics, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No.3, pp. 21-24.
6. Erokhin V.V. Systematization of machine adaptations and methodology of determination of their design parameters and operational properties, *Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii*, 2014, No.4, pp. 14-19.
7. Erokhin V.V. Design of vibration-proof industrial equipment, *Russian Engineering Research*, 2015, No.1, pp. 36-37.
8. Erokhin V.V. Basic aspects design of machine-tool adaptations, *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 11-17.

### Author' information

Viktor V. Erokhin - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, [erohinvv@mail.ru](mailto:erohinvv@mail.ru).



УДК 621.86

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КРАНОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

Лагерев И.А.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

В статье представлены результаты сравнительного анализа гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов. Сравнительный анализ проведен на основе рассмотрения широкого круга типов и типоразмеров указанных технических устройств как отечественного, так и иностранного производства: 1580 конструкций кранов манипуляторов и свыше 450 конструкций промышленных роботов. Он выполнялся по следующим направлениям: функциональному назначению и основным техническим характеристикам; конструктивному исполнению; режимам нагружения; типовым отказам в процессе эксплуатации; подходам к проектированию, методам расчета и математического моделирования. Сделаны выводы о степени сходства и степени различия гидравлических крано-манипуляторных установок транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов с позиций их проектирования и моделирования протекающих в них при эксплуатации динамических и прочностных процессов.

***Ключевые слова:** кран-манипулятор, транспортно-технологическая машина, промышленный робот, манипулятор, сравнительный анализ, метод расчета, режим нагружения, технические характеристики*

Транспортно-технологические мобильные машины, оснащенные гидравлическими крано-манипуляторными установками, и промышленные роботы на основе гидравлических манипуляторов являются в настоящее время одними из наиболее востребованных и широко распространенных технических устройств, используемых в базовых сферах российской экономики для выполнения основных и вспомогательных технологических операций, включая подъемно-транспортные, перегрузочно-разгрузочные и складские работы [1-4]. В производстве гидравлических крано-манипуляторных установок занято значительное число предприятий как в Российской Федерации, так и за рубежом – в Корее, Японии, Германии, США и ряде других стран [2, 5]. В 2012 г. объем производства российских манипуляторов достиг свыше 5,2 тыс. единиц, а объем импорта превысил 8,8 тыс. единиц, причем доля новых крано-манипуляторных установок среди импортированных немного превысила 50% [6]. Таким образом, на протяжении 2000-х и 2010-х годов гидравлические краны-манипуляторы являются востребованным видом грузоподъемного оборудования в Российской Федерации. Согласно [7], в 2013 г. мировой объем продаж промышленных роботов составил свыше 178 тыс. единиц, причем крупнейшими покупателями стали предприятия Китая (свыше 36,5 тыс. роботов), Японии (свыше 25 тыс. роботов), США (23,7 тыс. роботов), Кореи (21,3 тыс. роботов), Германии (18,3 тыс. роботов).

Области преимущественного гражданского использования мобильных гидравлических кранов-манипуляторов включают [6, 8]: промышленное производство, энергетику, металлургию, строительство, газо- и нефтедобычу, геологоразведку, магистральный транспорт нефти и газа, автомобильные, железнодорожные и морские перевозки, лесную промышленность, сельское хозяйство, пищевую промышленность, промышленность строительных материалов, сферу обслуживания и др. Благодаря своей универсальности большинство транспортно-технологических машин, оснащенных гидравлическими крано-манипуляторными установками, являются машинами двойного назначения [8]: они могут быть использованы в качестве транспортно-заряжающих машин артиллерийских и ракетных комплексов, инженерных машин для прокладки колонных путей и дорог, строительства аэродромов, мостов и переправ, оборудования артиллерийских, ракетных, минных и огневых позиций, укрытий живой силы и техники, командных пунктов и пунктов связи и др. Еще одно актуальное направление их использования – преодоление последствий чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера (расчистка территории, разборка завалов, строительство быстровозводимых зданий и сооружений, дамб, плотин и др.) [8].

Области преимущественного гражданского использования промышленных роботов на основе гидравлических манипуляторов включают [4, 7, 9, 10]: машиностроение, приборостроение, транспорт, энергетику, металлообработку, металлургию, строительство, электротехническую, электронную, пищевую и лесную промышленность, промышленность строительных материалов, сферу обслуживания. По данным [11], в 2013 г. наибольшее число новых промышленных роботов было установлено на предприятиях автомобилестроения (69,4 тыс. роботов), электротехнической и электронной промышленности (36,2 тыс. роботов), металлообработки и машиностроения (16,5 тыс. роботов). Также роботы нашли свое достаточно широкое применение в сферах обороны, безопасности, ликвидации последствий природных и техносферных аварий и катастроф, в космических и морских исследованиях, разработке и добыче полезных ископаемых [4].

Сравнение областей преимущественного использования кранов-манипуляторов и роботов показывает как совпадение достаточного числа этих областей для обоих видов оборудования (особенно, оборудования, ориентированного на выполнение погрузочно-разгрузочных, перегрузочных и складских вспомогательных технологических операций), так и наличие специфики эксплуатационного назначения у кранов-манипуляторов и роботов.

Необходимость выполнения аналогичных по своему назначению технологических операций является объективной предпосылкой к созданию кранов-манипуляторов и промышленных роботов сходного конструктивного исполнения, а, следовательно, и к разработке и использованию одинаковых подходов и методов их расчета и проектирования. Однако при проектировании и моделировании данных технических устройств было бы методологически неправильным подходом как отождествлять манипуляторы промышленных роботов и грузоподъемных кранов (как это делается, например, в [10, 12]), так и рассматривать их как принципиально разные машины.

Поэтому с целью объективного уяснения степени сходства и степени различия гидравлических крано-манипуляторных установок транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов с позиций их проектирования и моделирования протекающих в них при эксплуатации динамических и прочностных процессов был проведен сравнительный анализ современных конструкций данных технических устройств. Указанный сравнительный анализ выполнялся по следующим направлениям:

- функциональному назначению и основным техническим характеристикам;
- конструктивному исполнению;
- режимам нагружения;
- типовым отказам в процессе эксплуатации;
- подходам к проектированию, методам расчета и математического моделирования.

Применительно к гидравлическим крано-манипуляторным установкам транспортно-технологических машин были проанализированы конструкции 1580 кранов-манипуляторов (включая 110 – отечественного производства) общего назначения, грейферных манипуляторов, ковшовых манипуляторов, манипуляторов для эвакуации машин, манипуляторов лесных машин, манипуляторов транспортно-заряжающих и инженерных машин, предназначенных для установки на автотранспортные средства, колесные и гусеничные тракторы, железнодорожные машины, стационарные конструкции [13]. В качестве источника информации использовались официальные сайты в сети Интернет следующих производителей: Binderberger [14], Epsilon [15], Palfinger [16] и Penz [17] (Австрия), ОАО «Мозырский машиностроительный завод» [18] (Беларусь), Penny Hydraulics [19] (Великобритания), Atlas [20], MKG [21] (Германия), HMF [22] (Дания), Amco Veba [23], Cormach [24], Effèr [25], Fassi [26], Ferrari [27] и PM [28] (Италия), Bigmax [29] (Канада), Donghe и XCMG [30] (Китай), Auto Crane [31], IMT [32], Jomac [33], Maxilift Cranes [34], Fisher Crane Co [35], Petersen Industries [36], Prentice [37], Serco Loaders [38], Stellar Industries [39] и Terex [40] (США), Kesla (Foresteri) [41] (Финляндия), Cranab [42], HIAВ [43] и V-KRAN [44] (Швеция), Kanglim [45], Dongyang Mechatronics [46], Soosan [47] и Tadano [48] (Южная Корея), Unic [49], Kato [50], Maeda [51] и ShinMaywa [52] (Япония), а также отечественных предприятий ЗАО «БАКМ» [53], ЗАО «Ве-

ликолуцкий машиностроительный завод» [54], АО «Дизель-Ремонт» [55], ЗАО «Златоустовский машиностроительный завод» [56], ЗАО «ИНМАН» [57], ЗАО «Стройдормаш» [58], ООО «Майкопский машиностроительный завод» [59], ООО «Соломбальский машиностроительный завод» [60], ОАО «Клинцовский автокрановый завод» [61], ОАО «Галичский автокрановый завод» [62], ОАО «Ивановский автокрановый завод» [63].

Применительно к манипуляторам промышленных роботов были проанализированы технические характеристики в общей сложности более 450 моделей отечественных и зарубежных роботов, выпускавшихся начиная с последней четверти прошлого века [9] и выпускаемых в настоящее время. Среди ведущих зарубежных фирм-производителей роботов были рассмотрены такие, как KUKA Robotics [64, 65], Epson Robots [66], Denso Robotics [67] (Германия), Universal Robots [68] (Дания), AEB Robotics [67], Comau [68] (Италия), Adept Technology [69], KC Robotics [70] (США), ABB Robotics [71] (Швеция, Швейцария), Asea (Швеция), Fanuc [72], Kawasaki [73], Mitsubishi [74], Nachi [75], OTC Daihen [76], Panasonic [77], YASKAWA Motoman [78] (Япония). Для анализа были взяты только такие модели промышленных роботов, которые можно рассматривать как альтернативные по конструкции, функциональному назначению и условиям работы гидравлическим крано-манипуляторным установкам – стационарные технологические (производственные), вспомогательные (подъемно-транспортные) и универсальные роботы напольного или встроенного исполнения.

*1. Сравнительный анализ функционального назначения и основных технических характеристик кранов-манипуляторов и манипуляторов промышленных роботов.*

На рис. 1 приведены функции  $P(G_n)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов, выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью, по номинальной грузоподъемности  $G_n$ . Необходимо отметить, что верхняя часть кривых 2 и 3, соответствующая области тяжелых и сверхтяжелых манипуляторов по классификации [10, 79], формируется промышленными роботами преимущественно подвесного (портального) исполнения, т.е. конструктивно существенно отличающимися от кранов-манипуляторов. Видно, что медианное значение номинальной грузоподъемности  $G_n$  числа типоразмеров кранов-манипуляторов составляет ~40 кН, гидравлических манипуляторов промышленных роботов - ~0,3 кН, т.е. на 2 порядка меньше. При этом манипуляторы роботов с гидравлическим приводом являются более грузоподъемными, чем с другими типами приводов (пневматическим, электрическим и комбинированным). Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют номинальную грузоподъемность свыше 110 кН, менее 5% - свыше 200 кН. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 1 и 4 кН.

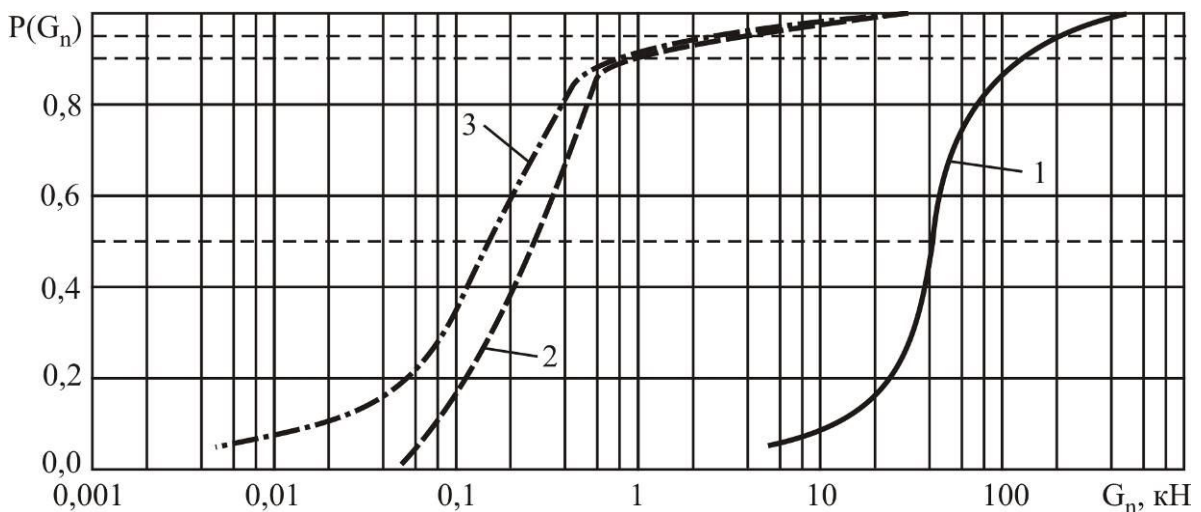


Рис. 1. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по номинальной грузоподъемности: 1 – гидравлические краны-манипуляторы; 2 – гидравлические манипуляторы промышленных роботов; 3 – манипуляторы всех типов привода промышленных роботов

На рис. 2 приведены функции  $P(G_m)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов по величине собственного веса  $G_m$ . Его медианное значение для кранов-манипуляторов составляет  $\sim 18$  кН, для гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 7$  кН, т.е. в 2,5 раза меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют собственный вес свыше 50 кН, менее 5% - свыше 80 кН. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 20 и 28 кН, т.е. также в 2,5 раза меньше. Для манипуляторов роботов характерен больший диапазон разброса их собственного веса - от  $\sim 0,2$  до  $\sim 40$  кН, т.е. величины  $G_m$  для разных типоразмеров роботов могут отличаться до 200 раз, тогда как у кранов-манипуляторов - от  $\sim 2$  до  $\sim 200$  кН, т.е. до 100 раз. Сравнивая данные на рис. 1 и 2 видно, что при приблизительно сопоставимом собственном весе манипуляторы промышленных роботов имеют значительно меньшую номинальную грузоподъемность  $G_n$ , чем гидравлические крано-манипуляторные установки транспортно-технологических машин, - до 2 порядков.

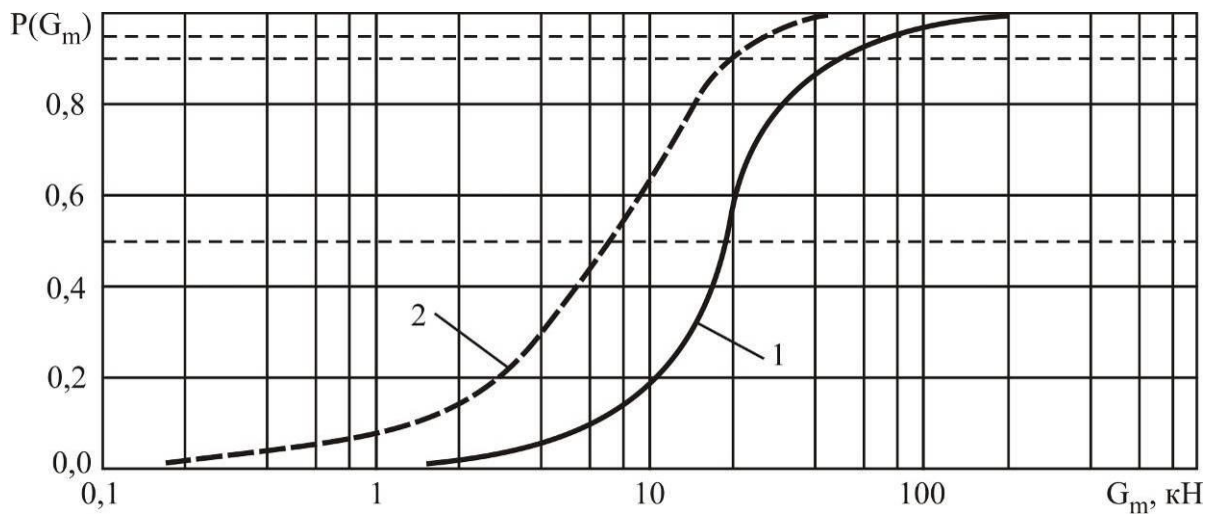


Рис. 2. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по собственному весу:  
1 – гидравлические краны-манипуляторы; 2 – манипуляторы промышленных роботов

Важной характеристикой манипуляторов как кранов, так и роботов является величина максимального грузового момента  $M_w$ . Этот показатель комплексно характеризует взаимозависимость между весом перемещаемого груза  $G$ , величина которого меняется в пределах до номинальной грузоподъемности  $G_n$ , и предельным радиальным размером зоны безопасного манипулирования этим грузом  $r_G$ . Он служит основой для построения диаграмм грузовых характеристик манипуляторов (графиков вида  $G \sim r_G$ ):

$$r_G = M_w / G,$$

а также диаграмм высотных характеристик манипуляторов (графиков вида  $h_G \sim r$  для нескольких значений веса груза  $G$ ):

$$h_G = \sqrt{L_{\max}^2 - r^2},$$

где  $L_{\max}$  - максимальный вылет манипулятора, допускаемый его кинематической схемой и длинами отдельных звеньев;  $r$  - вылет манипулятора в пределах от минимального конструктивного значения до максимального значения  $r_G$ , соответствующего грузу заданного веса  $G$ .

На рис. 3 приведены функции  $P(M_w)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по величине максимального грузового момента  $M_w$ . Его медианное значение для кранов-манипуляторов составляет  $\sim 120$  кН·м, гидравлических манипуляторов

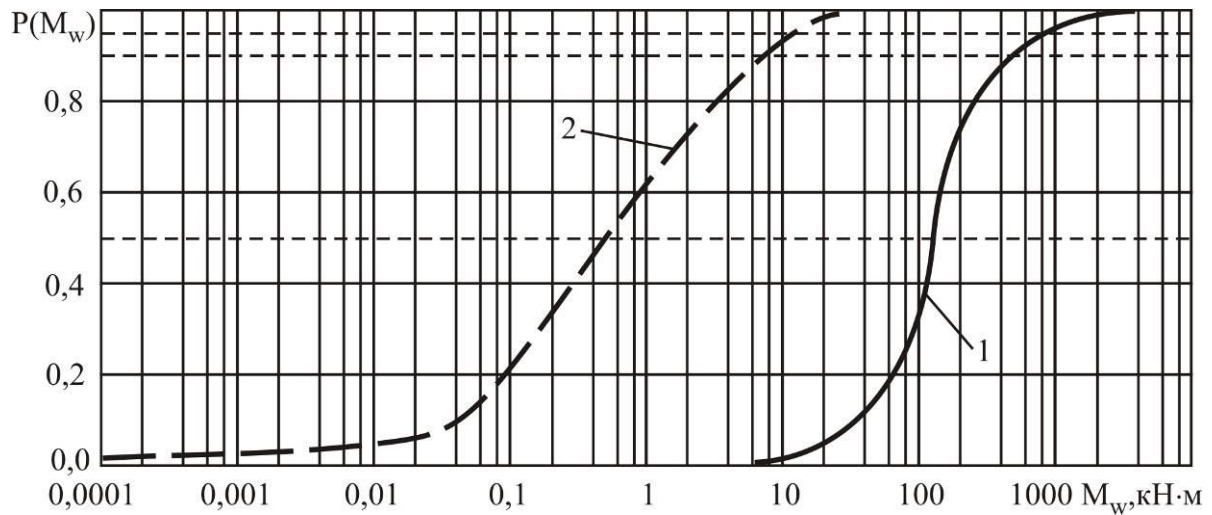


Рис. 3. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по величине грузового момента: 1 – краны-манипуляторы; 2 – промышленные роботы

промышленных роботов -  $\sim 0,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , т.е. более, чем на 2 порядка меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют максимальный грузовой момент свыше  $500 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , менее 5% - свыше  $800 \text{ кН}\cdot\text{м}$ . Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 7 и  $11 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , т.е. примерно на 2 порядка меньше. Для манипуляторов роботов характерна существенно большая ширина диапазона изменения максимального грузового момента - от  $\sim 0,0001$  до  $\sim 25 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , т.е. величины  $M_w$  для разных типоразмеров роботов могут отличаться до  $2,5 \cdot 10^5$  раз, тогда как у кранов-манипуляторов – от  $\sim 6$  до  $\sim 4000 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , т.е. лишь до 700 раз. Примерно каждая вторая крано-манипуляторная установка имеет грузовой момент в достаточно узком диапазоне от 80 до  $200 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

Для целей сравнительного анализа представляет интерес такая техническая характеристика манипуляторов, как объем рабочей зоны  $V_w$ , в пределах которого возможно безопасное манипулирование перемещаемым грузом. На рис. 4 приведены функции  $P(V_w)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов в зависимости от объема их рабочей зоны. Медианное значение  $V_w$  для кранов-манипуляторов составляет  $\sim 2000 \text{ м}^3$ , гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 1,2 \text{ м}^3$ , т.е. на 3 порядка меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют объем рабочей зоны свыше  $12000 \text{ м}^3$ , менее 5% - свыше  $18000 \text{ м}^3$ . Для гидравлических манипуляторов роботов

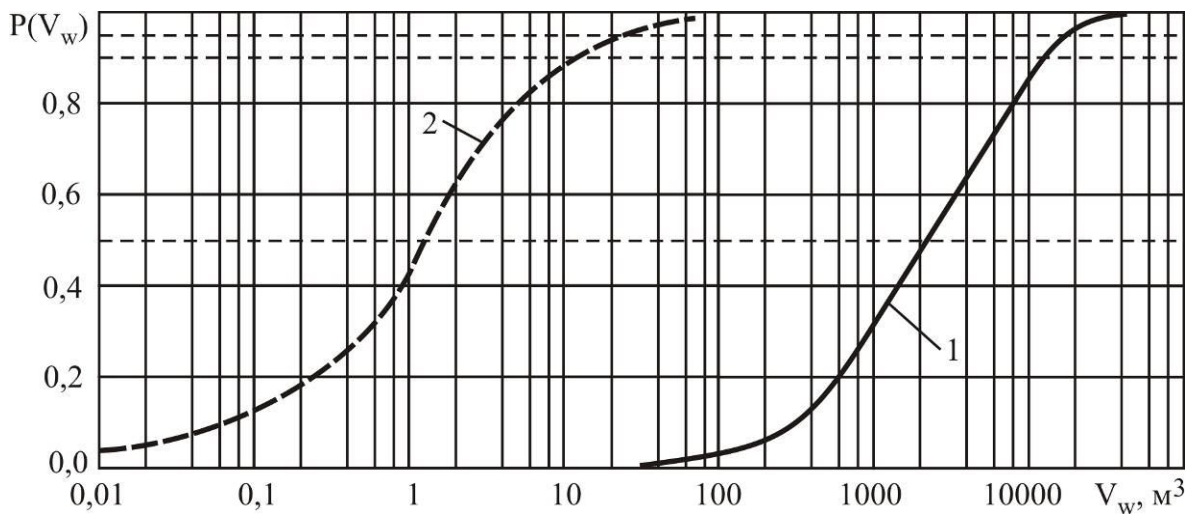


Рис. 4. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по объему рабочей зоны: 1 – краны-манипуляторы; 2 – промышленные роботы

эти значения составляют соответственно 12 и 21 м<sup>3</sup>, т.е. также на 3 порядка меньше. Для манипуляторов кранов и роботов характерна примерно одинаковая ширина диапазона изменения объема рабочей зоны. Для разных типоразмеров роботов величины  $V_w$  лежат в диапазоне от менее чем 0,01 до ~70 м<sup>3</sup>, т.е. могут отличаться до 7000 раз, а у кранов-манипуляторов – в диапазоне от ~3 до ~40000 м<sup>3</sup>, т.е. могут отличаться до 10000 раз.

На рис. 5 приведены функции  $P(L)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов в зависимости от величины хода звеньев  $L$ . Этот показатель характеризует линейный размер рабочей зоны манипуляторов. Применительно к промышленным роботам рассматриваются величины хода модуля выдвижения руки и модуля подъема, применительно к кранам-манипуляторам - максимальный вылет грузоподъемного органа (уникальные крано-манипуляторные установки, имеющие существенно высокие значения максимального вылета стрелы, в объем статистической выборки не были включены). Медианное значение  $L$  для кранов составляет ~10 м, гидравлических манипуляторов промышленных роботов - ~0,6 м (выдвижение руки) и ~0,4 м (подъем), т.е. в 15...25 раз меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют максимальный вылет свыше 18 м, менее 5% - свыше 20 м. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 1,1 и 1,2 м (выдвижение руки) и 0,8 и 1,0 м (подъем), т.е. также на 1 порядок меньше. Ширина диапазона изменения хода рабочих звеньев как для манипуляторов кранов, так и манипуляторов роботов практически одинакова. Для разных типоразмеров роботов величины  $L$  лежат в диапазоне от менее, чем 0,02 до ~1,5 м, т.е. могут отличаться до 70 раз, а у кранов-манипуляторов – в диапазоне от ~2 до ~30 м, т.е. могут отличаться в 15 раз. Примерно каждая вторая крано-манипуляторная установка имеет максимальный вылет в диапазоне 8...12 м.

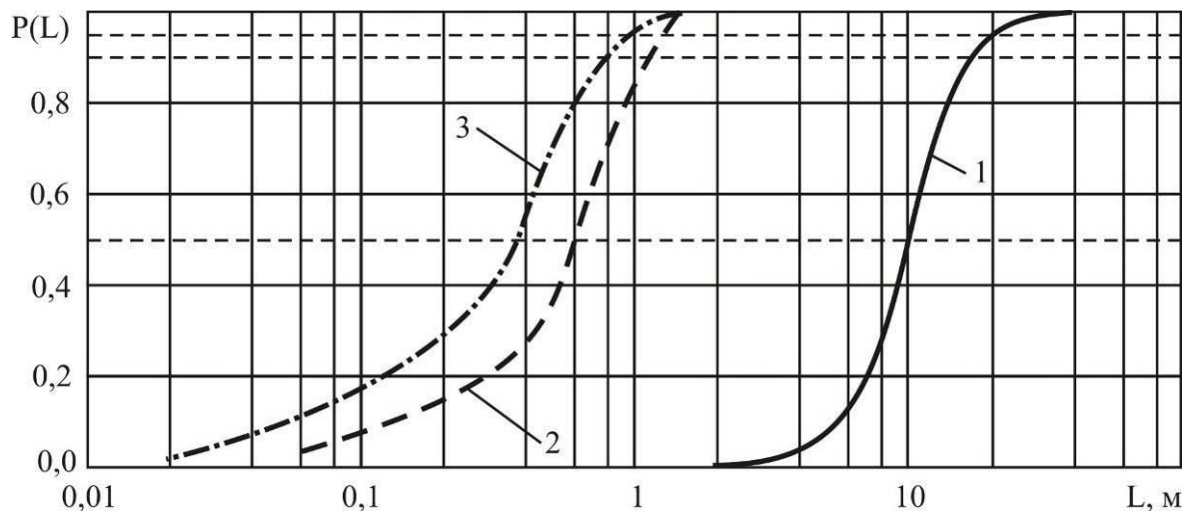


Рис. 5. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по величине хода звеньев: 1 – максимальный вылет крана-манипулятора; 2 – ход выдвижения руки манипуляторов промышленных роботов; 3 – ход модуля подъема манипуляторов промышленных роботов

Важной технической характеристикой манипуляторов промышленных роботов является погрешность позиционирования объекта манипулирования в конечной точке траектории, а также точность отработки заданной траектории в процессе перемещения объекта манипулирования. Погрешность позиционирования для роботов лежит, в основном, в интервале до  $\pm 5$  мм, причем приблизительно каждый второй робот имеет погрешность позиционирования менее  $\pm 0,5$  мм, а погрешность свыше  $\pm 5$  мм имеют лишь менее 2% роботов. Абсолютная погрешность отработки траектории для промышленных роботов составляет  $\pm 0,02... \pm 4$  мм, причем более чем у 2/3 всех роботов она не превышает  $\pm 1$  мм [10]. Такие высокие требования по точности диктуются необходимостью обеспечения нужных параметров качества выполнения тех технологических процессов, которые обслуживают современные

промышленные роботы. Они могут быть реализованы лишь с помощью входящих в структуру промышленных роботов автоматизированных систем программного управления, определяющих и контролирующих функционирование автоматизированного привода механизмов движения звеньев манипуляторов, а также с помощью повышенных характеристик жесткости элементов механической системы – звеньев кинематической цепи, шарнирных соединений и передаточных механизмов. Для крано-манипуляторных установок общего назначения, составляющих основную долю эксплуатирующегося грузоподъемного оборудования, погрешности позиционирования и отработки траектории как таковые не представляют практического интереса и потому не фиксируются в эксплуатационных документах. Это обусловлено спецификой процесса манипулирования перемещаемым грузом с помощью крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин, который предусматривает как ручное управление механизмами движения звеньев манипулятора, так и ручную ориентацию и установку груза в конечной точке траектории. Исключение могут составлять только специализированные крано-манипуляторные установки мобильных машин специального назначения.

Кроме рассмотренных паспортных технических характеристик кранов и промышленных роботов дополнительно представляет интерес сравнительный анализ ряда относительных характеристик, выражающих грузовые свойства манипуляторов.

Данные, приведенные на рис. 6, дают представление об относительных значениях грузовой характеристики манипуляторов – относительной грузоподъемности

$$\bar{K}_{Gn} = G_n / G_m .$$

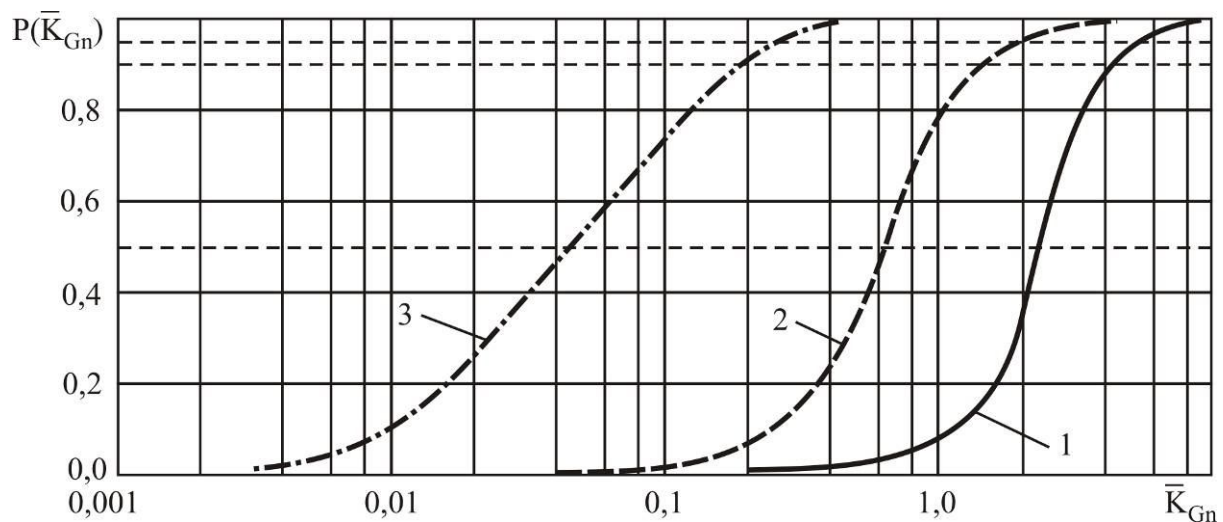


Рис. 6. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по относительной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gn}$ : 1 – краны-манипуляторы (для максимальной грузоподъемности); 2 – краны-манипуляторы (для минимальной грузоподъемности); 3 – промышленные роботы

На рис. 6 приведены функции  $P(\bar{K}_{Gn})$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по относительной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gn}$ . При этом для крано-манипуляторных установок рассматриваются согласно техническим требованиям к данному виду машин две разновидности грузоподъемности – максимальная  $G_{n,max}$  и минимальная  $G_{n,min}$ . Медианное значение относительной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gn,max} = G_{n,max} / G_m$  для кранов составляет  $\sim 2,4$ , а  $\bar{K}_{Gn,min} = G_{n,min} / G_m - \sim 0,65$ , тогда как для гидравлических манипуляторов промышленных роботов -  $\bar{K}_{Gn} \sim 0,045$ , т.е. соответственно примерно на 2 и 1 порядок меньше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют относительную грузоподъемность  $\bar{K}_{Gn,max}$  ( $K_{Gn,min}$ ) свыше 4,2 (1,5), менее 5% - свыше 5,2 (2,0). Для

гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 0,2 и 0,25, т.е. разница по сравнению с медианными значениями уменьшается, составляя менее 1 порядка. Только приблизительно у 2% кранов-манипуляторов значения  $\bar{K}_{Gn,max}$  соответствуют значениям  $\bar{K}_{Gn}$  манипуляторов промышленных роботов. Для манипуляторов роботов характерен более широкий интервал изменения  $\bar{K}_{Gn} - 0,003...0,4$  (в пределах 2 порядков), тогда как для  $\bar{K}_{Gn,max}$  он составляет 0,2...9, а для  $K_{Gn,min} - 0,04...4$ .

Для сравнительного анализа технических характеристик манипуляторов интерес представляет и такой параметр, как относительная собственная масса манипулятора, приведенная к номинальной грузоподъемности  $\bar{K}_{Gm} = G_m / G_n$ . Его можно рассматривать как меру эффективности использования конструкционных материалов (степени удельной материалоемкости металлоконструкции манипулятора), а также как показатель нагруженности и показатель жесткости (способности к сопротивлению деформированию) металлоконструкции манипуляторов под действием перемещаемого груза номинального веса. Относительные параметры  $\bar{K}_{Gm}$  и  $\bar{K}_{Gn}$  связаны очевидным соотношением  $\bar{K}_{Gm} = \bar{K}_{Gn}^{-1}$ .

На рис. 7 приведены функции  $P(\bar{K}_{Gm})$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по относительному собственному весу  $\bar{K}_{Gm}$ . Медианное значение относительного собственного веса крано-манипуляторной установки составляет ~0,4, тогда как манипуляторов промышленных роботов - ~20, т.е. примерно в 50 раз больше. Менее 10% типоразмеров гидравлических кранов-манипуляторов имеют относительный собственный вес крано-манипуляторной установки свыше 0,7, менее 5% - свыше 1,0. Для гидравлических манипуляторов роботов эти значения составляют соответственно 95 и 150, т.е. разница по сравнению с медианными значениями возрастает, составляя более 2 порядков. Только приблизительно у 2% кранов-манипуляторов значения  $\bar{K}_{Gm}$  соответствуют значениям  $\bar{K}_{Gm}$  манипуляторов промышленных роботов. Для манипуляторов роботов характерен более широкий интервал изменения их относительного собственного веса - 2...400 (в пределах 2 порядков), тогда как для крано-манипуляторных установок он составляет 0,1...6 (в пределах 1 порядка). Примерно каждая вторая крано-манипуляторная установка имеет относительный собственный вес, лежащий в достаточно узком диапазоне - 0,3...0,5.

Представленные на рис. 7 результаты свидетельствуют, что показатель  $\bar{K}_{Gm}$  для промышленных роботов существенно превышает данный показатель для крано-манипуляторных установок. Таким образом, в конструкции манипуляторов роботов на каждую единицу номи-

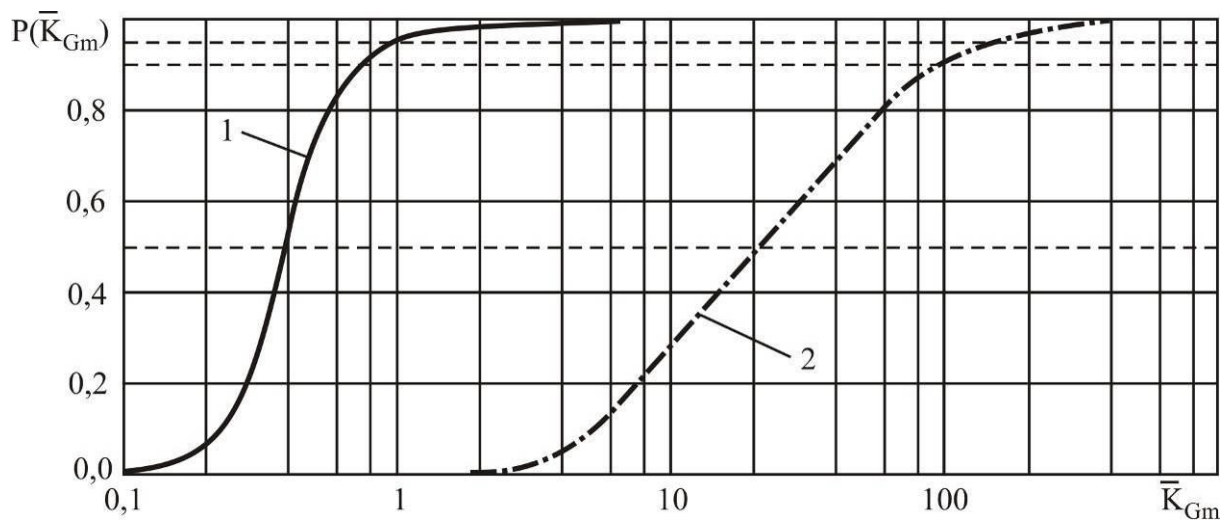


Рис. 7. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по относительной собственной массе  $\bar{K}_{Gm}$ : 1 – краны-манипуляторы; 2 – промышленные роботы



нальной грузоподъемности затрачивается значительно больше конструкционных материалов (больше удельная материалоемкость), что обуславливает существенное утяжеление подвижных звеньев их металлоконструкции по сравнению со звеньями крано-манипуляторных установок.

В качестве относительных параметров, характеризующих грузо-моментные свойства манипуляторов, целесообразно использовать такие, как:

- относительный грузовой момент

$$\bar{K}_{Mw} = \frac{M_w}{M_r} \approx \frac{2M_w}{(G_m + G_{sh})B_a};$$

- относительный опрокидывающий момент

$$\bar{K}_{Mo} = \frac{M_o}{M_r} \approx \frac{2M_w(L_{\max} - 0,5B_a)}{(G_m + G_{sh})L_{\max}B_a},$$

где  $M_r, M_o$  - восстанавливающий и опрокидывающий моменты соответственно;  $G_{sh}$  - вес шасси, на котором установлен манипулятор (для промышленных роботов  $G_{sh} = 0$ );  $B_a$  - минимальное расстояние между параллельными ребрами опрокидывания (для крано-манипуляторных установок  $B_a$  - база установки аутригеров, для манипуляторов роботов  $B_a$  - минимальный размер опорного контура).

Относительные моменты  $\bar{K}_{Mw}$  и  $\bar{K}_{Mo}$  характеризуют меру общей устойчивости манипуляторов против их опрокидывания в процессе эксплуатации.

На рис. 8 приведены функции  $P(\bar{K}_{Mw})$  и  $P(\bar{K}_{Mo})$  распределения числа типоразмеров манипуляторов кранов и роботов по относительным грузовому  $\bar{K}_{Mw}$  и опрокидывающему  $\bar{K}_{Mo}$  моментам. Медианные значения относительных моментов  $\bar{K}_{Mw}$  и  $\bar{K}_{Mo}$  для крано-манипуляторных установок составляют  $\sim 1,2$  и  $\sim 0,8$  соответственно, для манипуляторов промышленных роботов -  $\sim 0,16$  и  $\sim 0,12$  или примерно в 7...8 раз меньше. Таким образом, манипуляторы мобильных транспортно-технологических машин имеют существенно меньший запас общей устойчивости против опрокидывания в процессе манипулирования транспортируемым грузом, чем манипуляторы промышленных роботов, и требуют разработки и применения специальных конструкторских и организационных мероприятий, направленных на повышение их общей устойчивости.

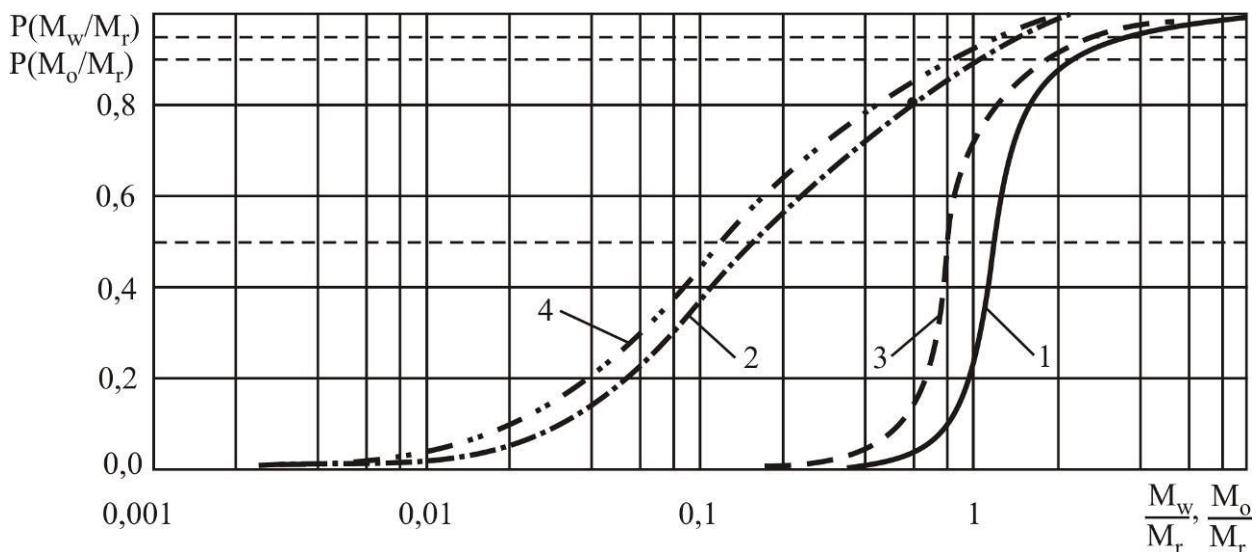


Рис. 8. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по относительному грузовому и опрокидывающему моментам: 1 – относительный грузовой момент крано-манипулятора; 2 – относительный грузовой момент робота; 3 – относительный опрокидывающий момент крано-манипулятора; 4 – относительный опрокидывающий момент робота

## *2. Сравнительный анализ конструктивного исполнения манипуляторов.*

Сравнительный анализ кинематических схем кранов-манипуляторов и манипуляторов промышленных роботов показывает как их принципиальное соответствие, так и наличие существенных отличий, которые необходимо учитывать при проектировании и моделировании работы данных видов технологического оборудования.

Общей чертой манипуляторов как грузоподъемных кранов, так и промышленных роботов является то, что их кинематические схемы являются незамкнутыми и имеют структуру типа дерева, вследствие чего для их символьного описания удобно использовать единый алгоритм кодирования механических систем со структурой дерева методом графов [80]. На рис. 9 показаны наиболее часто встречаемые типы кинематических схем крано-манипуляторных установок, реализуемые в моделях кранов-манипуляторов зарубежных фирм-производителей [6]. Их можно рассматривать в качестве базовых кинематических схем, так как зачастую конструкции крано-манипуляторных установок позволяют наращивать базовую кинематическую схему за счет добавления одной или нескольких дополнительных секций [6]. Такой возможности лишены манипуляторы большинства конструктивных типов промышленных роботов, исключая роботов агрегатно-модульного типа [4, 81]. Но даже в этом случае кинематическая схема робота агрегатно-модульного типа формируется до его ввода в эксплуатацию, а в процессе дальнейшей эксплуатации не изменяется, т.е. является постоянной (фиксированной) во времени. Напротив, базовая кинематическая схема крано-манипуляторной установки мобильной транспортно-технологической машины в процессе эксплуатации может неоднократно видоизменяться с целью обеспечения при выполнении конкретных производственных работ необходимых грузо-высотных характеристик, т.е. в общем случае является дискретно переменной во времени.

Основные движения звеньев крано-манипуляторных установок, как это видно из приведенных на рис. 9 характерных структурных схем кранов-манипуляторов, соответствуют практически одному виду систем координат – полярной сферической. Однако указанная система координат свойственна лишь одному из каждых 9...10 манипуляторов промышленных роботов, так как их основная доля (до 60%) имеет цилиндрическую систему, а всего используется до 7 различных видов систем координат [3, 9, 10].

По сравнению с кранами-манипуляторами структурные кинематические схемы манипуляторов роботов характеризуются большим разнообразием взаимных относительных движений сопряженных звеньев металлоконструкции, так как в них используются кинематические пары нескольких классов - поступательные, вращательные и поступательно-вращательные пары V класса, цилиндрические и вращательные пары IV класса, вращательные (шаровые) пары III класса [3, 4, 9, 10, 82], хотя, естественно, преобладают более простые для технологической реализации низшие кинематические пары V класса, обеспечивающие одну степень свободы. В конструкциях крано-манипуляторных установок используются только низшие кинематические пары V класса – вращательные на основе цилиндрических шарниров, обеспечивающие вращательное движение относительно продольной оси звена или поворотное относительное движение смежных звеньев, и поступательные на основе призматических шарниров, обеспечивающие телескопирование ряда последовательно сопряженных звеньев кинематической цепи (рис. 9).

Сравнительный анализ конструктивного исполнения звеньев и шарниров узлов соединения звеньев кинематических цепей манипуляторов промышленных роботов и грузоподъемных кранов показывает их принципиальное различие. Об этом косвенно свидетельствуют выявленные выше существенно повышенные значения относительной грузоподъемности  $G_n / G_m$  для кранов-манипуляторов по сравнению с промышленными роботами (рис. 6), т.е. для обеспечения манипулирования грузом одинакового веса в случае кранов на изготовление крано-манипуляторной установки затрачивается значительно меньше конструкционных материалов. Указанное отличие заключается в том, что кинематические пары манипуляторов промышленных роботов, оснащенных пневматическим или гидравлическим приводом,

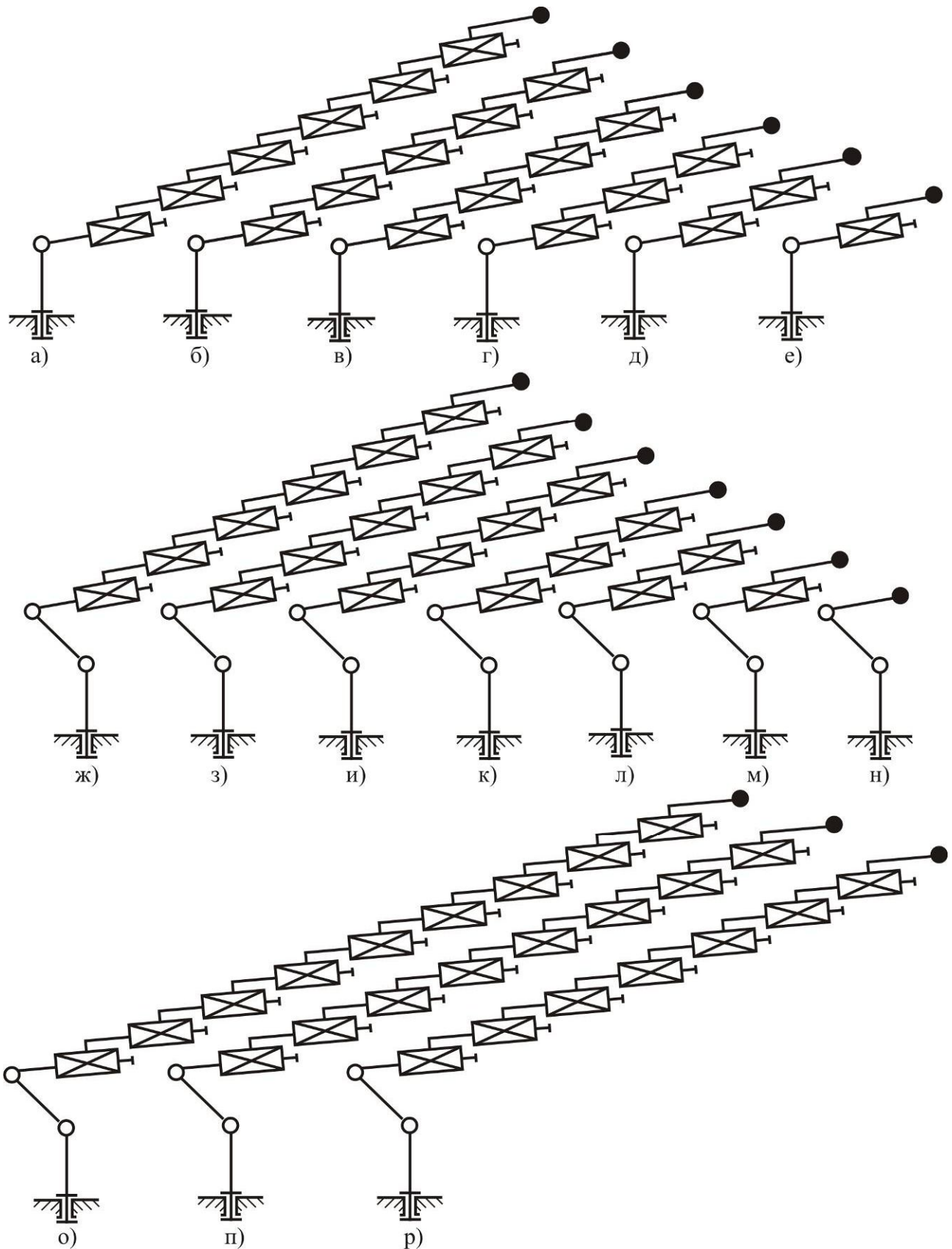


Рис. 9. Часто встречаемые кинематические схемы ряда моделей крано-манипуляторных установок зарубежных фирм-производителей: а – Unic UR-W546C; б – HMF 1910-T5; в – Kato A605; г – Palfinger PFD 99; д – IMT 1.5/11; е – Tadano TM-20; ж – IMT 14/98SL K6; з – PM 12025; и – IMT 10/72SL K4; к – HMF 1800-K3; л – IMT 10/72SL K2; м – PM 12021; н – Varco 295ML; о – PM 65029 SP; п – HMF 6020-K8; р – HMF 1800-K7

представляют собой конструктивное совмещение в виде единой сборочной единицы (модуля движения) собственно самой пары, состоящей из двух звеньев, и приводного пневмо- или гидродвигателя (цилиндра или поворотного двигателя шиберного или поршневого типа) [9, 10, 83-85]. При этом, как правило, одно звено (чаще всего, неподвижное) представляет собой внешнюю деталь цилиндрического поперечного сечения, которая выполняет одновременно роль корпуса пневмо- или гидродвигателя, а другое звено представляет собой шток этого двигателя, совершающее поступательное или вращательное движение. Такой подход к конструктивной компоновке кинематических пар роботов обуславливает их компактность и жесткость, что является необходимым условием для обеспечения требований по допустимой величине погрешностей позиционирования и отработки траектории перемещаемого груза. Звенья кинематической цепи крано-манипуляторных установок проектируются в виде тонкостенных деталей замкнутого поперечного сечения коробчатого типа (рис. 10) [6, 86-88]. Для обеспечения геометрической стабильности геометрии сечения и обеспечения местной устойчивости листовых элементов внутри звеньев могут устанавливаться продольные и поперечные ребра жесткости (диафрагмы) [86-88]. Часть кинематической цепи, представляющая несколько последовательно расположенных поступательных кинематических пар V класса, выполняется в виде телескопической конструкции, когда последующее звено имеет меньшие габаритные размеры поперечного сечения и заходит вовнутрь предыдущего звена [88]. При этом гидроцилиндры, обеспечивающие относительно поворотное движение смежных звеньев, образующих вращательную кинематическую пару V класса, являются самостоятельным элементом металлоконструкции крано-манипуляторной установки. Необходимость их присоединения к обоим звеньям кинематической пары и представления в виде поступательной пары V класса на основе призматического шарнира приводит к усложнению кинематической схемы за счет появления в ней одного или нескольких замкнутых контуров [89] и, таким образом, к несоответствию ее структуры графу типа дерева.

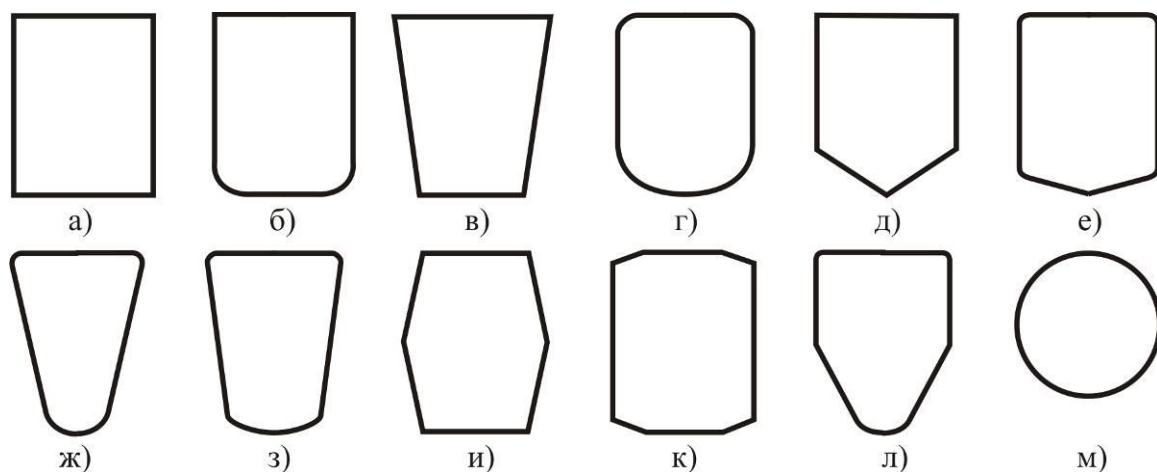


Рис. 10. Профили поперечных сечений звеньев кинематической цепи крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин [6]

Также существенны отличия в конструктивном исполнении шарнирных соединений звеньев кинематической цепи манипуляторов промышленных роботов и грузоподъемных кранов. В случае промышленных роботов с пневматическим или гидравлическим приводом призматические шарниры поступательных кинематических пар V класса чаще всего формируются за счет опирания подвижного звена, являющегося штоком пневмо- или гидроцилиндра, в двух точках – на боковую поверхность отверстия в детали, выполняющей роль торцевой крышки двигателя, и посредством поршня – на внутреннюю поверхность неподвижного звена кинематической пары [84]. Цилиндрические шарниры вращательных кинематических пар V класса чаще всего формируются за счет опирания подвижного звена на две разнесенные подшипниковые опоры (для модулей движения на основе поворотного гидродвигателя поршневого типа)

или на подшипниковую опору и посредством шибера – на внутреннюю поверхность неподвижного звена кинематической пары (для модулей движения на основе поворотного гидродвигателя шибера типа) [84]. В крано-манипуляторных установках призматические шарниры формируются за счет опирания подвижного звена на свободно вращающиеся роликовые опорные устройства [88], а цилиндрические шарниры – за счет соединения двух пар проушин, имеющих соосные отверстия, цилиндрическим шарнирным пальцем [90]. Узлы присоединения приводных гидроцилиндров к звеньям вращательных кинематических пар, представляющие собой цилиндрические шарниры, также формируются за счет соединения пары проушин, приваренных к наружной поверхности звеньев, и хвостовика гидроцилиндра и его штока, имеющих соосные отверстия, цилиндрическим шарнирным пальцем.

### *3. Сравнительный анализ режимов нагружения.*

Отличающиеся условия работы манипуляторов грузоподъемных кранов и промышленных роботов определяют и существенные различия качественных и количественных характеристик режимов нагружения их металлоконструкций. Для большинства промышленных роботов, особенно специализированных по основным видам производств (сварочные, сборочные, перегрузочные в составе обрабатывающих центров, робототехнических комплексов и роботизированных линий и т.п.), графики нагружения оказываются фиксированными в течение достаточно длительного времени эксплуатации как по весу перемещаемого груза, так и по параметрам цикла манипулирования этим грузом – последовательности выполнения движений, их величины и скорости, длительности межоперационных интервалов и др. Изменение графиков нагружения, связанное, как правило, с изменением обслуживаемой роботом технологической операции, требует проведения переналадки и переобучения. Поэтому при проектировании отдельных модулей движения, включая их привод, графики нагружения представляются в фиксированном виде «скорость отработки движения – время отработки движения» для случая манипулирования грузом номинального веса. Примеры подобного подхода содержатся в [83].

Для большинства крано-манипуляторных установок мобильных машин, наоборот, характерно большое разнообразие графиков нагружения, так как даже последовательные во времени циклы перемещения груза могут существенно отличаться как по его весу, так и по параметрам цикла манипулирования этим грузом. Исключение могут составлять лишь крано-манипуляторные установки узко специализированных транспортно-технологических машин. Поэтому графики нагружения грузоподъемных кранов носят выраженный стохастический характер и весьма значительно отличаются как для различных типов грузоподъемного оборудования, так и для кранов аналогичной конструкции в разных условиях эксплуатации. При проектировании крано-манипуляторных установок, как правило, используются типовые графики нагружения [87, 91], которые различны для различных режимов работы грузоподъемного оборудования. Например, обобщенный шестиступенчатый график нагружения (относительной нагрузки на крюке) автомобильных стреловых кранов с номинальной грузоподъемностью 4; 6,3; 10 и 16 т приведен в [87]. Режимы работы, число которых достигает 8-ми (1К...8К) [92], определяются классом нагружения (Q0...Q4) и классом использования (C0...C9) [86, 93]. Как результат, аналогичные крановые металлоконструкции для одинакового номинального веса груза, но различных режимов работы могут заметно отличаться по своим компоновочным и массо-габаритным характеристикам, что не характерно для манипуляторов промышленных роботов. Также в настоящее время в связи с развитием экспериментальной базы автоматизированного мониторинга условий нагружения натуральных конструкций и компьютерной базы имитационного моделирования их работы с практически максимально возможным учетом специфики выполнения конкретных транспортно-технологических операций находит подход к проектированию ответственного грузоподъемного оборудования на основе индивидуальных графиков нагружения. Модели и методики построения таких графиков на основе имитационного компьютерного моделирования представлены, в частности, в работах [91, 94-96].

Наблюдаются существенные различия в условиях и количественных характеристиках опирания манипуляторов промышленных роботов и грузоподъемных кранов, а также в реализующих их опорных конструкциях. На рис. 11 приведена функция  $P(p_c)$  распределения числа типоразмеров манипуляторов роботов в зависимости от величины номинального контактного давления на опорную поверхность  $p_c$  и область значений номинального контактного давления  $p_c$  на грунт для крано-манипуляторных установок мобильных машин на пневмоколесном, гусеничном и специальном шасси. Давление  $p_c$  определялось для манипуляторов роботов по зависимостям

$$p_c = \frac{G_m + G_n}{AB} \quad \text{или} \quad p_c = \frac{4(G_m + G_n)}{\pi D},$$

а для крано-манипуляторных установок – по зависимостям

$$p_c = \frac{G_m + G_n + G_c}{n_a S_a} \quad \text{или} \quad p_c = \frac{G_m + G_n + G_c}{2B_t L_t},$$

где  $A, B$  - габаритные размеры прямоугольного основания робота;  $D$  - диаметр основания робота;  $G_c$  - вес мобильного шасси;  $n_a$  - число аутригеров;  $S_a$  - площадь опорной поверхности аутригера;  $B_t, L_t$  - ширина и длина гусеницы.

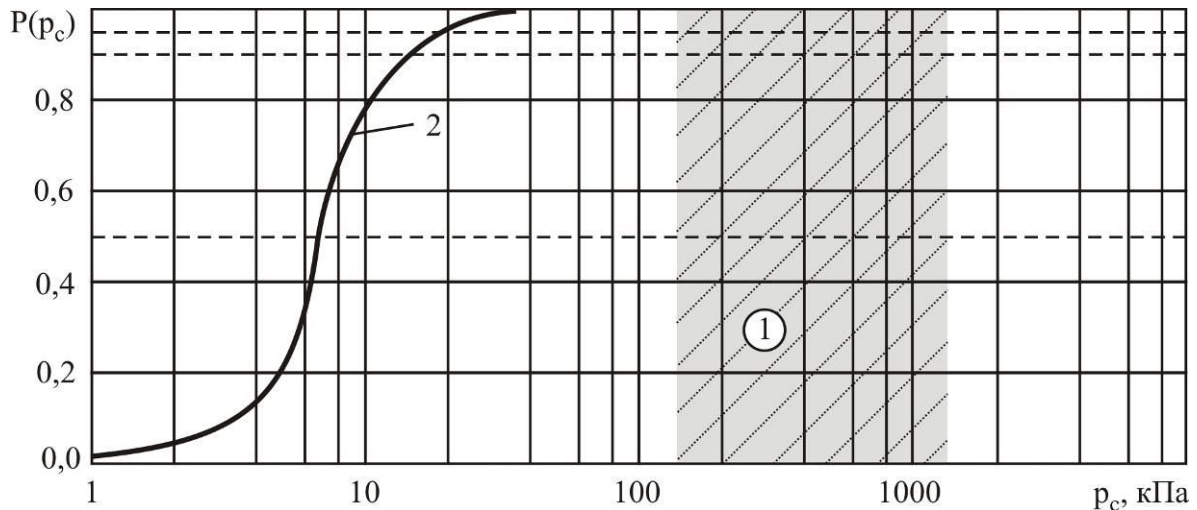


Рис. 11. Распределение числа типоразмеров манипуляторов по величине давления на опорное основание: 1 – область давлений, создаваемых аутригерами кранов-манипуляторов; 2 – давление, создаваемое промышленными роботами

Номинальное контактное давление  $p_c$  характеризует меру возможного влияния физико-механических характеристик, в первую очередь, податливости опорного основания на количественные параметры динамических процессов при эксплуатации манипуляторов. Медианное значение  $p_c$  для манипуляторов промышленных роботов составляет  $\sim 7$  кПа. Менее 10% типоразмеров манипуляторов роботов имеют номинальное контактное давление свыше 15 кПа, менее 5% - свыше 19 кПа. Ширина диапазона изменения  $p_c$  не превышает 35 кПа. Для мобильных машин с расположенными на них крано-манипуляторными установками давление  $p_c$  лежит в диапазоне 150...1500 кПа, хотя для отечественных машин наиболее часто оно соответствует диапазону 200...400 кПа. Следует отметить, что приведенные зависимости для расчета  $p_c$  применительно к мобильным машинам определяют контактное давление из условия равномерного распределения весовой нагрузки на все опорные аутригеры или гусеницы. В реальной ситуации вследствие несимметричного расположения груза относительно

центра тяжести шасси весовая нагрузка распределяется по опорным элементам неодинаково, причем максимальное значение контактного давления  $p_{c,max}$  может превышать номинальное значение  $p_c$  не более, чем в 2 раза. Поэтому приближенно можно считать, что наиболее вероятный диапазон контактных давлений при работе крано-манипуляторных установок составляет 300...700 кПа. Таким образом, разница в величинах контактного давления для манипуляторов грузоподъемных кранов и промышленных роботов составляет 2 порядка, т.е. опорное основание может оказывать существенно большее воздействие на количественные параметры динамических процессов при эксплуатации крано-манипуляторных установок, чем промышленных роботов.

Значение имеют также характер поведения материалов опорной поверхности при их нестационарном деформировании и количественные параметры кривых деформирования. Манипуляторы промышленных роботов с гидроприводом напольного или встроенного исполнения имеют преимущественно стационарную установку, причем в качестве материала опорной поверхности выступает либо бетон, либо сталь. Несмотря на существенные различия вида и параметров кривых деформирования названных материалов, это не имеет практического значения вследствие предельно низкого контактного давления  $p_c$  на опору (рис. 11), при котором ее поведение соответствует абсолютно жесткому телу. Для крано-манипуляторных установок вопрос об особенностях поведения опорного основания оказывается более сложным и носит комплексный характер. Это связано с тем, что в качестве опорного основания выступает двухкомпонентная система «опорная поверхность (грунт)-шасси мобильной машины», каждый из компонентов которой обладает принципиально различными свойствами и количественными параметрами. Деформационные свойства указанной системы формируются как композиция деформационных свойств каждого из компонентов. Деформационные свойства грунтов, определяющиеся их составом и состоянием, характеризуются нелинейными компрессионными кривыми, большим статистическим разбросом механических характеристик и их реологическим поведением [97-99]. Деформационные свойства шасси мобильной машины зависят от его конструкции и вязко-упруго-пластических свойств отдельных элементов – деталей несущей металлоконструкции, амортизаторов, рессор, шарниров, муфт, деталей трансмиссии, зацеплений, колес или гусениц и др. [6, 94, 100]. Однако в целом, принимая во внимание достаточно высокие значения контактного давления  $p_c$  (рис. 11) и реальную деформативность системы «опорная поверхность (грунт)-шасси мобильной машины», опорное основание крано-манипуляторных установок следует рассматривать как физически нелинейное податливое тело, способное к уплотнению в условиях переменной нагруженности аутригеров или гусениц и характеризующееся набором упругих и вязко-пластических параметров.

#### *4. Сравнительный анализ типовых отказов в процессе эксплуатации.*

Сравнительный анализ типовых отказов, характерных для функционирования механических систем манипуляторов промышленных роботов и грузоподъемных кранов, показывает их принципиальное различие.

При эксплуатации промышленных роботов с гидравлическим приводом аварийные ситуации связаны преимущественно со сбоями в электронных цепях систем управления и информационных систем, сбоями в работе гидрооборудования, нарушением требований правил безопасности со стороны обслуживающего персонала при производстве пусконаладочных и ремонтных работ [101-103]. Отказы вследствие дефектности элементов механической части манипуляторов происходят наиболее редко и связаны они, главным образом, с изначальным несоблюдением требований технической документации при изготовлении элементов конструкций, а не с появлением дефектов в ходе эксплуатации [103]. Поэтому не случайно в перечне типовых возможных неисправностей механической системы роботов [102] отсутствуют такие, в основе которых лежит дефектность конструктивных элементов кинематических цепей манипуляторов.

Анализ отказов металлоконструкций грузоподъемных кранов, наоборот, свидетельствует, что основная их причина – дефекты эксплуатационного происхождения, тогда как дефекты технологического происхождения встречаются относительно редко [104]. Для гидравлических кранов-манипуляторов в нормативно-технической документации Ростехнадзора России [105, 106] содержится широкий перечень типовых возможных неисправностей их механической системы, возникающих и развивающихся в процессе эксплуатации до предельно опасного размера по различным физическим механизмам - общей и местной потери устойчивости, хрупкого и усталостного разрушения, остаточных пластических деформаций, коррозии, старения, изнашивания [107, 108]. В их число входят: трещины в сварных швах и основном металле, изгиб стенок и поясов из плоскости, отклонение от прямолинейности и скручивание стержневых элементов, стоек, стрел, башен и т.п., износ сопряженных деталей узлов трения, опор и т.п., выработка отверстий шарнирных соединений, ослабление затяжки или обрыв резьбовых соединений, местные вмятины на поверхности листовых элементов, коррозионное общее и местное (язвенное) утонение металлоконструкций.

Наиболее распространенным и опасным видом эксплуатационных дефектов в металлоконструкциях крано-манипуляторных установок являются трещины различной природы (хрупкие, усталостные, сварочные термические) и различного месторасположения [104-107, 109, 110]. Именно они во многом определяют остаточный ресурс грузоподъемного оборудования и риск возникновения аварийных ситуаций при его эксплуатации, что вообще не характерно для манипуляторов промышленных роботов.

В процессе эксплуатации крано-манипуляторных установок из-за специфической конструкции цилиндрических шарниров узлов соединения звеньев вращательных кинематических пар V класса достаточно часто наблюдается возникновение и развитие повреждения проушин в виде прогрессирующего увеличения диаметра их отверстий относительно исходного номинального значения вследствие ударно-фрикционного изнашивания [105] и появление повышенного зазора между поверхностями проушин и шарнирного пальца. Нормируемая нормативно-распорядительными документами Ростехнадзора России допустимая величина зазора оказывается достаточно велика, составляя 2...4 мм [106]. Наличие таких зазоров - источник дополнительных ударных динамических нагрузок при взаимном перемещении звеньев, оказывающих негативное воздействие на динамическое повышение уровня напряженно-деформированного состояния всей металлоконструкции крана-манипулятора, а также (в случае отсутствия гибкого подвеса) и на транспортируемый груз [6, 111, 112]. Согласно расчетам, результаты которых представлены в [90, 111, 112], в случае повышенных зазоров, близких по величине к допустимым, пиковые значения динамических напряжений в звеньях крано-манипуляторных установок в момент соударения шарнирного пальца с проушиной могут в 5...6 раз превышать номинальные, а ускорение перемещаемого груза в этот момент может скачкообразно достигать 18...20 м/с<sup>2</sup>. Повышенные зазоры в сочетании с неравномерным износом отверстий проушин и шарнирных пальцев также приводят к нарушению кинематической точности конструкций крано-манипуляционных установок. Возникающие при этом значительные инерционные силы непрогнозируемого направления могут являться одной из причин появления и развития усталостных трещин в сварных швах и в основном материале металлоконструкции. В то же время, для манипуляторов промышленных роботов наличие повышенных зазоров в шарнирах не является значимым фактором, подлежащим учету с целью оценки его влияния на величину отклонения текущего состояния манипулятора от номинального, хотя они и могут вызывать низкочастотные (0,5...3 Гц) колебания рабочего органа [113]. Это следствие как весьма малого изнашивания опорных поверхностей шарниров из-за низких контактных давлений и широкого применения подшипников качения, так и включения в конструкцию специальных устройств для периодической принудительной выборки зазоров в передаточных цепях [82]. И хотя процедура выборки зазоров целиком направлена на поддержание в заданных пределах погрешностей позиционирования и отработки траектории, она благоприятно сказывается и на поддержании исходного динамического состояния металлоконструкции манипулятора.



Повсеместное использование в металлоконструкциях звеньев крано-манипуляторных установок тонкостенных профилей (рис. 10) является источником достаточно распространенных дефектов – общих и локальных отклонений стенок и поясов звеньев от исходной плоскости в результате потери устойчивости или внешних ударных воздействий [109]. Появление указанных дефектов в процессе эксплуатации грузоподъемного оборудования приводит к повышению общего уровня напряженно-деформированного состояния и перераспределению напряжений по сечению замкнутого профиля в угловые зоны (перегрузка до 50...60% относительно номинальных значений) [114], к существенному снижению критических нагрузок при потере устойчивости и к изменению частот собственных колебаний по сравнению с исходными значениями [115]. В [105, 106] приведены нормированные значения этих дефектов, при достижении которых дальнейшая эксплуатация крано-манипуляторных установок запрещена и требуется проведение ремонтных мероприятий. Как показывает проведенный в [116] анализ, в наиболее нагруженных элементах конструкции, таких как звенья, которые испытывают напряжения в пределах не менее 50...80% величины предела текучести материала, локальные дефекты типа вмятин недопустимы по условию прочности.

За редким исключением, крано-манипуляторные установки мобильных транспортно-технологических машин эксплуатируются на открытом воздухе и подвержены длительному негативному воздействию таких атмосферных явлений, как низкая или высокая температура воздуха, резкие суточные колебания его температуры, атмосферные осадки, обледенение, ветер. Такие условия эксплуатации обуславливают проявление коррозионных процессов в местах нарушения защитного лакокрасочного покрытия, что вызывает с течением времени общую, локальную или язвенную потерю материала с наружной или внутренней поверхности тонкостенных металлоконструкций звеньев [104, 105, 107]. Особую опасность имеют коррозионные повреждения внутренних полостей звеньев коробчатого поперечного сечения, мест резкого изменения конфигурации конструктивных элементов, узлов сопряжения нескольких элементов с образованием труднодоступных полостей и углублений, поверхностей зазоров и щелей при неплотном прилегании сопрягаемых элементов, сварных соединений с прерывистыми швами [117]. Мониторинг состояния крановых металлоконструкций показывает, что линейная (по толщине конструктивного элемента) скорость распространения коррозионных повреждений в нормальных условиях эксплуатации составляет 0,03...0,2 мм/год [110]. В слабо- и среднеагрессивных условиях эксплуатации (химические производства, морской климат, повышенные температура и влажность) скорость коррозии может быть заметно выше. Коррозионное утонение поперечных сечений металлоконструкций звеньев вызывает постепенный рост уровня напряжений и деформаций в конструкциях, снижение их сопротивления общей и местной потере устойчивости и трещиностойкости, уменьшение частот собственных колебаний [104, 118]. Язвенная коррозия приводит к значительной локальной концентрации напряжений в зоне повреждения материала (коэффициент концентрации напряжений доходит до 2,5...3), поэтому дефекты типа коррозионных язвин поверхности недопустимы в таких нагруженных элементах конструкций, которые испытывают напряжения в пределах не менее 50...80% величины предела текучести материала [116]. Уменьшение частот собственных колебаний из-за коррозии может оказаться опасным, так как согласно результатам моделирования динамики крано-манипуляторных установок с учетом упругой податливости их звеньев [100], это приводит к сближению частоты колебаний звеньев при движении с низшей собственной частотой металлоконструкции, причем изначальная разница частот и так невелика – частоты имеют один порядок значений.

Очевидно, присутствие в металлоконструкциях значительного числа развивающихся с течением времени дефектов значительных размеров способно оказывать воздействие на изменение количественных характеристик динамического и напряженно-деформированного состояния крано-манипуляторных установок по сравнению с их исходным, бездефектным состоянием. Для повышения достоверности результатов расчета и моделирования крановых манипуляторов требуется учет влияния наиболее значимых дефектов, тогда как для про-

мышленных роботов учет дефектности элементов манипуляторов не представляет практического интереса.

Вследствие высокой значимости влияния эксплуатационных дефектов на уровень технического состояния и безопасной эксплуатации крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин нормативно-распорядительными документами Ростехнадзора России широкий круг указанного оборудования отнесен к опасным техническим устройствам. Контроль за их безопасной эксплуатацией осуществляется на основе единой многоуровневой федеральной системы государственного надзора и производственного контроля. Она предусматривает периодическое проведение экспертных обследований кранов-манипуляторов, исчерпавших нормативный срок эксплуатации, в ходе которых предусмотрен комплексный визуальный и инструментальный контроль металлоконструкции, механизмов и систем кранов, а также оценка остаточного ресурса [106, 117].

*4. Сравнительный анализ подходов к проектированию, методов расчета и математического моделирования.*

При моделировании кинематики и динамики манипуляционных систем промышленных роботов в качестве исходного допущения принимается условие абсолютной жесткости опорного основания [12, 80, 119-121]. Это вполне допустимо и подтверждается приведенной выше оценкой величины контактного давления роботов на опорное основание (рис. 11), а также значениями упругих количественных характеристик материалов основания. Для крано-манипуляторных установок данное допущение в общем случае не соответствует реальной ситуации в связи с более высокими контактными давлениями со стороны мобильных транспортно-технологических машин на грунт (рис. 11), имеющий существенно более низкие деформационные и прочностные свойства, чем бетон или сталь [97]. Поэтому стремление к повышению достоверности моделирования кинематики, динамики и прочности кранов-манипуляторов требует отхода от допущения об абсолютной жесткости опорного основания. Однако учет его податливости основан на учете свойств реальных грунтов, который осложняется выраженным нелинейным характером компрессионных кривых для всех известных видов скального и нескального грунта [99, 122], реологической природой его свойств и значительным стохастическим разбросом количественных характеристик механических свойств даже для одного вида грунта, что обусловлено сочетанием ряда случайных составляющих - процентного содержания основных компонентов, гранулометрического состава, текстуры, состава примесей, степени предварительного уплотнения, пористости, водонасыщения, промерзания, пластичности и др. [97-99]. В диапазоне значений уплотняющего давления на грунт  $p_c \sim 100 \dots 500$  кПа, который характерен для работы большинства гидравлических кранов-манипуляторов с аутригерами или гусеничным движителем (рис. 11), без существенной потери точности расчетов компрессионные кривые грунтов допустимо аппроксимировать линейной зависимостью [98].

Еще одним распространенным допущением, принимаемым при моделировании кинематики и динамики манипуляционных систем промышленных роботов, является допущение о неподвижности опорного основания [12, 119, 120]. Оно отражает тот факт, что подавляющее число манипуляторов с гидравлическим приводом являются стационарно установленными, так как имеют напольное, встроенное или подвесное исполнение. Для крано-манипуляторных установок такое допущение в общем случае не является корректным. Это обусловлено тем, что их опорное основание, расположенное на шасси мобильных машин, во время эксплуатации может совершать перемещения как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях. Источниками таких перемещений могут служить движение мобильной машины, раскачивание плавучего средства на поверхности воды, податливость шасси и грунта, сейсмические воздействия. Отказ от указанного допущения требует адаптации применяющихся методов динамического анализа манипуляторов промышленных роботов путем присоединения к основанию дополнительного шарнира или набора шарниров, обладающих шестью степенями свободы [6, 123].

При моделировании кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов широко используется допущение об идеальности кинематических пар, их конструктивных элементов, шарнирных соединений и передаточных механизмов [121, 124]. Отход от этого допущения связан лишь с учетом наличия люфтов в шарнирах, характеризующихся малыми значениями вследствие их принудительной выборки в процессе периодических технических обслуживаний механических систем роботов, и наличия гибких элементов (цепей, ремней, гибких валов) в конструкции передаточных механизмов. Подобное допущение также широко используется и при моделировании кинематики, динамики и прочности крано-манипуляторных установок [6, 89, 125-127], однако отход от него дополнительно связан с учетом не идеальности кинематических пар и их конструктивных элементов вследствие возникновения и развития эксплуатационных дефектов существенного размера [90, 111, 112]. Более того, указанное допущение оказывается вообще неприемлемым при анализе реального напряженно-деформированного состояния металлоконструкций и оценке остаточного ресурса кранов-манипуляторов в соответствии с требованиями нормативно-распорядительной документации Ростехнадзора России [106, 117].

Для повышения достоверности моделирования кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов и грузоподъемных кранов выполняется учет упругой податливости их конструкций. Однако конечная цель такого учета оказывается разной: для манипуляторов промышленных роботов учет упругой податливости шарниров и звеньев важен с точки зрения обеспечения заданных параметров погрешностей позиционирования и отработки траектории перемещения груза, тогда как для крано-манипуляторных установок он важен с точки зрения формирования динамического напряженно-деформированного состояния металлоконструкций и не превышения его уровнем предельного значения по условиям статической и усталостной прочности. Как показывают результаты экспериментальных исследований [121], упругие свойства конструкций современных роботов обусловлены преимущественно упругостью элементов шарнирных соединений звеньев кинематической цепи и в меньшей степени - упругостью самих звеньев. Для крано-манипуляторных установок наряду с упругостью шарнирных соединений не меньшее значение имеет распределенная упругая податливость длинных тонкостенных звеньев. Как показывают расчеты [100], размах колебаний кинематических и силовых факторов, определяющих динамику и динамическую прочность конструктивных элементов металлоконструкций манипуляционных систем мобильных машин, а также величина их возможного отклонения от решения, полученного для модели с абсолютно жесткими звеньями, оказываются достаточно существенными. При этом упругость звеньев обуславливает наличие переменных виброускорений даже на этапе их установившегося движения, что вызывает появление переменных во времени инерционных нагрузок на металлоконструкцию и необходимость проведения уточненного расчета напряженно-деформированного состояния звеньев и оценки их усталостной прочности с учетом действия этих дополнительных нагрузок. Следует отметить, что учет распределенной упругой податливости звеньев выполняется и для манипуляторов промышленных роботов с целью определения колебаний звеньев в процессе отработки ими движений и оценки динамической погрешности позиционирования [83, 121]. Однако учет упругости звеньев, зазоров и трения в шарнирах дает незначительное отличие результатов моделирования динамики роботов от результатов моделирования динамики системы абсолютно твердых тел с идеальными связями [121].

При исследовании кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов различают так называемые прямые и обратные задачи [80, 119-121, 124]. Прямая задача кинематики заключается в определении траектории движения рабочего органа по заданным обобщенным координатам манипулятора, обратная – в определении требуемых значений обобщенных координат для обеспечения требуемой траектории рабочего органа. Прямая задача динамики подразумевает определение параметров движения (координат, скоростей, ускорений) по заданным усилиям и нагрузкам, обратная - определение необходимых усилий для обеспечения требуемой траектории движения [6, 12]. Таким образом, решение обратных задач лежит в основе программирования траекторий движения манипулятора промышленно-

го робота. Реализация запрограммированных траекторий возможна только благодаря наличию у роботов высокоточных систем управления, которые, как это было отмечено выше, отсутствуют у крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин. Таким образом, для последних решение обратных задач лишено практического интереса, так как траектории не могут быть реализованы при ручном управлении человеком.

При проектировании крано-манипуляторных установок оценке их напряженно-деформированного состояния уделяется более серьезное внимание, чем в случае манипуляторов промышленных роботов. Это следствие ряда причин, рассмотренных выше: более высокого уровня нагруженности элементов металлоконструкции вследствие необходимости обеспечения существенно меньшей удельной материалоемкости, необходимости учета более широкого круга действующих эксплуатационных нагрузок [91] и их расчетных комбинаций [142], а также необходимости учета потенциально возможного негативного влияния возникающих в процессе эксплуатации дефектов на снижение прочности конструкций. Методы синтеза и анализа крановых металлоконструкций постоянно совершенствуются на основе привлечения методов статистического моделирования нагруженности, возможностей современной вычислительной техники, расчета тонкостенных конструкций, оценки общей устойчивости, прогнозирования живучести, многокритериальной оптимизации, определения остаточного ресурса [8, 86, 87]. Для уточненной оценки напряженно-деформированного состояния сложных составных пространственных металлоконструкций, характерных для крано-манипуляторных установок, в практике краностроения в настоящее время широко используется метод конечных элементов и реализующие его универсальные программные пакеты ANSYS, NX Nastran, NE Nastran, MSC.Patran/Nastran, Pro/MECHANICA и др. [137-141].

Для современного машиностроения важным направлением совершенствования конструкций машин является их оптимальное проектирование [128, 129]. Применительно к грузоподъемным машинам основными целями их оптимизации являются снижение материалоемкости несущих металлоконструкций при соблюдении комплекса конструктивных, прочностных, жесткостных и эксплуатационных требований, сокращение эксплуатационных расходов, повышение производительности и энергоэффективности кранового оборудования. К настоящему времени разработан и используется на практике целый ряд методов одно- и многокритериального оптимального проектирования механизмов и металлоконструкций грузоподъемных машин различных типов, в том числе, ориентированных на оптимизацию гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин общего назначения [94, 126, 130-132] и специализированных машин, в частности, лесопромышленных машин [133, 134]. Основной целью оптимального проектирования манипуляторов промышленных роботов является оптимизация их движений с позиций повышения быстродействия и точности позиционирования. Для достижения указанной цели разработан ряд методов одно- и многокритериальной оптимизации, позволяющих установить такие оптимальные характеристики манипуляторов, как режимы управления манипуляционными роботами [121], компоновка роботов модульного типа [81], распределение масс между звеньями кинематической цепи [135], параметры приводных устройств [136].

#### **Выводы.**

1. Основные технические характеристики крано-манипуляторных установок и манипуляторов промышленных роботов, отражающие их грузовые и геометрические свойства, выражаются аналогичными физическими показателями. Однако нельзя говорить об их количественном соответствии. Абсолютные и относительные значения основных технических характеристик манипуляторов, определяющих грузовые и грузо-моментные параметры кранов и роботов, значительно отличаются по величине, причем отличия составляют, как правило, 2...3 порядка. Таким образом, по аналогии с влиянием размеров машиностроительных конструкций на механические свойства конструкционных материалов и их прочностные характеристики, выражаемого так называемым «масштабным фактором», следует ввести понятие масштабного фактора применительно к техническим характеристикам манипуляторов.

Его необходимо принимать во внимание при проектировании и моделировании гидравлических крано-манипуляторных установок.

2. Следствием наличия масштабного фактора, связанного с конструктивными размерами манипуляторов, является необходимость учета при проектировании металлоконструкций гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин существенно меньшей удельной материалоемкости, что, как следствие, обуславливает необходимость проведения их более детального прочностного анализа с привлечением методов статистического моделирования нагруженности, расчета тонкостенных конструкций, оценки общей устойчивости, прогнозирования живучести, многокритериальной оптимизации, определения остаточного ресурса. Использование указанных методов при проектировании манипуляторов промышленных роботов также выполняется в достаточном объеме, однако основную роль играют расчеты на жесткость с учетом динамических эффектов от перемещения звеньев и транспортируемого груза с целью обеспечения требуемой точности отработки пространственной траектории движения груза и получения требуемой точности позиционирования в характерных точках этой траектории.

3. Существенно меньшая по сравнению с манипуляторами промышленных роботов относительная собственная масса крано-манипуляторных установок конструктивно реализуется путем проектирования их звеньев с поперечными сечениями, имеющими уменьшенные площади и повышенные значения моментов инерции, т.е. путем использования тонкостенных (преимущественно, коробчатого сечения) профилей. Такие звенья, как правило, уже нельзя рассматривать как абсолютно жесткие, что является общепринятым допущением при проведении динамического анализа манипуляционных систем промышленных роботов.

4. Еще одним следствием наличия масштабного фактора, связанного с конструктивными размерами манипуляторов, и широким спектром возможных условий их эксплуатации является необходимость учета при проектировании металлоконструкций гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин ряда внешних эксплуатационных нагрузок, как правило, не представляющих существенного значения для небольших по размерам звеньев манипуляторов промышленных роботов. В их число входят нагрузки от подвижного основания, ветровые, сейсмические, температурные, технологические, испытательные и специальные нагрузки на элементы металлоконструкции и груз. Вследствие значительной длины и площади поверхности звеньев крано-манипуляторных установок они могут достигать значительных величин, сравнимых с величиной нагрузок от веса транспортируемого груза и собственного веса элементов металлоконструкции, а также инерционных весовых нагрузок. Необходимость учета достаточно большого числа эксплуатационных нагрузок, отличающихся характером изменения во времени, величиной, условиями возникновения и приложения, обуславливает необходимость проведения при проектировании крано-манипуляторных установок прочностных и жесткостных расчетов для нескольких различных расчетных сочетаний нагрузок с рассмотрением нескольких предельных состояний.

5. Конструктивная реализация звеньев и шарниров узлов соединения звеньев кинематических цепей манипуляторов в случае промышленных роботов и в случае крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин является принципиально различной. Это обуславливает необходимость использования различающихся методик конструирования и расчета напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкций, а также использования различающихся подходов к постановке задачи оптимального проектирования указанных манипуляторов.

6. Относительно более высокий уровень напряженного состояния в металлоконструкциях крано-манипуляторных установок по сравнению с металлоконструкциями манипуляторов промышленных роботов, близкий к уровню несущей способности конструкции, более разнообразные и менее качественные условия эксплуатации обуславливают обязательное возникновение и развитие во времени повреждений и дефектов различной природы – общей и местной потери устойчивости, хрупкого и усталостного разрушения, остаточных пластических деформаций, коррозии, изнашивания. Как результат, значительную часть своего нор-

мативного срока эксплуатации крано-манипуляторные установки функционируют в условиях присутствия значительного числа указанных повреждений, характерные размеры которых с течением времени могут приближаться к предельно допустимым значениям по условиям обеспечения работоспособности конструкции, что приводит к нарастающему несоответствию реальных и паспортных характеристик установок. Учет этого явления требует проведения специального анализа влияния повреждений на количественные показатели крано-манипуляторных установок и оценки их изменения во времени. На этапе проектирования грузоподъемного оборудования подобный анализ позволяет оценить степень возможного воздействия наиболее опасных повреждений на показатели надежности конструкции и разработать адекватные защитные конструкторско-технологические мероприятия. На этапе эксплуатации транспортно-технологических машин при проведении технических и экспертных обследований подобный анализ позволяет провести оценку текущего функционального состояния крано-манипуляторных установок и величины их остаточного ресурса, а также определить объем и содержание необходимых ремонтно-восстановительных мероприятий, скорректировать при необходимости график планово-предупредительных ремонтов.

7. В отличие от промышленных роботов, для кранов-манипуляторов не является критичным обеспечение жестких требований по быстродействию и согласованности во времени выполнения смежных технологических операций, а также точности позиционирования и пространственной ориентации груза в конечной точке и в промежуточных точках вдоль требуемой траектории манипулирования. Это обстоятельство обуславливает ряд отличий в конструктивном исполнении механических систем манипуляторов, системах управления и подходах к моделированию кинематики, динамики и прочности. Как следствие, для крано-манипуляторных установок характерно изготовление звеньев кинематической цепи из стальных тонкостенных профилей, имеющих поперечные сечения с малыми площадями и большими моментами инерции; допущение образования и развития в металлоконструкциях эксплуатационных дефектов достаточно значительной величины, снижающих исходные жесткостные, прочностные и вибрационные характеристики; применение более простых и дешевых систем ручного управления перемещением груза с помощью человека-оператора; необходимость учета при моделировании кинематики и динамики реальных конструктивных, технологических и режимных свойств взаимосвязанной системы «опорная поверхность-шасси машины-манипулятор»; необходимость выполнения значительно большего по объему комплекса проверочных прочностных расчетов, включая уточненные расчеты динамического напряженно-деформированного состояния металлоконструкций в условиях действия значительного числа эксплуатационных нагрузок различной природы и случайной величины.

8. В настоящее время наиболее адекватным подходом к проектированию крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин общего и специального назначения и к моделированию их кинематики, динамики и прочности, который в максимальной степени позволит органично учесть влияние множества значимых параметров, так или иначе накладывающих отпечаток на эксплуатацию гидравлических кранов-манипуляторов, является подход на основе комплексного рассмотрения физических процессов в единой системе «Опорная поверхность-шасси машины-манипулятор-груз-внешние воздействия».

#### **Список литературы.**

1. Новоселов, В. Время перемен. Российский рынок гидроманипуляторов / В. Новоселов // Строительная техника и технологии. – 2013. – №4. – С. 98-110.
2. Бандурин, Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России / Р.А. Бандурин // Проблемы современной экономики. – 2015. - № 26. – С. 138-142.
3. Козырев, Ю.Г. Применение промышленных роботов / Ю.Г. Козырев. – М.: КноРус, 2011. – 488 с.
4. Попов, Е.П. Основы робототехники / Е.П. Попов, Г.В. Письменный. – М.: Высшая школа, 1990. – 224 с.

5. Novoselov V. Go-ahead times. Russian market of hydraulic manipulators, *СТТ*, 2007, No. 5, pp. 140-144.
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. Промышленный робот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный\\_робот](https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный_робот).
8. Лагерева, Э.А. Научные проблемы проектирования гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин / Э.А. Лагерева // Достижения вузовской науки. – 2015. - № 14. - С. 101-106.
9. Козырев, Ю.Г. Промышленные роботы / Ю.Г. Козырев. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
10. Василенко, Н.В. Основы робототехники / Н.В. Василенко, К.Д. Никитин, В.П. Пономарев, А.Ю. Смолин. – Томск: МГП «Раско», 1993. – 475 с.
11. Executive Summary: World Robotics 2014. Industrial Robots. IFR, International Federation of Robotics.
12. Крахмалев, О.Н. Математическое моделирование динамики манипуляционных систем промышленных роботов и кранов-манипуляторов / О.Н. Крахмалев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 200 с.
13. Лагерев, И.А. Сравнительный анализ характеристик кранов-манипуляторов отечественных и зарубежных производителей / И.А. Лагерев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. - № 1-2. – С. 8-10.
14. Binderberger Maschien bau GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.binderberger.com/web/kraene-greifer>.
15. Гидроманипуляторы EPSILON [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.v-kran.ru/epsilon.htm>.
16. Palfinger [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.palfinger.com](http://www.palfinger.com).
17. Гидроманипуляторы Penz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.v-kran.ru/penz.htm>.
18. ОАО «Мозырский машиностроительный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mozyrmash.by/>.
19. Penny Hydraulics Vehicle Mounted Equipment. Cranes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pennyhydraulicsvehiclemountedequipment.com/vehicle\\_mounted\\_products.php?cid=1](http://www.pennyhydraulicsvehiclemountedequipment.com/vehicle_mounted_products.php?cid=1).
20. Atlas. Cranes & Excavators. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.atlas-machines.ru/all\\_catalog](http://www.atlas-machines.ru/all_catalog).
21. MKG Maschinen und Kranbau GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.mkg-cranes.com](http://www.mkg-cranes.com).
22. HMF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.hmf.dk](http://www.hmf.dk).
23. Amco Veba [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.amcoveba.it](http://www.amcoveba.it).
24. Cormach [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.cormach.com](http://www.cormach.com).
25. Effer. Cranes & People. Автомобильные КМУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://effer.su/production-effer.html>.
26. Fassi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.fassi.com](http://www.fassi.com).
27. Ferrari [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.flliferrari.it](http://www.flliferrari.it).
28. PM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.pm-group.eu](http://www.pm-group.eu).
29. Bigmax [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.bigmaxcranes.com](http://www.bigmaxcranes.com).
30. XCMG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.xcmg.com](http://www.xcmg.com).
31. Auto Crane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.autocrane.com](http://www.autocrane.com).
32. IMT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.imt.com](http://www.imt.com).
33. Jomas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.jomac ltd.com](http://www.jomac ltd.com).

34. Maxilift Cranes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.maxiliftcobracranes.com](http://www.maxiliftcobracranes.com).
35. Fisher Crane Co. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fischercrane.com>.
36. Petersen Industries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.petersenind.com](http://www.petersenind.com).
37. Prentice [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.prenticeforestry.com](http://www.prenticeforestry.com).
38. Serco Loaders [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.sercoloaders.com](http://www.sercoloaders.com).
39. Stellar Industries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.stellarindustries.com](http://www.stellarindustries.com).
40. Terex Cranes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terex.com/cranes/ru/index.htm#products>.
41. Гидроманипуляторы Kesla (Foresteri) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.v-kran.ru/foresteri.htm>.
42. Cranab Slagkraft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cranab.se/>.
43. HIAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.hiabus.com](http://www.hiabus.com).
44. Гидроманипуляторы V-KRAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.v-kran.ru/vkran.htm>.
45. Kanglim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kanglim.com](http://www.kanglim.com).
46. Dongyang Mechatronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dy.co.kr>.
47. Soosan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.soosanheavy.com](http://www.soosanheavy.com).
48. Tadano [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.tadano.com](http://www.tadano.com).
49. Unic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.uniccrane-global.com](http://www.uniccrane-global.com).
50. Kato [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kato-works.co.jp/eng](http://www.kato-works.co.jp/eng).
51. Maeda [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.maedaminicranes.co.uk](http://www.maedaminicranes.co.uk).
52. ShinMaywa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.shinmaywa.co.jp/english](http://www.shinmaywa.co.jp/english).
53. ЗАО «БАКМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.bakm.ru](http://www.bakm.ru).
54. ООО «Велмаш С» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.velmash.com](http://www.velmash.com).
55. ЗАО «Дизель-Ремонт»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://diesel-remont.ru>.
56. ЗАО «Златмаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.zlatmash.ru](http://www.zlatmash.ru).
57. ЗАО «ИНМАН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.inman.ru](http://www.inman.ru).
58. ОАО «Стройдормаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.sdm-zavod.ru](http://www.sdm-zavod.ru).
59. ОАО «Майкопский машиностроительный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.maykop-mmz.com](http://www.maykop-mmz.com).
60. ОАО «Соломбальский машиностроительный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.smz.ru](http://www.smz.ru).
61. ОАО «Клинцовский автокрановый завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oaokaz.ru/>.
62. ОАО «Галичский автокрановый завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gakz.ru](http://www.gakz.ru).
63. ОАО «Автокран» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ivmarka.ru/ru/about/plants/avtokran](http://www.ivmarka.ru/ru/about/plants/avtokran).
64. Роботы KUKA малой грузоподъемности. Каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://belfingroup.com/assets/files/Catalog\\_Kuka/KUKA\\_KUKA\\_small\\_capacity.pdf](http://belfingroup.com/assets/files/Catalog_Kuka/KUKA_KUKA_small_capacity.pdf).
65. KUKA Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kuka-robotics.com/en/company/>.
66. Epson Robots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.robots.epson.com](http://www.robots.epson.com).
67. Промышленные роботы Denso [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotforum.ru/promyishlennyye-robotyi/denso.html>.
68. Промышленные роботы Universal Robots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotforum.ru/promyishlennyye-robotyi/universal-robots.html>.



67. AEB Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.aeb-robotics.com](http://www.aeb-robotics.com).
68. Comau Robotics Product Range [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.comau.com/Download/robot/BROCHURE/EN\\_brochure\\_robots.pdf](http://www.comau.com/Download/robot/BROCHURE/EN_brochure_robots.pdf).
69. Промышленные роботы Adept [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://robotforum.ru/promyishlennyie-robotyi/adept.html?item\\_start=0](http://robotforum.ru/promyishlennyie-robotyi/adept.html?item_start=0).
70. KC Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kcrobotics.com/industrial-robots/>.
71. ABB Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.abb.ru/product/ru/9AAC100735.aspx>.
72. Роботы FANUC. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dmliefer.ru/sites/default/files/robot-ru.pdf>.
73. Kawasaki Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/>.
74. Промышленные роботы MELFA. Каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://idrb.ru/MITSUBISHI\\_ELECTRIC/Industrial\\_Robots.pdf](http://idrb.ru/MITSUBISHI_ELECTRIC/Industrial_Robots.pdf).
75. Nachi Robots. Catalog 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://lehmann-rus.com/files/NACHI-Robot\\_2012RU.pdf](http://lehmann-rus.com/files/NACHI-Robot_2012RU.pdf).
76. DAIHEN Corporation. Робототехника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://daihen.ru/robots.html>.
77. RoboMatic. Industrial Robots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.robomatic.ru/robots/promyishlennye-roboty-po-proizvoditelyam/panasonic-yaponiya>.
78. YASKAWA. Роботы Motoman [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.motoman.com.ru/ru/produkcija/roboty/?no\\_cache=1](http://www.motoman.com.ru/ru/produkcija/roboty/?no_cache=1).
79. ГОСТ 25685-83. Роботы промышленные. Классификация. – Введ. 1984-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
80. Механика промышленных роботов: В 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
81. Воробьев, Е.И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е.И. Воробьев, Ю.Г. Козырев, В.И. Царенко; Под общ. ред. Е.П. Попова. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
82. Механика промышленных роботов: В 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2: Расчет и проектирование механизмов / Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.
83. Механика промышленных роботов: В 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 3: Основы конструирования / Е.И. Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков, С.А. Попов, Ю.И. Семин. – М.: Высш. шк., 1989. – 383 с.
84. Промышленные роботы в машиностроении: Альбом схем и чертежей / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1986. – 140 с.
85. Лагерев, А.В. Проектирование насосных гидроприводов подъемно-транспортных машин / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2006. – 232 с.
86. Соколов, С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / С.А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
87. Вершинский, А.В. Строительная механика и металлические конструкции / А.В. Вершинский, М.М. Гохберг, В.П. Семенов; под общ. ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
88. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины строительной промышленности: атлас конструкций / А.А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
89. Лагерев, А.В. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. - № 3. – С. 24-31.

90. Лагерев, И.А., Мильто А.А., Лагерев А.В. Эффективность упругого демпфирования в шарнирных соединениях стрел крано-манипуляторных установок при повышенных зазорах / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - №1. – С. 18-36.
91. Лагерев, А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2010. – 180 с.
92. ГОСТ 25546-82. Краны грузоподъемные. Режимы работы. – Введ. 1986-01-01. – М.: Госстандарт: Изд-во стандартов, 2002. – 5 с.
93. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 552 с.
94. Лагерев, И.А. Оценка динамической нагруженности и оптимизация трехзвенных гидравлических кранов манипуляторов транспортно-технологических машин для сварки трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Лагерев Игорь Александрович. – Брянск, 2011. – 197 с.
95. Брауде, В.И. Надежность подъемно-транспортных машин / В.И. Брауде, Л.Н. Семенов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 183 с.
96. Лагерев, И.А. Моделирование факторов нагруженности металлоконструкции мостового крана на основе сетевой имитационной модели / И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – №2. – С. 74-81.
97. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов / М.Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат, 1971. – 368 с.
98. Ухов, С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышов. - М.: АСВ, 1994. – 527 с.
99. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.
100. Ковальский, В.Ф. Математическое моделирование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины с учетом упругости звеньев / В.Ф. Ковальский, И.А. Лагерев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2016. - № 3.
101. Алексеев, А.П. Промышленный робот «Универсал-15»: Устройство, наладка, обслуживание / А.П. Алексеев, В.П. Степанов. – М.: Машиностроение, 1990. – 96 с.
102. Малахов, М.В. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт промышленных роботов / М.В. Малахов, Н.А. Нейбергер, Г.Н. Сидорин. – М.: Металлургия, 1989. – 224 с.
103. Пашков, В.М. Промышленный робот «Циклон-5»: Устройство, наладка, обслуживание / В.М. Пашков. – М.: Машиностроение, 1988. – 80 с.
104. Пустовой, В.Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса / В.Н. Пустовой. – М.: Транспорт, 1992. – 256 с.
105. 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.
106. 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.
107. Сероштан, В.И. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин, А.И. Глазун, М.И. Селиванов, В.В. Рахаев; Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.
108. Ивашков, И.И. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин / И.И. Ивашков. – М.: Машиностроение, 1981. – 335 с.
109. Справочное пособие по ремонту металлоконструкций грузоподъемных кранов / А.А. Короткий, М.Н. Хальфин, Б.Ф. Иванов, А.С. Логвинов. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 180 с.
110. Концевой, Е.М. Ремонт крановых металлоконструкций / Е.М. Концевой, М.А. Розенштейн. – М.: Машиностроение, 1979. – 206 с.

111. 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.
112. 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.
113. Кнауэр, И.Б. Промышленный робот «Универсал-5.02»: Устройство, наладка, обслуживание / И.Б. Кнауэр, В.В. Слепцов. – М.: Машиностроение, 1988. – 48 с.
114. Грачев, А.А. Устойчивость тонкостенных элементов крановых конструкций: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Грачев Алексей Андреевич. – СПб., 2013. – 21 с.
115. Калинин, В.С. Устойчивость, прочность и колебания элементов судовых конструкций / В.С. Калинин. – Л.: Судостроение, 1987. – 304 с.
116. Лагерев, А.В. Характеристики прочности стержней ферменных металлоконструкций кранов типа КБ-572 с дефектами вмятины и язвенной коррозии / А.В. Лагерев, Н.С. Парфенов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 47-55.
117. 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.
118. Данилов, А.С. Диагностика повреждаемости металлических конструкций грузоподъемных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Данилов Александр Сергеевич. – Тула, 2010. 160 с.
119. Шахинпур, М. Курс робототехники / М. Шахинпур. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
120. Фу, К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
121. Черноусько, Ф.Л. Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация / Ф.Л. Черноусько, Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
122. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013.
123. Лагерев, А.В. Методика исследования динамики и прочности гидравлических крано-манипуляторных установок на подвижном шасси / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – № 1. – С. 43-48.
124. Попов, Е.П. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы / Е.П. Попов, А.Ф. Верещагин, С.Л. Зенкевич. – М.: Наука, 1980.
125. Lagerev, A.V Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes Using Finite Element Method / A.V. Lagerev, I.A. Lagerev, A.A. Milto // International Review on Modelling and Simulations. – 2015. – Vol. 8. – №2. – P. 223-226. – <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v8i2.5713>.
126. Lagerev, A.V. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes / A.V. Lagerev, I.A. Lagerev, A.A. Milto // International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.M.O.S.). – 2014. – Vol. 7. – № 4. – P. 644-652. – DOI <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v7i4.2045>.
127. Лагерев, А.В. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических кранов-манипуляторов в задачах динамики / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №4. – С. 21-26.
128. Лагерев, И.А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2013. – 228 с.
129. Хог, Э. Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции / Э. Хог, Я. Арора. – М.: Мир, 1983. – 478 с.

130. 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.
131. Лагерев, Е.А. Оптимальное проектирование гидравлических механизмов поворота шибберного типа крано-манипуляторных установок мобильных грузоподъемных машин / Е.А. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 57-63.
132. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование гидравлических механизмов поворота поршневого типа крано-манипуляторных установок многоцелевых транспортно-технологических машин / А.В. Лагерев, Е.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. - № 1. - С. 37-45.
133. Гасымов, Г.Ш. Нагруженность валочно-пакетирующих машин на постепенных и выборочных рубках леса / Г.Ш. Гасымов, В.А. Александров. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. – 192 с.
134. Емтыль, З.К. Совершенствование кинематики, динамики и конструкции лесопромышленных гидроманипуляторов: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.21.01 / Емтыль Зауркан Камболетович. – Воронеж, 2002. – 35 с.
135. Егорова, О.В. Оптимизация конструктивных параметров промышленных роботов позиционного типа: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.18 / Егорова Ольга Владимировна. – М., 1984. – 193 с.
136. Боровин, Г.К. Динамика и оптимизация систем управления движением роботов с исполнительными электромеханическими и гидравлическими приводами: дис. ... докт. физ.-мат. наук: 01.02.01 / Боровин Геннадий Константинович. – М., 1994. – 410 с.
137. Лагерев, И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов / И.А. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2013. – 116 с.
138. Вершинский, А.В. Численный анализ металлических конструкций подъемно-транспортных машин / А.В. Вершинский, И.А. Лагерев, А.Н. Шубин, А.В. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2014. – 186 с.
139. Вершинский, А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов / А.В. Вершинский, И.А. Лагерев, А.Н. Шубин, А.В. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2015. – 210 с.
140. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с.
141. Гончаров, П.С. NX для конструктора-машиностроителя / П.С. Гончаров. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 498 с.
142. ГОСТ 32579.1-2013. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Ч. 1. Общие положения. – Введ. 2015-06-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 36 с.

#### **Сведения об авторе**

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

## COMPARATIVE ANALYSIS OF HYDRAULIC CRANE-MANIPULATING INSTALLATIONS TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AND INDUSTRIAL ROBOTS HYDRAULIC MANIPULATORS

Lagerev I.A.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The article presents results of comparative analysis of hydraulic crane-manipulator installations of mobile transport and technological machines and hydraulic manipulators of industrial robots. The comparative analysis is based on consideration of a wide range of types and sizes indicated technical devices of both domestic and foreign production: 1580 structures of cranes and more than 450 structures of industrial robots. It was performed in the following areas: functional purpose and basic technical characteristics; a design; the loading conditions of the model and failures in operation process; approaches to the design, calculation methods and mathematical modeling. The conclusions about the degree of similarity and the degree of difference hydraulic crane-manipulator installations of transport and technological machines and hydraulic industrial robot manipulators from the standpoint of their design and modeling occurring in them during operation of dynamic and structural processes.

**Key words:** *crane-manipulating installation, transport and technological machine, industrial robot, hydraulic manipulator, comparative analysis, calculation method, loading regime, specifications*

### References

1. Novoselov V. Vremya peremen. Rossiyskiy rynek gidromanipulyatorov. *Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii*, 2013, No.4, pp. 98-110.
2. Bandurin R.A. The market for crane-manipulators in Russia [Rynek kranov-manipulyatorov v Rossii]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2015, No.26, pp. 138-142.
3. Kozyrev Yu.G. *Primenenie promyshlennykh robotov* [The use of industrial robots]. Moscow, KnoRus, 2011. 488 p.
4. Popov E.P., Pismennyi G.V. *Osnovy robototekhniki* [Fundamentals of robotics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1990. 224 p.
5. Novoselov V. Go-ahead times. Russian market of hydraulic manipulators. *CTT*, 2007, No. 5, pp. 140-144.
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. *Promyshlenniy robot* (Industrial robot). Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный\\_робот](https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный_робот).
8. Lagereva E.A. The scientific problem of designing hydraulic crane-manipulating installations of mobile transport technological machines. *Dostizheniya vuzovskoy nauki*, 2015, No.14, pp. 101-106.
9. Kozyrev Yu.G. *Promyshlennyye roboty* [Industrial robots]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 392 p.
10. Vasilenko N.V., Nikitin K.D., Ponomarev V.P., Smolin A.Yu. *Osnovy robototekhniki* [Fundamentals of robotics]. Tomsk, MGP "Rasko", 1993. 475 p.
11. Executive Summary: World Robotics 2014. Industrial Robots. IFR, International Federation of Robotics.
12. Krakhmalev O.N. *Matematicheskoe modelirovanie dinamiki manipulyatsionnykh sistem promyshlennykh robotov i kranov-manipulyatorov* [Mathematical modelling of dynamics of manipulation systems of industrial robot and cranes]. Bryansk, BGTU, 2012. 200 p.
13. Lagerev I.A. An characteristics analysis of articulating cranes of domestic and foreign producers. *Podemno-transportnoe delo*, 2016, No. 1-2, pp. 8-10.
14. Binderberger Maschien bau GmbH. Available at: <http://www.binderberger.com/web/kraene-greifer>.
15. Hydromanipulators EPSILON. Available at: <http://www.v-kran.ru/epsilon.htm>.

16. Palfinger. Available at: [www.palfinger.com](http://www.palfinger.com).
17. Hydromanipulators Penz. Available at: <http://www.v-kran.ru/penz.htm>.
18. OAO "Mozyrskiy mashinostroitelnyy zavod". Available at: <http://www.mozyrmash.by/>.
19. Penny Hydraulics Vehicle Mounted Equipment. Cranes. Available at: [http://www.pennyhydraulicsvehiclemountedequipment.com/vehicle\\_mounted\\_products.php?cid=1](http://www.pennyhydraulicsvehiclemountedequipment.com/vehicle_mounted_products.php?cid=1).
20. Atlas. Cranes & Excavators. Available at: [http://www.atlas-machines.ru/all\\_catalog](http://www.atlas-machines.ru/all_catalog).
21. MKG Maschinen und Kranbau GmbH. Available at: [www.mkg-cranes.com](http://www.mkg-cranes.com).
22. HMF. Available at: [www.hmf.dk](http://www.hmf.dk).
23. Amco Veba. Available at: [www.amcoveba.it](http://www.amcoveba.it).
24. Cormach. Available at: [www.cormach.com](http://www.cormach.com).
25. Effer. Cranes & People. Avtomobilnye KМУ. Available at: <http://effer.su/production-effer.html>.
26. Fassi. Available at: [www.fassi.com](http://www.fassi.com).
27. Ferrari. Available at: [www.flliferrari.it](http://www.flliferrari.it).
28. PM. Available at: [www.pm-group.eu](http://www.pm-group.eu).
29. Bigmax. Available at: [www.bigmaxcranes.com](http://www.bigmaxcranes.com).
30. XCMG. Available at: [www.xcmg.com](http://www.xcmg.com).
31. Auto Crane. Available at: [www.autocrane.com](http://www.autocrane.com).
32. IMT. Available at: [www.imt.com](http://www.imt.com).
33. Jomac. Available at: [www.jomacLtd.com](http://www.jomacLtd.com).
34. Maxilift Cranes. Available at: [www.maxiliftcobracranes.com](http://www.maxiliftcobracranes.com).
35. Fisher Crane Co. Available at: <http://www.fischercrane.com>.
36. Petersen Industries. Available at: [www.petersenind.com](http://www.petersenind.com).
37. Prentice. Available at: [www.prenticeforestry.com](http://www.prenticeforestry.com).
38. Serco Loaders. Available at: [www.sercoloaders.com](http://www.sercoloaders.com).
39. Stellar Industries. Available at: [www.stellarindustries.com](http://www.stellarindustries.com).
40. Terex Cranes. Available at: <http://www.terex.com/cranes/ru/index.htm#products>.
41. Hydromanipulators Kesla (Foresteri). Available at: <http://www.v-kran.ru/foresteri.htm>.
42. Cranab Slagkraft. Available at: <http://www.cranab.se/>.
43. HIAB. Available at: [www.hiabus.com](http://www.hiabus.com).
44. Hydromanipulators V-KRAN. Available at: <http://www.v-kran.ru/vkran.htm>.
45. Kanglim. Available at: [www.kanglim.com](http://www.kanglim.com).
46. Dongyang Mechatronics. Available at: <http://www.dy.co.kr>.
47. Soosan. Available at: [www.soosanheavy.com](http://www.soosanheavy.com).
48. Tadano. Available at: [www.tadano.com](http://www.tadano.com).
49. Unic. Available at: [www.uniccrane-global.com](http://www.uniccrane-global.com).
50. Kato. Available at: [www.kato-works.co.jp/eng](http://www.kato-works.co.jp/eng).
51. Maeda. Available at: [www.maedaminicranes.co.uk](http://www.maedaminicranes.co.uk).
52. ShinMaywa. Available at: [www.shinmaywa.co.jp/english](http://www.shinmaywa.co.jp/english).
53. ZAO "BAKM". Available at: [www.bakm.ru](http://www.bakm.ru).
54. OOO "Velmarsh S". Available at: [www.velmarsh.com](http://www.velmarsh.com).
55. ZAO "Dizel-Remont". Available at: <http://dizel-remont.ru>.
56. ZAO "Zlatmash". Available at: [www.zlatmash.ru](http://www.zlatmash.ru).
57. ZAO "INMAN". Available at: [www.inman.ru](http://www.inman.ru).
58. OAO "Stroydormash". Available at: [www.sdm-zavod.ru](http://www.sdm-zavod.ru).
59. OAO "Maykopskiy mashinostroitelnyy zavod". Available at: [www.maykop-mmz.com](http://www.maykop-mmz.com).
60. OAO "Solombalskiy mashinostroitelnyy zavod". Available at: [www.smz.ru](http://www.smz.ru).
61. OAO "Klintsovskiy avtokranovyy zavod". Available at: <http://www.oaokaz.ru/>.
62. OAO "Galichskiy avtokranovyy zavod". Available at: [www.gakz.ru](http://www.gakz.ru).
63. OAO "avtokran". Available at: [www.ivmarka.ru/ru/about/plants/avtokran](http://www.ivmarka.ru/ru/about/plants/avtokran).
64. Robots KUKA light-duty. Directory. Available at: [http://belfingroup.com/assets/files/Catalog\\_Kuka/KUKA\\_KUKA\\_small\\_capacity.pdf](http://belfingroup.com/assets/files/Catalog_Kuka/KUKA_KUKA_small_capacity.pdf).

65. KUKA Robotics. Available at: <http://www.kuka-robotics.com/en/company/>.
66. Epson Robots. Available at: [www.robots.epson.com](http://www.robots.epson.com).
67. Industrial robots Denso. Available at: <http://robotforum.ru/promyshlennyye-robotyi/denso.html>.
68. Industrial robots Universal Robots. Available at: <http://robotforum.ru/promyshlennyye-robotyi/universal-robots.html>.
67. AEB Robotics. Available at: [www.aeb-robotics.com](http://www.aeb-robotics.com).
68. Comau Robotics Product Range. Available at: [http://www.comau.com/Download/robot/BROCHURE/EN\\_brochure\\_robots.pdf](http://www.comau.com/Download/robot/BROCHURE/EN_brochure_robots.pdf).
69. Industrial robots Adept. Available at: [http://robotforum.ru/promyshlennyye-robotyi/adept.html?item\\_start=0](http://robotforum.ru/promyshlennyye-robotyi/adept.html?item_start=0).
70. KC Robotics. Available at: <http://www.kcrobotics.com/industrial-robots/>.
71. ABB Robotics. Available at: <http://www.abb.ru/product/ru/9AAC100735.aspx>.
72. Robots FANUC. Directory. Available at: <http://dmliefer.ru/sites/default/files/robot-ru.pdf>.
73. Kawasaki Robotics. Available at: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/>.
74. Industrial robots MELFA. Directory. Available at: [http://idrb.ru/MITSUBISHI\\_ELECTRIC/Industrial\\_Robots.pdf](http://idrb.ru/MITSUBISHI_ELECTRIC/Industrial_Robots.pdf).
75. Nachi Robots. Catalog 2012. Available at: [http://lehmann-rus.com/files/NACHI-Robot\\_2012RU.pdf](http://lehmann-rus.com/files/NACHI-Robot_2012RU.pdf).
76. DAIHEN Corporation. Available at: <http://daihen.ru/robots.html>.
77. RoboMatic. Industrial Robots. Available at: <http://www.robomatic.ru/robots/promyshlennyye-roboty-po-proizvoditelyam/panasonic-yaponiya>.
78. YASKAWA. Robots Motoman. Available at: [http://www.motoman.com.ru/ru/produkcija/roboty/?no\\_cache=1](http://www.motoman.com.ru/ru/produkcija/roboty/?no_cache=1).
79. GOST 25685-83. *Industrial robots. Classification*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1984. 4 p.
80. Vorobev E.I., Popov S.A., Sheveleva G.I. *Mekhanika promyshlennykh robotov. Kniga 1. Kinematika i dinamika* [Mechanics of industrial robots. Book 1. Kinematics and dynamics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1988. 304 p.
81. Vorobev E.I., Kozyrev Yu.G., Tsarenko V.I. *Promyshlennyye roboty agregatno-modulnogo tipa* [Industrial robots aggregate-modular type]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 240 p.
82. Vorobev E.I., Egorov O.D., Popov S.A. *Mekhanika promyshlennykh robotov. Kniga 2. Raschet i proektirovanie mekhanizmov* [Mechanics of industrial robots. Book 2. Calculation and design of mechanisms]. Moscow, Vysshaya shkola, 1988. 367 p.
83. Vorobev E.I., Babich A.V., Zhukov K.P., Popov S.A., Semin Yu.I. *Mekhanika promyshlennykh robotov. Kniga 3. Osnovy konstruirovaniya* [Mechanics of industrial robots. Book 3. Design basics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1989. 383 p.
84. Solomentsev Yu.M. *Promyshlennyye roboty v mashinostroenii: Albom skhem i chertezhey* [Industrial robots mechanical engineering: an Album of diagrams and drawings]. Moscow, Mashinostroenie, 1986. 140 p.
85. Lagerev A.V. *Proektirovanie nasosnykh gidroprivodov podemno-transportnykh mashin* [The design of pump hydraulic drives of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2006. 232 p.
86. Sokolov S.A. *Metallicheskie konstruksii podemno-transportnykh mashin* [Lifting-transport machines metall constructions]. SPb, Politekhnik, 2005. 423 p.
87. Vershinskiy A.V., Gokhberg M.M., Semenov A.V. *Stroitel'naya mekhanika i metallicheskie konstruksii* [Structural mechanics and metal constructions]. Leningrad, Mashinostroenie, 1984. 231 p.
88. Vaynson A.A. *Podemno-transportnye mashiny stroitel'noy promyshlennosti: atlas konstruksiy* [Lifting-transport machines for building industry: an Atlas of structures]. Moscow, Mashinostroenie, 1976. 152 p.

89. 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.
90. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Effectiveness of elastic damping in the pivot joints of cargo boom of crane-manipulating installations at large gaps, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 18-36. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-02.pdf>.
91. Lagerev A.V. *Nagruzhenost podemno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p.
92. GOST 25546-82. *Cranes. Modes of operation*. Moscow, Gosstandart: Izdatelstvo standartov, 2002. 5 p.
93. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGTU imeni N.E. Baumana, 2000. 552 p.
94. Lagerev I.A. Evaluation of dynamic response and optimization of a three-link hydraulic cranes manipulators of transport and technological machines for welding of pipelines. Cand. Diss. (Engineering). Bryansk. 2011. 197 p.
95. Braude V.I., Semenov L.N. *Nadezhnost podemno-transportnykh mashin* [Reliability of carrying and lifting machines]. Leningrad, Mashinostroenie, 1986. 183 p.
96. Lagerev I.A. Simulation of a bridge crane metal construction loading parameters. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, No.2, pp. 74-81.
97. Goldshtein M.N. *Mekhanicheskie svoystva gruntov* [Mechanical properties of soils]. Moscow, Stroyizdat, 1971. 368 p.
98. Ukhov S.B., Semenov V.V., Znamenskiy V.B., Ter-Martirosyan Z.G., Chernyshov S.N. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty* [Soil mechanics, bases and foundations]. Moscow, ASV, 1994. 527 p.
99. Tsytovich N.A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, Gosstroyizdat, 1963. – 636 p.
100. Kovalskiy V.F., Lagerev I.A. The mobile transport-technological machines manipulators dynamics simulation with boom elastic strain consideration. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2016, No. 3.
101. Alekseev A.P., Stepanov V.P. *Promyshlennyy robot "Universal-15": Ustroystvo, naladka, obsluzhivanie* [Industrial robot "Universal-15: Device setup, adjusting, maintenance]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 96 p.
102. Malakhov M.V., Neiberger H.A., Sidorin G.N. *Montazh, naladka, ekspluatatsiya i remont promyshlennykh robotov* [Installation, adjusting, maintenance and repair of industrial robots]. Moscow, Metallurgiya, 1989. 224 p.
103. Pashkov V.M. *Promyshlennyy robot "Tsiklon-5": Ustroystvo, naladka, obsluzhivanie* [Industrial robot "Tsiklon-5: Device setup, adjusting, maintenance]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 80 p.
104. Pustovoy V.N. *Metallokonstruktsii gruzopodemnykh mashin. Razrushenie i prognozirovaniye ostatochnogo resursa* [Metal structures of lifting machines. Destruction and prediction of residual life]. Moscow, Transport, 1992. 256 p.
105. 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.
106. RD 10-112-2-09. *Metodicheskiye rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniyu gruzopodyemnykh mashin. Ch. 2. Krany strelovyye obshchego naznacheniya i krany-manipulyatory gruzopodyemniye*. Moscow, OOO «NIIKranostroyeniya», 2009. 120 p.
107. Seroshtan V.I., Ogar Yu.S., Golovin A.I., Glazun A.I., Selivanov M.I., Rakhaev V.V. *Diagnostirovaniye gruzopodemnykh mashin* [The diagnostics of hoisting machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1992. 192 p.



108. Ivashkov I.I. *Montazh, ekspluatatsiya i remont podemno-transportnykh mashin* [Installation, operation and repair of lifting-transport machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1981. 335 p.
109. Korotkiy A.A., Khalfin M.N., Ivanov B.F., Logvinov A.S. *Spravochnoe posobie po remontu metallokonstruktsiy gruzopodemnykh kranov* [Handbook on repair of metal structures of cranes]. Novocherkassk, NGTU, 1994. 180 p.
110. Kontsevoy E.M., Rozenshtein M.A. *Remont kranovykh metallokonstruktsiy* [Repair of crane metal structures]. Moscow, Mashinostroenie, 1979. 206 p.
111. 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.
112. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Reducing the impact load arising from the looseness in joints of articulating cranes, *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 37-43.
113. Knauer I.B., Sleptsov V.V. *Promyshlennyy robot "Universal-5.02": Ustroystvo, naladka, obsluzhivanie* [Industrial robot "Universal-5.02: Device setup, adjusting, maintenance]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 48 p.
114. Grachev A.A. The stability of thin-walled elements of crane structures. Cand. Diss. (Engineering). Saint-Petersburg, 2013. 21 p.
115. Kalinin V.S. *Ustoychivost, prochnost i kolebaniya elementov sudovykh konstruktsiy* [Stability, strength and oscillations of elements of ship structures]. Leningrad, Sudostroenie, 1987. 304 p.
116. Lagerev A.V., Parfyonov N.S. Study to toughness of the steel lattice framework with defect of the dent and ulcer corrosion. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.3, pp. 47-55.
117. RD 10-112-1-04. *Rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniyu gruzopodyemnykh mashin. Obshchie polozheniya*. Moscow, Rostekhnadzor, 2004.
118. Danilov A.S. Diagnosis of damage to metallic structures of lifting machines. Cand. Diss. (Engineering). Tula, 2010. 160 p.
119. Shahinpoor M. *A Robot Engineering Textbook*. NY, Harper & Row, Publishers, Inc., 1987.
120. Fu K.S., Gonzalez R.C., Lee C.S. *Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence*. McGraw-Hill, Inc., 1989.
121. Chernousko F.L., Bolotnik N.N., Gradetskiy V.G. *Manipulyatsionnye roboty: dinamika, upravlenie, optimizatsiya* [Manipulation robots: dynamics, control, optimization]. Moscow, Nauka, 1989. 368 p.
122. GOST 25100-2011. *Soils. Classification*. Moscow, Standartinform, 2013.
123. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. The study of dynamics and strength of hydraulic crane-manipulating installations on a movable chassis. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 43-48.
124. Popov E.P., Vereshchagin A.F., Zenkevich S.L. *Manipulyatsionnye roboty: dinamika i algoritmy* [Manipulation robots: dynamics and algorithms]. Moscow, Nauka, 1980.
125. 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.
126. 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.
127. 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 universiteta*, 2013, No.4, pp. 21-26.
128. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Optimalnoe proektirovanie podzemno-transportnykh mashin* [Optimal design of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiy Universitet, 2013. 228 p.

129. Haug E.J., Arora J.S. Applied optimal design. Mechanical and structural systems. John Wiley & sons, Inc., 1979.
130. 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.
131. Lagereva E.A., Lagerev A.V. Optimal design of hydraulic turning mechanisms of the sliding type of crane facilities of mobile hoisting machines, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.2, pp. 57-63.
132. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Optimal design of hydraulic turning mechanisms of the pistoning type of crane facilities of multipurpose hoisting machines, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 37-45.
133. Gasyimov G.Sh., Aleksandrov B.A. *Nagruzhennost valochno-paketiruyushchikh mashin na postepennykh i vyborochnykh vyrubkakh lesa* [Loading Feller Bunchers for gradual and selective felling in forest]. Saint-Petersburg, Izdatelstvo SPbGU, 2005. 192 p.
134. Emyl Z.K. Improving the kinematics, dynamics and design of timber cranes. Doct. Diss. (Engineering). Voronezh, 2002. 35 p.
135. Egorova O.V. Optimization of design parameters of industrial robot positional type. Cand. Diss. (Engineering). Moscow, 1984. 193 p.
136. Borovin G.K. Dynamics and optimization of traffic control systems of robots with the executive electromechanical and hydraulic drives. Doct. Diss. (Physics and Mathematics). Moscow, 1994. 410 p.
137. Lagerev I.A. *Raschety gruzopodyemnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Load-lifting machines calculations by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 116 p.
138. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskih konstruktсий podyemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.
139. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruktсий podyemno-transportnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Calculation of metal constructions of lifting-transport machines by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 210 p.
140. Shimkovich D.G. *Raschet konstruktсий v MSC/NASTRAN for Windows* [Calculation of structures in MSC/NASTRAN for Windows]. Moscow, DMK Press, 2003. 448 p.
141. Goncharov P.S. *NX dlya konstruktora-mashinostroitelya* [NX for designer-mechanical engineer]. Moscow, DMK Press, 2010. 498 p.
142. GOST 32579.1-2013. *Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 1. General*. Moscow, Standartinform, 2015. 36 p.

#### **Author' information**

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

УДК 621.867

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСОК НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ

Лагерев А.В., Толкачев Е.Н.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Для эталонной конструкции конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом выполнена серия численных расчетов, по результатам которой установлено влияние фрикционных и массо-габаритных конструктивных параметров подвесок на основные технические показатели конвейера. Сформулированы рекомендации по выбору рациональных параметров.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, подвеска, подвесная лента, распределенный привод, рациональные параметры, численный анализ.

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

Одной из наиболее прогрессивных разработок в области транспортирования насыпных материалов в настоящее время по праву считается конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом [1]. Возможность беспросыпного, а в некоторых конструктивных решениях [2, 3] и герметичного, бесперегрузочного транспортирования материалов по трассе большой протяженности и сложной пространственной конфигурации – главные достоинства таких машин. Однако не менее существенными преимуществами при этом являются повышенная надежность системы приводов, а также наименьшие среди прочих напряжения в грузонесущей ленте, что в совокупности обусловлено использованием в качестве несущих и тяговых элементов установленных на направляющих качения подвесок, часть из которых оборудована индивидуальным приводом (рис. 1).

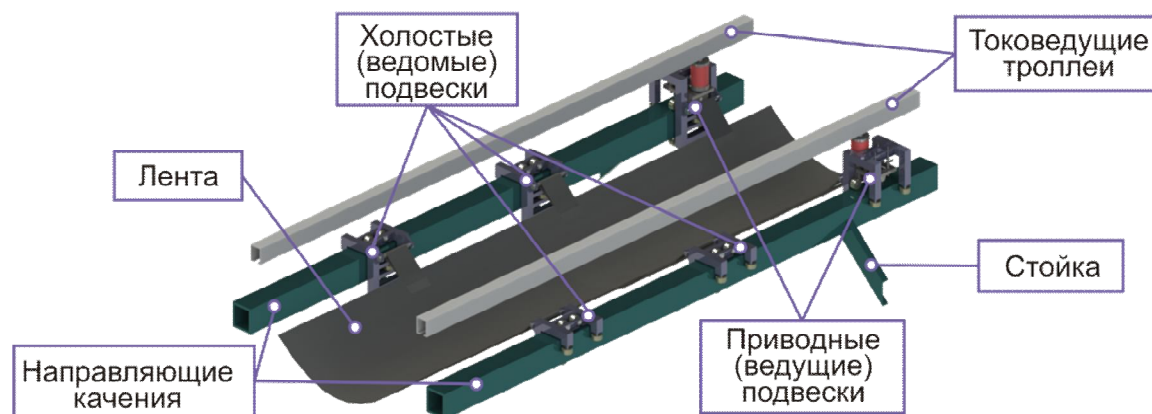


Рис. 1. Участок трассы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Ведущие и ведомые подвески являются наиболее ответственными структурными элементами конструкции конвейера, определяющими работоспособное состояние машины [4, 5]. Поэтому определение рациональных параметров подвесок, обеспечивающих наилучшее сочетание главных технических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, является актуальной задачей.

Одним из наиболее важных технических показателей, определяющих энергоемкость транспортирующих установок, является мощность, расходуемая на перемещение груза. Достижение наивысшей энергетической эффективности конвейера с подвесной лентой обеспечивается при минимальной суммарной мощности приводов подвесок.

Так мощность  $i$ -го привода ведущей подвески в установившемся режиме движения определяется как

$$N(\dot{\phi}_{np_i}) = M_{кр}(\dot{\phi}_{np_i}) \cdot \dot{\phi}_{np_i},$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент на приводном ролике  $i$ -й ведущей подвески;  $\dot{\phi}_{np_i}$  – угловая скорость приводного ролика  $i$ -й ведущей подвески.

Следовательно, общая мощность конвейера может быть вычислена как удвоенная сумма средних значений мощностей приводных подвесок, установленных на одном контуре направляющих качения:

$$N = 2 \sum_{j=1}^{n_n} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N(\dot{\phi}_{np_i}) \right]_j.$$

Другой важнейший показатель конвейера – скорость транспортирования. С одной стороны увеличение скорости способствует пропорциональному повышению производительности, с другой – при постоянной производительности увеличение скорости позволяет снизить погонную нагрузку от груза и использовать ленту меньшего типоразмера.

В расчетах скорость движения конвейерной ленты принимается равной среднему значению скорости движения подвески в установившемся режиме:

$$v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_{np_i},$$

где  $\dot{x}_{np_i}$  – линейная скорость приводного ролика  $i$ -й ведущей подвески;  $n$  – число шагов численного интегрирования.

При оценке степени влияния параметров подвесок на основные технические характеристики конвейера с подвесной лентой используется математическая модель, учитывающая параметры конфигурации вертикально-замкнутой трассы, конструктивные особенности подвесок, механические характеристики индивидуальных приводов, встроенных в подвески, инерционные и силовые характеристики элементов конструкции, а также продольную деформацию грузонесущей ленты [6-8].

С использованием ЭВМ была произведена серия расчетов параметров конвейерной установки. В качестве эталонной конструкции принят конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом, конфигурация трассы которого изображена на рис. 2, а технические характеристики представлены в табл. 1.

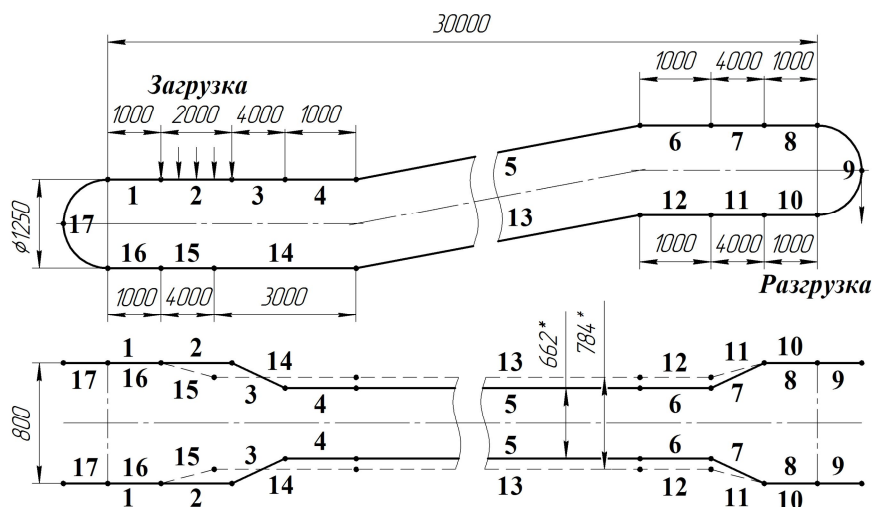


Рис. 2. Схема трассы эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:  
 1-8 – грузовая ветвь; 10-16 – холостая ветвь; 9, 17 – концевые поворотные участки;  
 2 – загрузочный пункт; 3, 11 – желобообразующие участки; 7, 15 – выполаживающие участки; 5, 13 – наклонные участки

Таблица 1

Технические характеристики эталонного конвейера

Техническая характеристика	Обозначение	Единица измерения	Значение
<i>Общие характеристики</i>			
Длина горизонтальной проекции конвейера	$L$	м	30
Радиус концевой поворотной секции	$R$	м	0,625
Угол наклона конвейера	$\alpha$	град	0
Производительность расчетная	$Q_p$	т/ч	200
Объемная плотность транспортируемого груза	$\rho$	т/м <sup>3</sup>	1,2
Угол естественного откоса груза	$\varphi$	град	20
Скорость транспортирования расчетная	$v_{cp}$	м/с	1,0
Общее количество подвесок	$n$	шт.	80
Количество приводных подвесок (дискретных участков)	$n_n$	шт.	16
Количество подвесок в дискретном участке	$n_{од}$	шт.	5
Шаг размещения подвесок	$h_n$	м	0,8
<i>Характеристики подвесок</i>			
Сила прижатия ведущего ролика приводной подвески	$F_{np}$	Н	140
Номинальный крутящий момент на валу привода ведущей подвески	$M_{крн}$	Н·м	10,0
Номинальная скорость вращения	$n_n$	об/мин	148,0
Скорость вращения без нагрузки	$n_x$	об/мин	165,0
Масса металлоконструкции прижимной секции	$m_{мкпс}$	кг	1,0
Масса приводного ролика	$m_{нр}$	кг	2,0
Масса мотор-редуктора	$m_{мр}$	кг	4,2
Масса металлоконструкции несущей секции	$m_{мкнс}$	кг	7
Масса неприводного ролика	$m_{нр}$	кг	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески	$m_{мкнп}$	кг	5,0
Наружный радиус приводного ролика	$r_{нр}$	м	0,065
Наружный радиус холостого ролика	$r_{нр}$	м	0,025
Внутренний радиус ролика	$r_o$	м	0,006
Коэффициент трения качения (резина-сталь)	$f_{нр}$	м	0,0077
Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	$\mu_{нр}$	-	0,5
Коэффициент трения качения (сталь-сталь)	$f_{нр}$	м	0,001
Коэффициент трения скольжения в осях	$\mu_{нрo}$	-	0,03
Количество холостых роликов в приводной подвеске	$k_{II}$	шт.	6
Количество холостых роликов в неприводной подвеске	$k_H$	шт.	4
<i>Характеристики ленты</i>			
Ширина ленты	$B$	м	0,8
Число прокладок ленты	$i_0$	шт.	3
Толщина верхней обкладки / нижней обкладки	$\delta_1 / \delta_2$	мм	1,0 / 2,0

Техническая характеристика	Обозначение	Окончание табл. 1	
		Единица измерения	Значение
Толщина тягового каркаса ленты	$y_{\max}$	мм	3
Толщина ленты	-	мм	9
Модуль упругости ленты в продольном направлении	$E_x$	МПа	380
Модуль упругости ленты в поперечном направлении	$E_z$	МПа	190
Коэффициент жесткости	$k$	кН/м	570
Коэффициент затухания колебаний	$\xi$	-	0,05

Начальные линейные перемещения подвесок равны длине пути от начала грузовой ветви вдоль направляющих качения до соответствующих подвесок, в то время как угловые перемещения, а также линейные и угловые скорости принимались нулевыми.

В табл. 2 указаны интервалы варьирования исследованных фрикционных и массогабаритных параметров подвесок конвейера.

Таблица 2.

Варьируемые технические параметры подвесок конвейера

Техническая характеристика	Обозначение	Численное значение		
		эталонное	минимальное	максимальное
Сила упругости устройства прижатия ведущего ролика приводной подвески, Н	$F_{np}$	140	100	500
Коэффициент трения скольжения приводного ролика	$\mu_{np}$	0,5	0,1	0,7
Коэффициент трения качения приводного ролика, м	$f_{np}$	0,0077	0,0005	0,0090
Коэффициент трения скольжения в оси Холостого ролика	$\mu_{np o}$	0,03	0,01	0,05
Коэффициент трения качения холостого ролика, м	$f_{np}$	0,001	0,001	0,005
Наружный радиус приводного ролика, м	$r_{np}$	0,065	0,040	0,100
Наружный радиус холостого ролика, м	$r_{np}$	0,025	0,015	0,045
Масса прижимной секции, кг	$m_{nc}$	3,0	0,5	3,0
Масса несущей секции, кг	$m_{nc}$	7,4	4,0	12,0
Масса неприводной подвески, кг	$m_n$	5,3	3,0	14,0

По результатам, представленным на рис. 3, видно, что изменение основных технических показателей конвейера от величины силы прижатия приводного ролика ведущей подвески происходит по линейным зависимостям. Увеличение усилия со 100 до 500 Н сопровождается повышением мощности более чем на 30 % и снижением скорости транспортирования груза на 4,7 %. Из этого следует, что для обеспечения наименьшей энергоемкости транспортирования и повышения производительности конвейера необходимо принимать минимальное значение силы прижатия приводного ролика. Однако согласно результатам исследования [9] при уменьшении усилия прижимного устройства в большей мере снижаются сцепные характеристики, чем уменьшаются сопротивления движению. Поэтому считается целесообразным выбирать наименьшее значение силы прижатия, которое обеспечивает качественное сцепление без проскальзывания приводного ролика по направляющей качения.

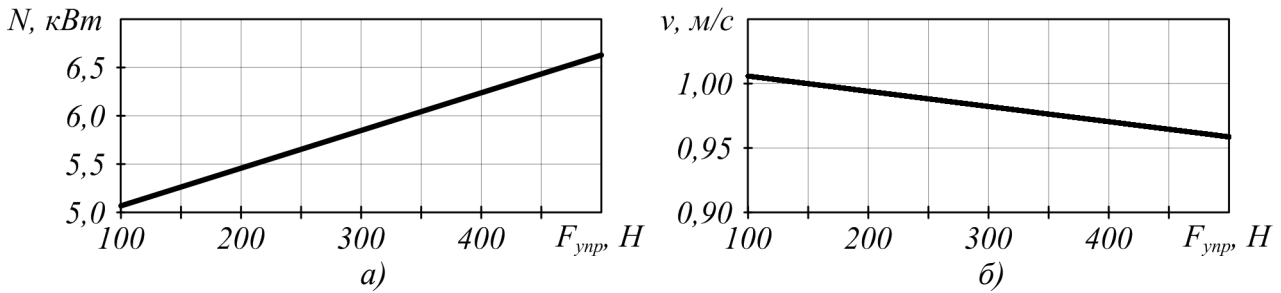


Рис. 3. Зависимость технических характеристик от усилия прижатия приводного ролика: *а* – общая мощность приводов конвейера; *б* – скорость движения ленты

Изменение коэффициента трения скольжения приводного ролика от 0,1 до 0,7 не повлияло на технические показатели конвейера (рис. 4): общая мощность приводов и скорость движения грузонесущей ленты в установившемся режиме движения сохранились неизменными. Исходя из того, что величина коэффициента трения скольжения не оказывает влияния на мощность и скорость конвейера, но является определяющей для движения без проскальзывания [9], то стоит принимать наибольшее возможное значение данного технического параметра.

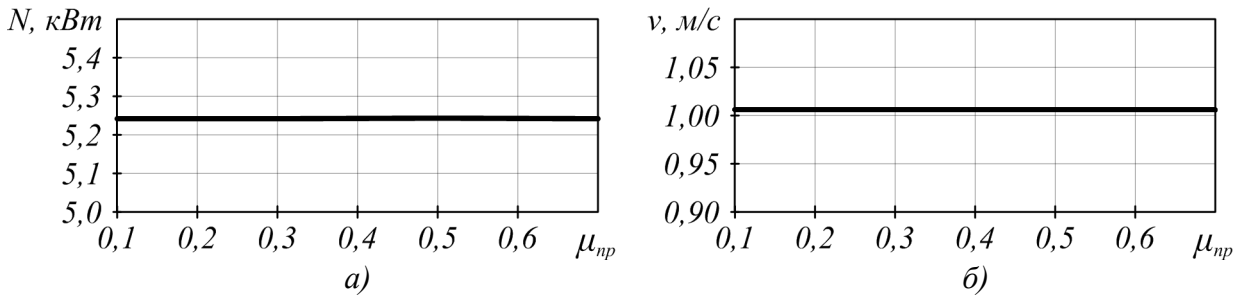


Рис. 4. Зависимость технических характеристик от коэффициента трения скольжения приводного ролика: *а* – общая мощность приводов; *б* – скорость движения ленты

Варьирование величины коэффициента трения качения приводного ролика ведущей подвески показало следующее (рис. 5): изменение величины коэффициента с 0,0005 до 0,009 м сопровождается линейным ростом общей мощности приводов конвейера на 9,1 % и линейным снижением скорости движения ленты на 1,1 %. Следовательно, для снижения потребляемой мощности и повышения скорости, на первый взгляд, необходимо сокращать коэффициент трения качения, однако, учитывая сравнительно незначительное изменение мощности и скорости конвейера, целесообразно в первую очередь ориентироваться на величину коэффициента трения качения для данного материала.

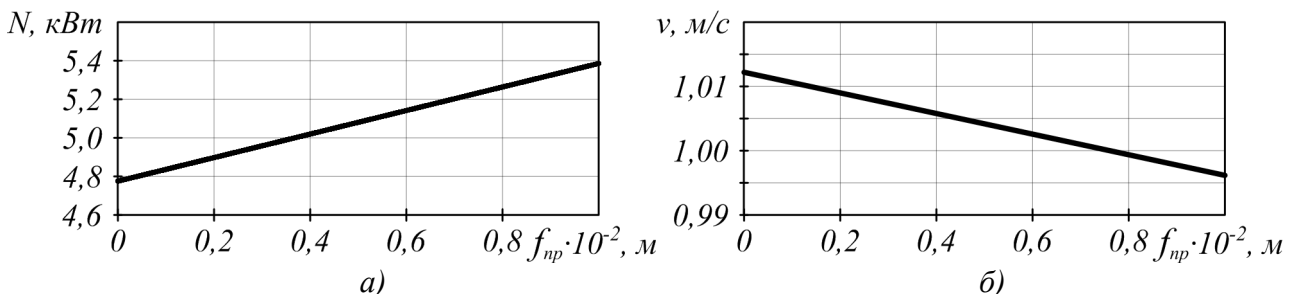


Рис. 5. Зависимость технических характеристик от коэффициента трения качения приводного ролика: *а* – общая мощность приводов; *б* – скорость движения ленты

Варьирование коэффициента трения скольжения в осях холостых роликов подвесок выражается в повышении общей мощности конвейера, а также в снижении скорости движения

ленты (рис. 6). Увеличение коэффициента трения с 0,01 до 0,05 привело к росту общей мощности приводов на 17,6 %, и уменьшению скорости конвейера на 2,3 %. Поэтому для обеспечения наилучших технических показателей конвейера необходимо принимать коэффициент трения скольжения в осях холостых роликов наименьшим.

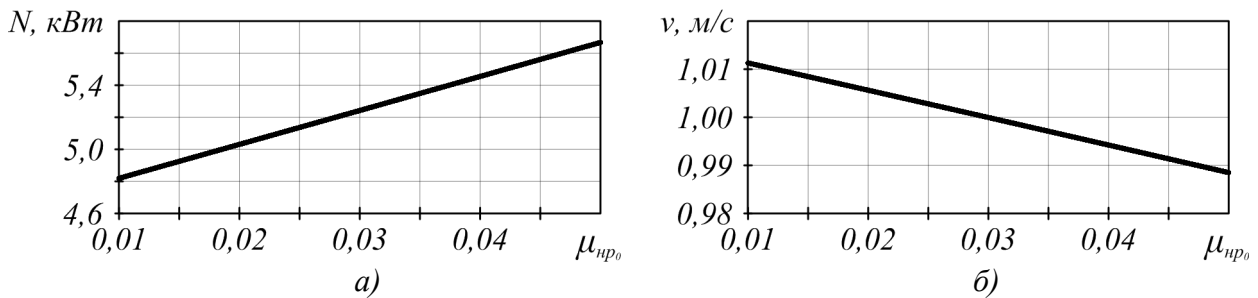


Рис. 6. Зависимость технических характеристик от коэффициента трения скольжения холостого ролика: *a* – общая мощность приводов; *б* – скорость движения ленты

Увеличение коэффициента трения качения холостых роликов ведомых подвесок с 0,001 по 0,005 м, как видно из полученных результатов (рис. 7), приводит к нелинейному росту общей мощности приводов (приблизительно на 152 %), интенсивность которого снижается по мере повышения коэффициента. В тоже время, скорость транспортирования сокращается по линейной зависимости на 37,7 %. Для данного технического параметра подвесок также необходимо использовать наименьшие среди возможных значения.

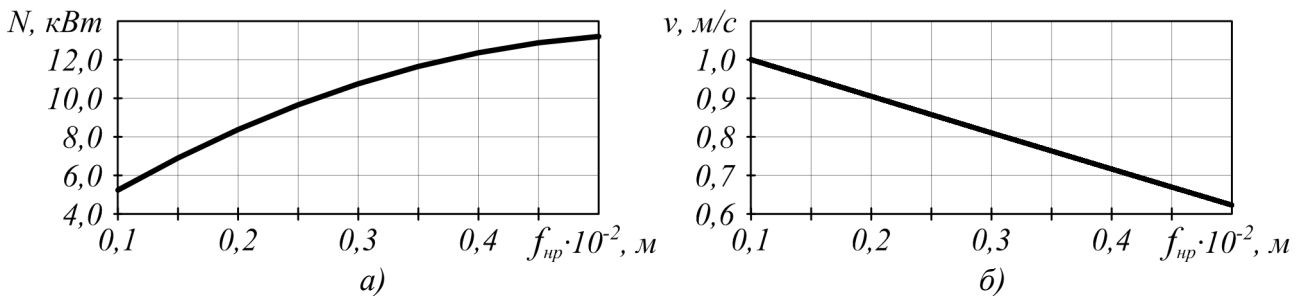


Рис. 7. Зависимость технических характеристик от коэффициента трения качения холостого ролика: *a* – общая мощность приводов; *б* – скорость движения ленты

Линейным повышением технических показателей конвейера сопровождается увеличение наружного радиуса приводного ролика ведущей подвески (рис. 8). Результатом увеличения радиуса с 0,04 до 0,1 м явилось изменение величины общей мощности приводов на 117,6 %, а скорость движения ленты возрасла на 124,6 %. Учитывая наибольшую процентную величину прироста скорости, а также эффективность при повышении сцепных характеристик [9], рекомендуется принимать наибольшие среди возможных наружные радиусы приводных роликов ведущих подвесок.

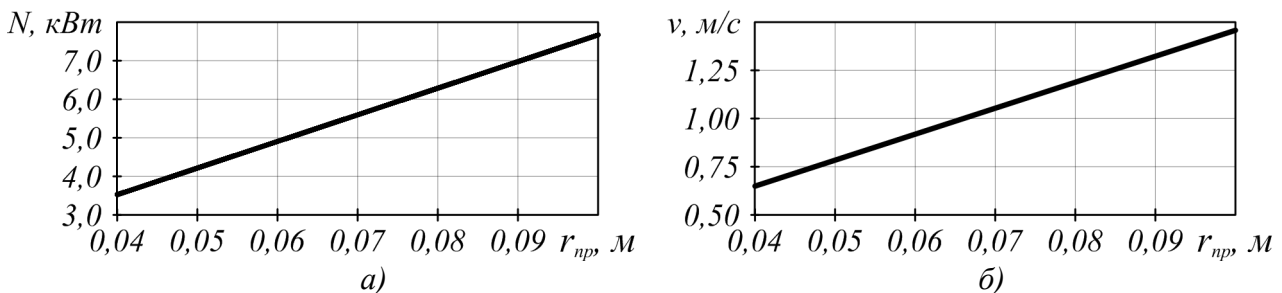


Рис. 8. Зависимость технических характеристик от наружного радиуса приводного ролика: *a* – общая мощность приводов; *б* – скорость движения ленты



Зависимости технических показателей конвейера от величины наружного радиуса холостых роликов подвесок имеют нелинейный характер (рис. 9). Увеличение радиуса роликов с 0,015 по 0,045 м позволяет сократить общую мощность приводов конвейера на 55,5 %, а также повысить скорость движения ленты на 12,7 %. Поэтому наружный радиус холостых роликов следует выбирать наибольшим с учетом конструктивных ограничений.

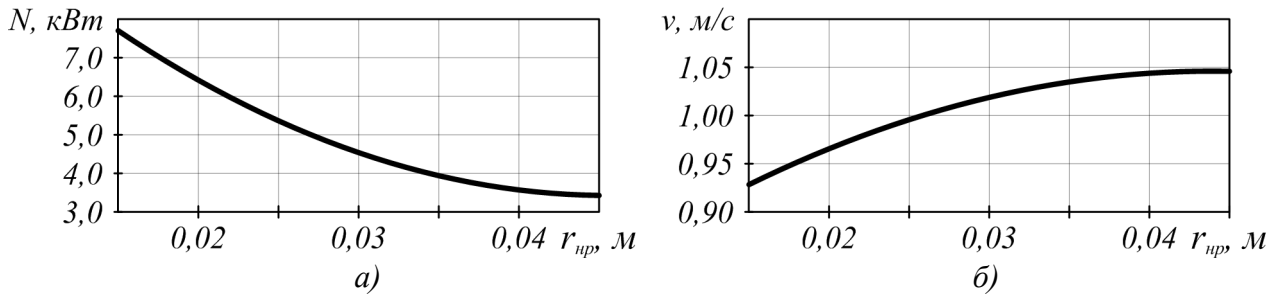


Рис. 9. Зависимость технических характеристик от наружного радиуса холостого ролика: а – общая мощность приводов; б – скорость движения ленты

Повышение массы прижимных секций ведущих подвесок оказывает линейное влияние на технические показатели конвейера (рис. 10). Увеличение массы прижимной секции с 0,5 до 3,0 кг приводит к росту мощности конвейера на 2,7 % и незначительному уменьшению скорости транспортирования - на 0,4 %.

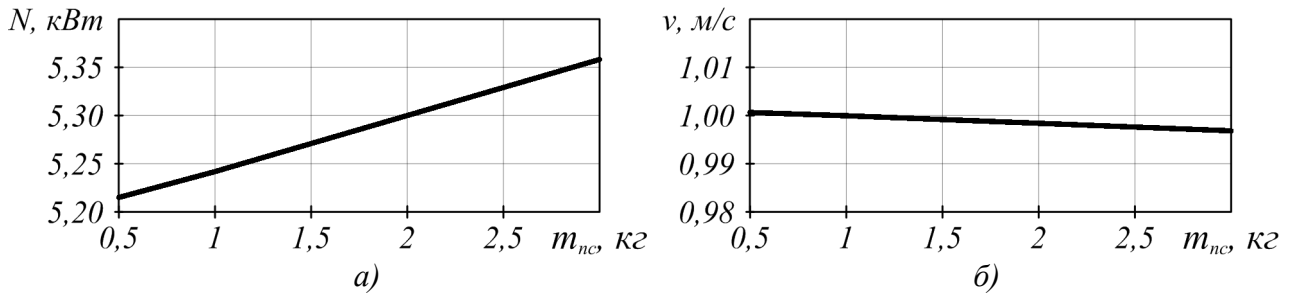


Рис. 10. Зависимость технических характеристик от массы прижимной секции приводной подвески: а – общая мощность приводов; б – скорость движения ленты

Результат варьирования массы несущих секций приводных подвесок конвейера отражается в повышении общей мощности приводов, а также в снижении скорости движения ленты по линейным зависимостям (рис. 11). Увеличение массы с 4 до 12 кг привело к росту мощности на 10,2 % и уменьшению скорости на 1,4 %.

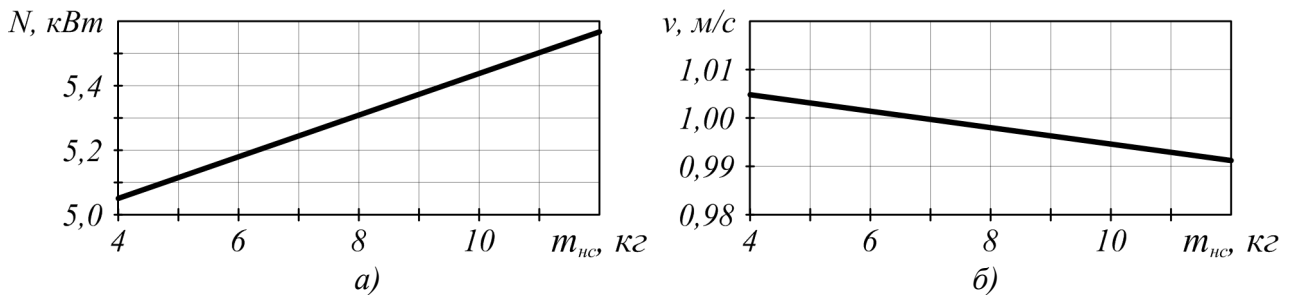


Рис. 11. Зависимость технических характеристик от массы несущей секции приводной подвески: а – общая мощность приводов; б – скорость движения ленты

Увеличение массы неприводных подвесок, исходя из результатов расчета (рис. 12), способствует повышению общей мощности конвейера и снижению скорости транспортирования груза. При повышении массы неприводных подвесок с 3 до 14 кг увеличение мощности составляет 9,7 %, а уменьшение скорости - 1,3 %.

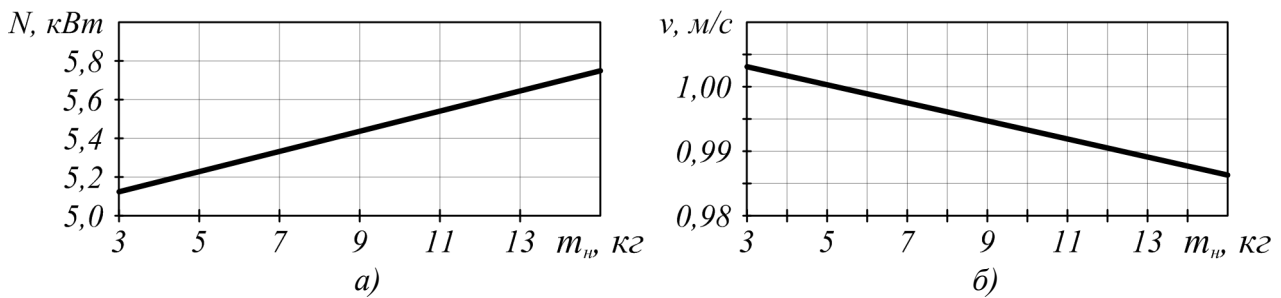


Рис. 12. Зависимость технических характеристик от массы неприводной подвески:  
 а – общая мощность приводов; б – скорость движения ленты

Исходя из полученных результатов, целесообразно снижать массы составных секций приводных и массы неприводных подвесок.

Установленная в результате проведения численного анализа математической модели конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом направленность и степень влияния конструктивных параметров подвесок на основные технические показатели конвейера позволяют осуществлять обоснованный их выбор. При этом предлагается автоматизировать расчеты, используя разработанный программный комплекс «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом» [10].

### 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. Патент 94550 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 65 G 15/00. Подвесной ленточный конвейер / Лагерев А.В., Дунаев В.П., Кулешов Д.Ю. – Заявл. 30.12.2009, № 2009149559/22. Оpubл. 27.05.2010. – Бюл. № 15.
3. Патент 126323 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 65 G 15/08. Конвейер с подвесной лентой / Лагерев А.В., Дунаев В.П., Кулешов Д.Ю., Толкачев Е.Н. – Заявл. 19.04.2012, № 2012115925/11. Оpubл. 27.03.2013. – Бюл. № 9.
4. Толкачев, Е.Н. Определение условий работоспособности дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научные исследования и разработки молодых ученых: Сб. материалов XII Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. (8 июл., 5 авг. 2016 г.). Новосибирск: Изд-во ЦРНС. – 2016. – Ч.1. – С. 81-89.
5. 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.
6. 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.
7. Лагерев, А.В. Оценка качества сцепления ведущих роликов подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (21-23 окт. 2014 г.). Брянск: БГТУ. – 2014. – С. 147-150.
8. Лагерев, А.В. Моделирование динамики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Будущее машиностроения России: сб. тр. VIII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (23-26 сент. 2015 г.). Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – С. 886-890.
9. Лагерев, А.В. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2 (84). – С. 17-20.

10. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н., Лагереv И.А. Программный комплекс «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618964 от 10 августа 2016 г. (Федеральная служба по интеллектуальной собственности).

### **Сведения об авторах**

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

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

## **INFLUENCE ANALYSIS OF DESIGN PARAMETERS OF SUSPENSIONS ON THE TECHNICAL SPECIFICATIONS OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE**

Lagerev A.V., Tolkachev E.N.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Using the basic design of the conveyor with suspended belt and distributed drive, a series of numerical calculations was performed. As a result, the influence of friction and mass-dimensional design parameters of suspensions on the main technical parameters of the conveyor was established. Recommendations on the choice of rational parameters were formulated.

**Key words:** *conveyor belt, distributed drive, numerical analysis, rational parameters, suspended belt, suspension.*

### **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. Patent RU 94550. *Podvesnoy lentochnyy konveyer* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Kuleshov D.Yu. Declared 30.12.2009. Published 27.05.2010.
3. Patent RU 126323. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Dunaev V.P., Kuleshov D.Yu., Tolkachev E.N. Declared 19.04.2012. Published 27.03.2013.
4. Tolkachev E.N. Definition of terms efficiencies for discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive [Opredelenie usloviy rabotosposobnosti diskretnogo uchastka konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Sbornik materialov XII mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh”* (Proceedings of the XII International scientific-practical conference “Scientific research and development young scientists”. Novosibirsk, TsRNS, 2016, Part No.1, pp. 81-89.
5. 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.
6. 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.
7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Assessment of the quality of clutch rollers suspension conveyor with suspended belt and distributed drive [Otsenka kachestva stspleniya vedushchikh rolikov podvesok konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Materialy VI*

*mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Dostizheniya molodykh uchenykh v razviti innovatsionnykh protsessov d ekonomike, nauke, obrazovanii"* (Proceedings of the VI International scientific-practical conference "Achievements of young scientists in the development of innovative processes in economy, science, education". Bryansk, BGTU, 2014, pp. 147-150.

8. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Modeling of dynamics of conveyor with suspended belt and distributed drive [Modelirovanie dinamiki konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Future Engineering of Russia. Proceedings of the 8 All-Russian Conference of young scientists and specialists. Moscow, MGTU im. N.E.Baumana, 23-26 Sept. 2014.* Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2015, pp. 886-890.

9. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Rational conveyor suspension parameters with suspended belt and distributed drive. *Podyemno-transportnoe delo*, 2016, No.1-2, pp. 17-20.

10. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. *Programmnyy kompleks „Modelirovanie dinamiki konveyerov s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom“*. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [The software package "Dynamics simulation of conveyors with suspended belt and distributed drive". The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2016618964, 2016.

#### **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 621.86

## ВЛИЯНИЕ СИЛ ВЯЗКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ЗАЗОРАХ В ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК

Лагерев И.А., Мильто А.А., Лагерев А.В.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

В статье рассматриваются закономерности влияния сил вязкого сопротивления, создаваемых демпферными устройствами в цилиндрических шарнирах узлов соединения звеньев крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин, на эффективность демпфирования колебаний металлоконструкции в процессе эксплуатации, обусловленных наличием повышенных зазоров вследствие изнашивания отверстий шарнирных проушин. Показано, что силы вязкого сопротивления следует рассматривать как дополнение к создаваемым демпферными устройствами силам упругого сопротивления, так как последние определяют эффективность демпфирования в целом. Основная роль сил вязкого сопротивления заключается в диссипации энергии колебательного поворотного движения сопрягаемых звеньев металлоконструкции вследствие колебательного смещения шарнирного пальца в пределах зазора шарнира вплоть до полного затухания колебаний. Применительно к рассмотренной крано-манипуляторной установке мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А влияние действия сил вязкого сопротивления практически не наблюдается при коэффициенте вязкого демпфирования менее  $0,01 \text{ МН} \cdot \text{с}/\text{м}$ , в интервале  $0,01 \dots 0,05 \text{ МН} \cdot \text{с}/\text{м}$  такое влияние начинает проявляться все более заметно, в интервале  $0,05 \dots 0,4 \text{ МН} \cdot \text{с}/\text{м}$  имеет место интенсивное демпфирование колебательного смещения шарнирного пальца в пределах зазора, а при коэффициенте вязкого демпфирования более  $0,4 \text{ МН} \cdot \text{с}/\text{м}$  колебательный процесс становится аperiodическим с практически полным затуханием в пределах одного колебания шарнирного пальца.

**Ключевые слова:** крано-манипуляторная установка, шарнир, зазор, демпфирование, вязкое сопротивление, колебания, динамика, напряженное состояние

Как показывает опыт эксплуатации крано-манипуляторных установок с шарнирно-сочлененными грузовыми стрелами мобильных транспортно-технологических машин [1], одним из типовых эксплуатационных дефектов их металлоконструкций является прогрессирующий с течением времени эксплуатации износ внутренних поверхностей отверстий проушин, образующих вращательные цилиндрические шарнирные соединения между смежными звеньями кинематической цепи и в узлах крепления силовых приводных гидроцилиндров к звеньям, который вызывает появление в них повышенных зазоров. Регламентированная нормативно-распорядительной документацией Ростехнадзора России [2] допустимая величина указанных зазоров достаточна велика, составляя  $2 \dots 4 \text{ мм}$  ( $\sim 4 \dots 10 \%$  номинального диаметра отверстий проушин). Проведенные ранее исследования [3-5] показали существенное влияние указанных повышенных зазоров на кинематику, динамику и, в значительной степени, на напряженно-деформированное состояние звеньев крано-манипуляторных установок. Согласно [6] в случае повышенных зазоров, близких по величине к допустимым, пиковые значения динамических напряжений в звеньях крано-манипуляторных установок в момент соударения шарнирного пальца с проушиной могут в  $5 \dots 6$  раз превышать номинальные, а линейное ускорение перемещаемого груза в этот момент может скачкообразно достигать  $18 \dots 20 \text{ м}/\text{с}^2$ .

В качестве одного из возможных путей снижения указанного негативного влияния повышенных зазоров на уровень динамического напряженно-деформированного состояния шарнирно-сочлененных стрел крано-манипуляторных установок и, таким образом, на повышения их усталостной прочности и остаточного ресурса были предложены конструкции демпферных устройств с упругими амортизирующими элементами в виде пружин растяжения-сжатия [7], кольцевых и дуговых упругих элементов. Представленные в [9] результаты анализа функционирования данных демпферных устройств при повышенных зазорах в шарнирных соединениях показали их эффективность. Они позволяют обеспечить существенное снижение дополнительных ударных нагрузок, возникающих в момент выбора зазора, замедление роста зазора и ограничение величины зазора заданным значением, которое не будет превышено в течение всего срока службы шарнирного соединения независимо от интенсивности его нагруженности.

Функциональным недостатком упругих демпферных устройств шарнирных соединений стрел крано-манипуляторных установок [7] является то, что пружины и кольца являются исключительно упругими амортизирующими элементами. Они обеспечивают снижение уровня динамических ударных нагрузок за счет возникающей при их деформировании упругой силы, т.е. за счет преобразования кинетической энергии перемещения шарнирного пальца в зазоре в потенциальную энергию пружин или колец. Накопленная в процессе деформирования этих элементов потенциальная энергия остается в упругой системе «пружины (кольца)-шарнирный палец» и затем возвращается практически в полном объеме при их разгрузке.

Более эффективное снижение уровня динамических ударных нагрузок на транспортируемый груз и металлоконструкцию крано-манипуляторной установки в процессе эксплуатации может быть связано с преобразованием кинетической энергии шарнирного пальца частично в потенциальную, а частично в другие виды энергии (например, тепловую) с последующим безвозвратным ее диссипативным рассеиванием.

С этой целью была предложена и обоснована конструкция вязко-упругого демпферного устройства для шарнирных соединений смежных секций грузоподъемных стрел с амортизирующими элементами, создающими силы как упругого, так и вязкого сопротивления перемещению шарнирного пальца в пространстве зазора (рис. 1). Конструктивно оно оформлено как развитие конструкций ранее предложенных упругих демпферных устройств [7]. Принцип его действия основан на том, что помимо упругих амортизирующих элементов, оказывающих тормозящее воздействие на перемещение шарнирного пальца за счет возникновения пропорциональной величине смещения силы упругого сопротивления, в конструкцию демпфера включены гидравлические амортизирующие элементы. Они оказывают дополнительное тормозящее воздействие за счет возникновения пропорциональной величине и скорости смещения силы вязкого сопротивления. Для этого к глухой крышке 16 со стороны внутренней полости Д неподвижно крепятся с помощью штифтов 18 демпферные гидроцилиндры 17, штоки которых упираются в металлическое кольцо 12. Число демпферных гидроцилиндров равно числу упругих амортизирующих элементов (пружины растяжения-сжатия или колец) 13, а их положение в окружном направлении вокруг хвостовика 11 шарнирного пальца 3 совпадает с положением продольных осей упругих амортизирующих элементов. Каждый демпферный гидроцилиндр посредством двух трубопроводов (рабочего 20 и обратного 21) соединен с общим блоком гидравлических сопротивлений 19, который неподвижно закреплен на глухой крышке 16 с наружной стороны. Герметичная система, состоящая из связанных между собой внутренних полостей демпферных гидроцилиндров, рабочих и обратных трубопроводов и блока гидравлических сопротивлений полностью заполняется вязкой рабочей жидкостью (например, смазочным минеральным маслом или синтетической жидкостью для гидроприводов машин и механизмов). Совокупность демпферных гидроцилиндров, рабочих и обратных трубопроводов и блока гидравлических сопротивлений формирует гидравлическое демпферное устройство.

В начальный период эксплуатации крано-манипуляторной установки, когда зазоры  $\delta_{w1}$  и  $\delta_{w2}$  (рис. 2) соответствуют своим номинальным значениям согласно чертежа, т.е. являются практически незначимыми, хвостовик 11 шарнирного пальца 3 свободно вращается внутри металлического кольца 12, не оказывая на него никакого давления. В исходном положении относительно хвостовика металлическое кольцо удерживается упругими амортизирующими элементами (пружины растяжения-сжатия или кольцами) 13, имеющими равную длину или наружный диаметр. По мере формирования зазоров  $\delta_{w1}$  и  $\delta_{w2}$  эксплуатация крано-манипуляторной установки начинает сопровождаться перекосом при поворотном движении секций относительно продольной оси шарнирного соединения и ударными явлениями [4, 6], связанными с попеременным практически мгновенным изменением пар точек опирания  $\Gamma_1 - \Gamma_4$  и  $\Gamma_2 - \Gamma_3$  проушин 4 на шарнирный палец. При перекосе любой из смежных секций 1 или 5 грузоподъемной стрелы относительно исходного нейтрального положения 0-0 происходит относительное смещение хвостовика шарнирного пальца. На рис. 2 исходное нейт-

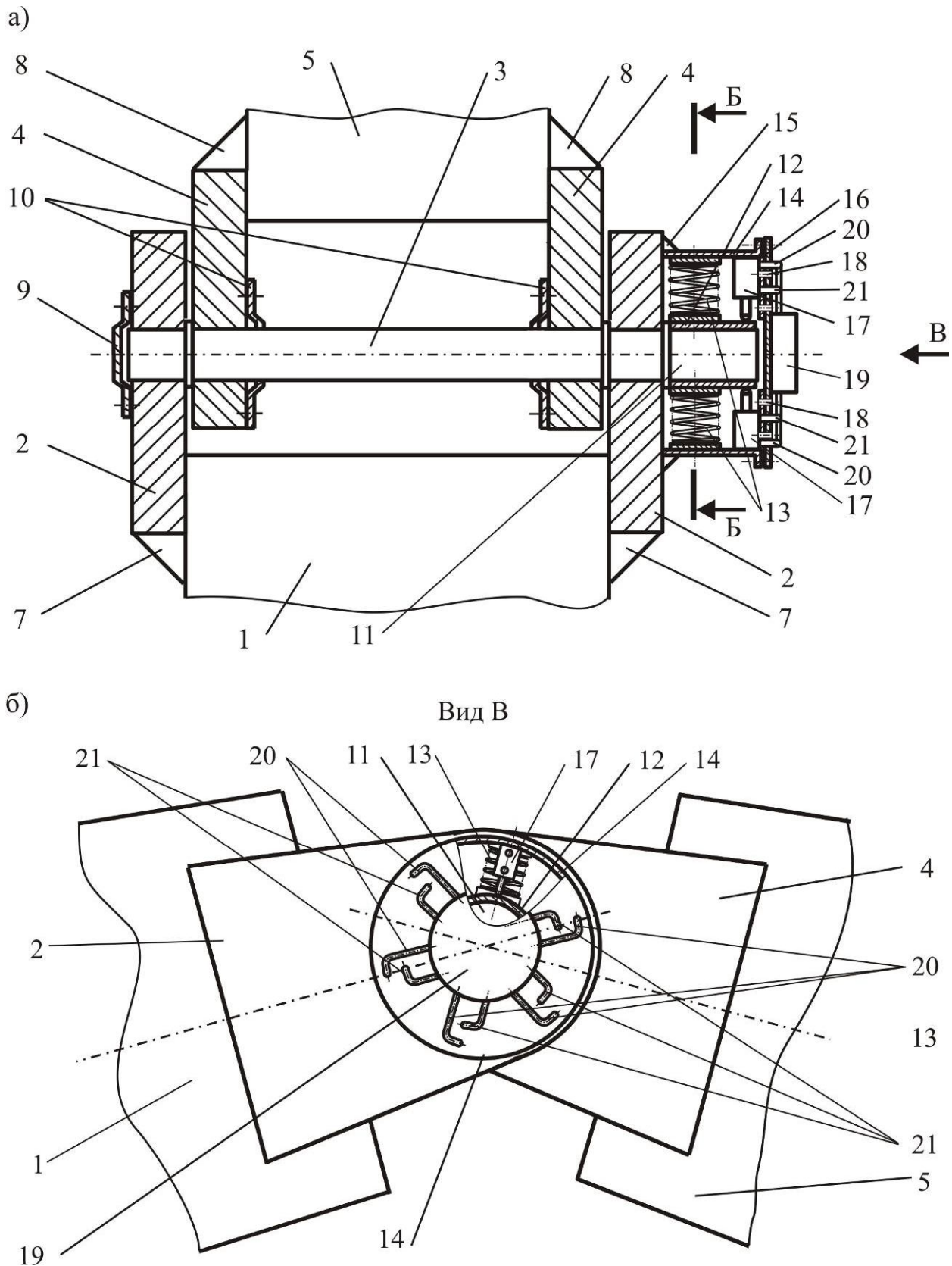


Рис. 1. Конструкция шарнирного узла соединения смежных секций грузоподъемной стрелы с установленным вязко-упругим демпферным устройством:  
а – продольный разрез; б – вид снаружи

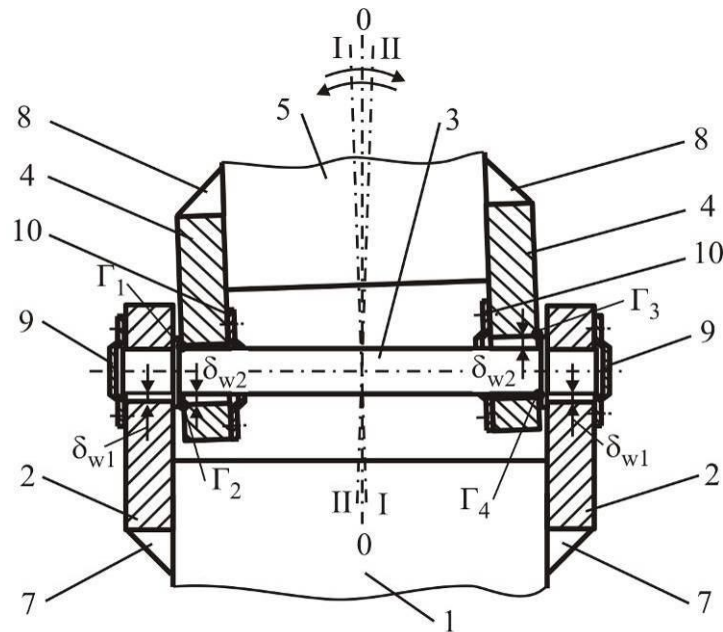


Рис. 2. Схема формирования относительного перекоса смежных секций стрелы при наличии повышенных зазоров в цилиндрическом шарнире [9]

тральное 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  $O_I$ . Таким образом, при перекосе секции стрелы поперечное сечение хвостовика смещается по линии  $O_0-O_I$ . Вместе со смещением хвостовика 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 упругих амортизирующих элементов (пружин растяжения-сжатия или колец): часть этих элементов, 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 упругих амортизирующих элементах возникают упругие усилия  $F_1, F_2, \dots, F_6$  (рис. 3). Усилия в отдельных пружинах или кольцах пропорциональны их жесткости и величине их сжатия относительно исходной длины. Усилия, возникающие в отдельных упругих амортизирующих элементах, суммируются, создавая общее усилие упругого сопротивления  $F$ , направленное против направления смещения хвостовика по линии  $O_0-O_I$  и передающееся посредством металлического кольца на хвостовик и шарнирный палец в целом, оказывая на последний тормозящее воздействие. Одновременно смещение металлического кольца приводит к его воздействию на штоки демпферных гидроцилиндров 17, расположенных в направлении этого смещения. Штоки, принудительно перемещаясь вовнутрь демпферных гидроцилиндров, вызывают вытеснение вязкой рабочей жидкости из внутренних полостей гидроцилиндров по рабочим трубопроводам 20 в блок гидравлических сопротивлений 19. Так как жидкость обладает физическим свойством несжимаемости в широком диапазоне давлений, то весь вытесненный объем жидкости, пройдя блок гидравлических сопротивлений, по обратным трубопроводам возвращается в противоположные внутренние полости демпферных гидроцилиндров. В принудительно прокачиваемой через блок гидравлических сопротивлений 19, образованной большим числом гидравлических сопротивлений в виде цилиндрических и плоских капилляров, прецизионных щелей, поворотов, расширений или сужений и др., вязкой рабочей жидкости происходит значительная по величине потеря давления, которая приводит к появлению вязких сил  $V_1, V_2, V_3$  (рис. 3) со стороны штоков демпферных гидроцилиндров, препятствующих смещению металлического



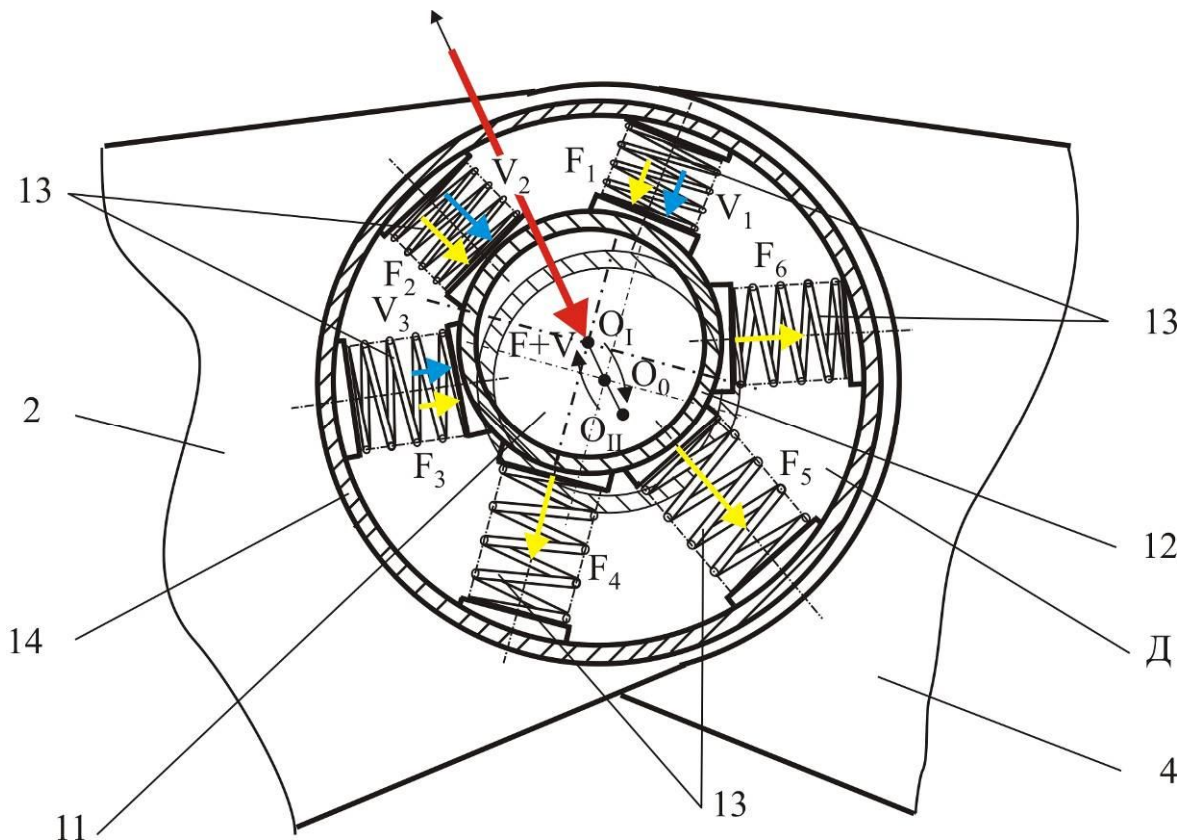


Рис. 3. Схема функционирования вязко-упругого демпферного устройства

кольца 12. Вязкие силы, возникающие в отдельных демпферных гидроцилиндрах, также суммируются, создавая общее усилие вязкого сопротивления  $V$ , направленное против направления смещения хвостовика по линии  $O_0-O_I$  и передающееся посредством металлического кольца на хвостовик и шарнирный палец в целом, оказывая на последний тормозящее воздействие, дополняющее тормозящее воздействие усилия  $F$  от упругих амортизирующих элементов. При изменении пары точек опорения проушин 4 на шарнирный палец 3, 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 возникают усилия сопротивления  $F$  и  $V$ , тормозящие смещение хвостовика по линии  $O_I-O_0-O_{II}$ . Автоматическое возникновение тормозящих сил  $F$  и  $V$ , величина и направление действия которых 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 1 и 5 грузоподъемной стрелы. При этом работа силы вязкого сопротивления  $V$  в пределах величины смещения шарнирного пальца определяет ту часть его кинетической энергии, которая превращается в блоке гидравлических сопротивлений в теплоту и вследствие теплопроводности и конвекции отводится и безвозвратно диссипативно рассеивается в соседних элементах металлоконструкции краноманипуляторной установки и в окружающей среде.

Для выявления степени влияния сил вязкого сопротивления  $V$  на количественные характеристики процесса вязко-упругого демпфирования была рассмотрена работа той же гидравлической краноманипуляторной установки мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов [4, 10], которая ранее в [9] рассматривалась при анализе характеристик процесса упругого демпфирования. Также как и в [9] моделировались динамические процессы, обусловленные наличием повышенного зазора (величиной до  $\delta_{w \max} = 2$  мм) в цилиндрическом шарнирном соединении рукояти краноманипуляторной 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/с<sup>2</sup> (9 град/с<sup>2</sup>) в пределах угла поворота  $\Delta q_1 = 90^\circ$ , т.е. в течение промежутка времени  $\Delta t = 4,43$  с.

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 [18].

В расчетах сила вязкого сопротивления демпферного устройства задавалась как линейная функция линейной скорости смещения центра торцевого сечения шарнирного пальца

$$V = \alpha \dot{q} \quad \text{или} \quad V = \alpha \frac{du_R}{d\tau}, \quad V = \alpha \frac{du_L}{d\tau}, \quad (1)$$

где  $u_R$  ( $u_L$ ) - линейное смещение центра правого (левого) торцевого сечения шарнирного пальца (деление торцевых сечений на «правое» и «левое» носит произвольный характер, так как математическая модель предполагает совпадение всех количественных характеристик законов движения центров торцевых сечений шарнирного пальца с учетом разнонаправленности направления смещения).

Присутствующий в зависимости (1) коэффициент пропорциональности  $\alpha$  представляет собой коэффициент вязкого демпфирования, интегрально отражающий как вязкие свойства рабочей жидкости, так и конструктивное исполнение блока гидравлических сопротивлений.

Влияние сил вязкого сопротивления исследовалось на количественные характеристики законов изменения во времени величин смещения центра торцевых сечений шарнирного пальца из исходного положения  $u_R(\tau)$  и  $u_L(\tau)$  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 (название звеньев металлоконструкции соответствует [4, 12]).

На рис. 4 и 5 приведены графики названных законов при номинальном весе перемещаемого груза и двух уровнях упругого демпфирования - значительном (коэффициент жесткости демпферного устройства  $C = 20$  МН/м) и менее значительном ( $C = 5$  МН/м). Зазоры в шарнире  $\delta_w$  были взяты 0,4 мм и 2,0 мм соответственно. Для данных значений жесткости  $C$  указанные зазоры являются большими [9], т.е. в процессе поворота колонны соударения шарнирного пальца с поверхностью проушины шарнира не происходит. Графики для других значений коэффициента  $C$  качественно сходны между собой, однако наблюдаются количественные расхождения их характеристик.

Для каждого из представленных на рис. 4 и 5 законов изменения во времени параметров движения шарнирного пальца  $u_{R(L)}(\tau)$ ,  $a(\tau)$  и напряженного состояния наиболее нагруженных сечений металлоконструкции крано-манипуляторной установки  $\sigma_2(\tau)$ ,  $\sigma_3(\tau)$  были рассмотрены следующие их количественные характеристики (рис. 6):

- максимальное смещение центра торцевого сечения шарнирного пальца из исходного положения при первом  $u_{\max,1}$  и втором  $u_{\max,2}$  колебаниях;

- размах смещения центра торцевого сечения шарнирного пальца при первом  $R_{u,1}$  и втором  $R_{u,2}$  колебаниях:

$$R_{u,1} = u_{\max,1},$$

$$R_{u,2} = u_{\max,2} - u_{\min,2};$$

- установившееся смещение центра торцевого сечения шарнирного пальца  $u_{eq}$  при полном затухании колебательного процесса;

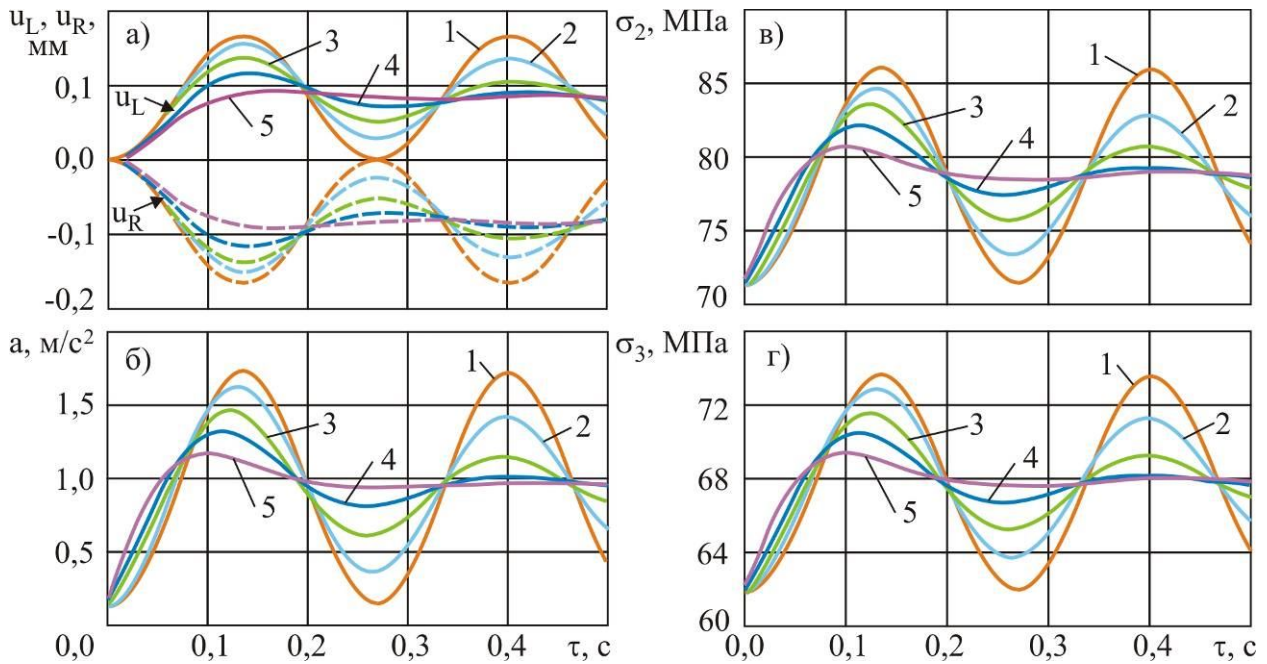


Рис. 4. Графики изменения во времени (в течение первых 0,5 с) расчетных параметров при наличии вязко-упругого демпфирования с  $C = 20$  МН/м и различными значениями  $\alpha$  :  
 а – смещение торцевых сечений шарнирного пальца; б – линейное ускорение смещения шарнирного пальца; в – напряжение в наиболее нагруженном сечении стрелы;  
 г – напряжение в наиболее нагруженном сечении рукоятки  
 (1 -  $\alpha = 0,001$  МН·с/м; 2 -  $\alpha = 0,1$  МН·с/м; 3 -  $\alpha = 0,25$  МН·с/м; 4 -  $\alpha = 0,5$  МН·с/м; 5 -  $\alpha = 1$  МН·с/м)

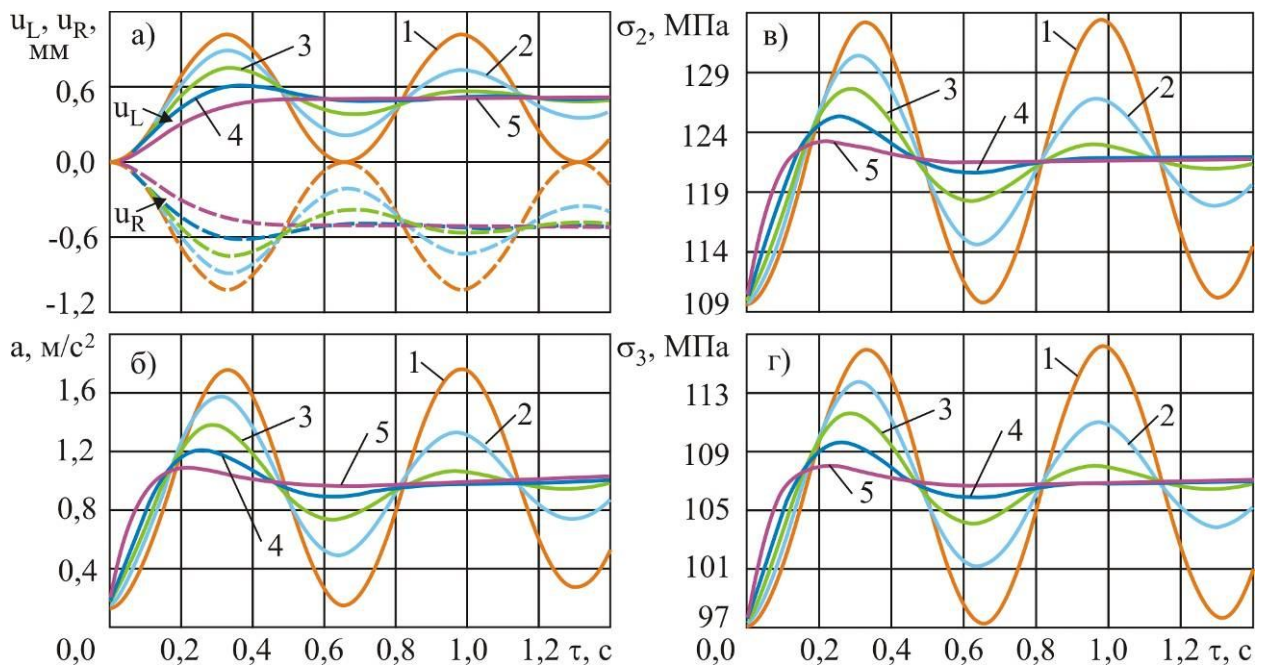


Рис. 5. Графики изменения во времени (в течение первых 1,4 с) расчетных параметров при наличии вязко-упругого демпфирования с  $C = 5$  МН/м и различными значениями  $\alpha$  :  
 а – смещение торцевых сечений шарнирного пальца; б – линейное ускорение смещения шарнирного пальца; в – напряжение в наиболее нагруженном сечении стрелы;  
 г – напряжение в наиболее нагруженном сечении рукоятки  
 (1 -  $\alpha = 0,001$  МН·с/м; 2 -  $\alpha = 0,1$  МН·с/м; 3 -  $\alpha = 0,25$  МН·с/м; 4 -  $\alpha = 0,5$  МН·с/м; 5 -  $\alpha = 1$  МН·с/м)

- максимальное линейное ускорение центра торцевого сечения шарнирного пальца при первом  $a_{\max,1}$  и втором  $a_{\max,2}$  колебаниях;

- размах изменения линейного ускорения центра торцевого сечения шарнирного пальца при первом  $R_{a,1}$  и втором  $R_{a,2}$  колебаниях:

$$R_{a,1} = a_{\max,1} - \ddot{q}_1,$$

$$R_{a,2} = a_{\max,2} - a_{\min,2};$$

- максимальное напряжение в стреле при первом  $\sigma_{2\max,1}$  и втором  $\sigma_{2\max,2}$  колебаниях;

- размах изменения напряжения в стреле при первом  $R_{\sigma_{2,1}}$  и втором  $R_{\sigma_{2,2}}$  колебаниях:

$$R_{\sigma_{2,1}} = \sigma_{2\max,1} - \sigma_{2,st},$$

$$R_{\sigma_{2,2}} = \sigma_{2\max,2} - \sigma_{2\min,2};$$

- максимальное напряжение в рукояти при первом  $\sigma_{3\max,1}$  и втором  $\sigma_{3\max,2}$  колебаниях;

- размах изменения напряжения в рукояти при первом  $R_{\sigma_{3,1}}$  и втором  $R_{\sigma_{3,2}}$  колебаниях:

$$R_{\sigma_{3,1}} = \sigma_{3\max,1} - \sigma_{3,st},$$

$$R_{\sigma_{3,2}} = \sigma_{3\max,2} - \sigma_{3\min,2};$$

- установившиеся напряжения в стреле  $\sigma_{2,eq}$  и рукояти  $\sigma_{3,eq}$  при полном затухании колебательного процесса;

- момент времени достижения максимального значения параметров движения при первом  $\tau_{1\max}$  колебании;

- длительность первого колебания шарнирного пальца  $\Delta\tau_1$ ;

- величина кинетической энергии  $E_1$ , безвозвратно поглощенной демпферами за первое колебание;

- коэффициенты динамичности  $k_{dyn,2}$  и  $k_{dyn,3}$ , характеризующие напряженное состояние в стреле и рукояти соответственно:

$$k_{dyn,2eq} = \sigma_{2,eq} / \sigma_{2,st},$$

$$k_{dyn,3eq} = \sigma_{3,eq} / \sigma_{3,st};$$

- установившиеся коэффициенты динамичности  $k_{dyn,2eq}$  и  $k_{dyn,3eq}$ , характеризующие напряженное состояние в стреле и рукояти соответственно при полном затухании колебательных процессов:

$$k_{dyn,2} = \sigma_{2\max,1} / \sigma_{2,st},$$

$$k_{dyn,3} = \sigma_{3\max,1} / \sigma_{3,st};$$

- отношения максимальных значений перечисленных выше параметров при втором колебании к максимальным их значениям при первом колебании:

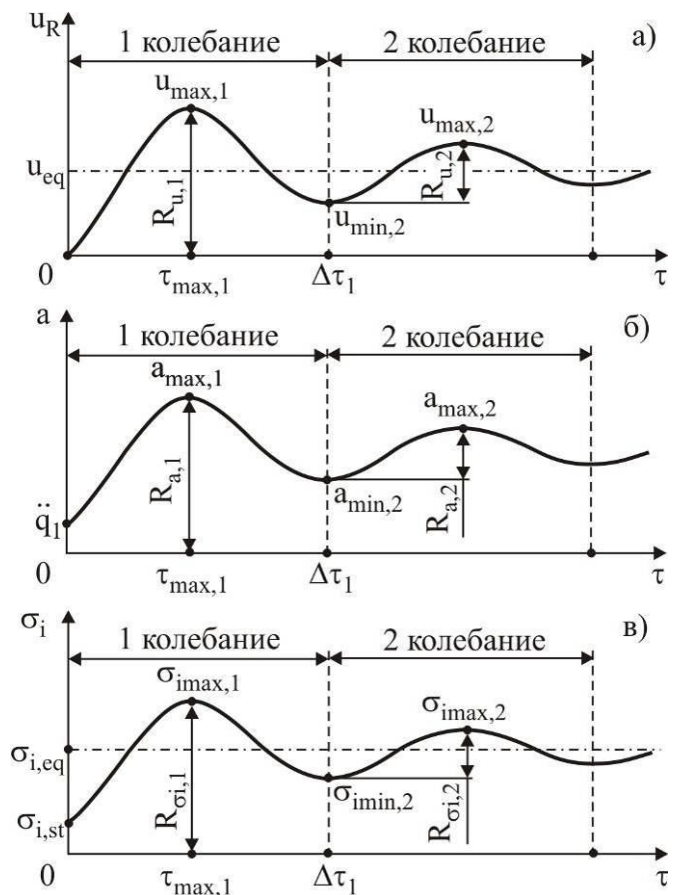


Рис. 6. Расчетные схемы для определения количественных характеристик движения шарнирного пальца и напряженного состояния:  
 а – смещение шарнирного пальца;  
 б – ускорение шарнирного пальца;  
 в – напряжение в металлоконструкции

$$\chi_u = \frac{u_{\max,2}}{u_{\max,1}}; \quad \chi_a = \frac{a_{\max,2}}{a_{\max,1}}; \quad \chi_{\sigma_2} = \frac{\sigma_{2\max,2}}{\sigma_{2\max,1}}; \quad \chi_{\sigma_3} = \frac{\sigma_{3\max,2}}{\sigma_{3\max,1}},$$

где  $X_{\min,2}$  - минимальное значение параметра  $X$  при втором колебании;  $\sigma_{2,st}$ ,  $\sigma_{3,st}$  - напряжение в стреле и рукояти соответственно в стационарном режиме (при отсутствии зазора).

Графики зависимости перечисленных характеристик от величины  $\alpha$  при значении жесткости  $C = 20$  МН/м приведены на рис. 7. Видно, что применительно к рассмотренной в

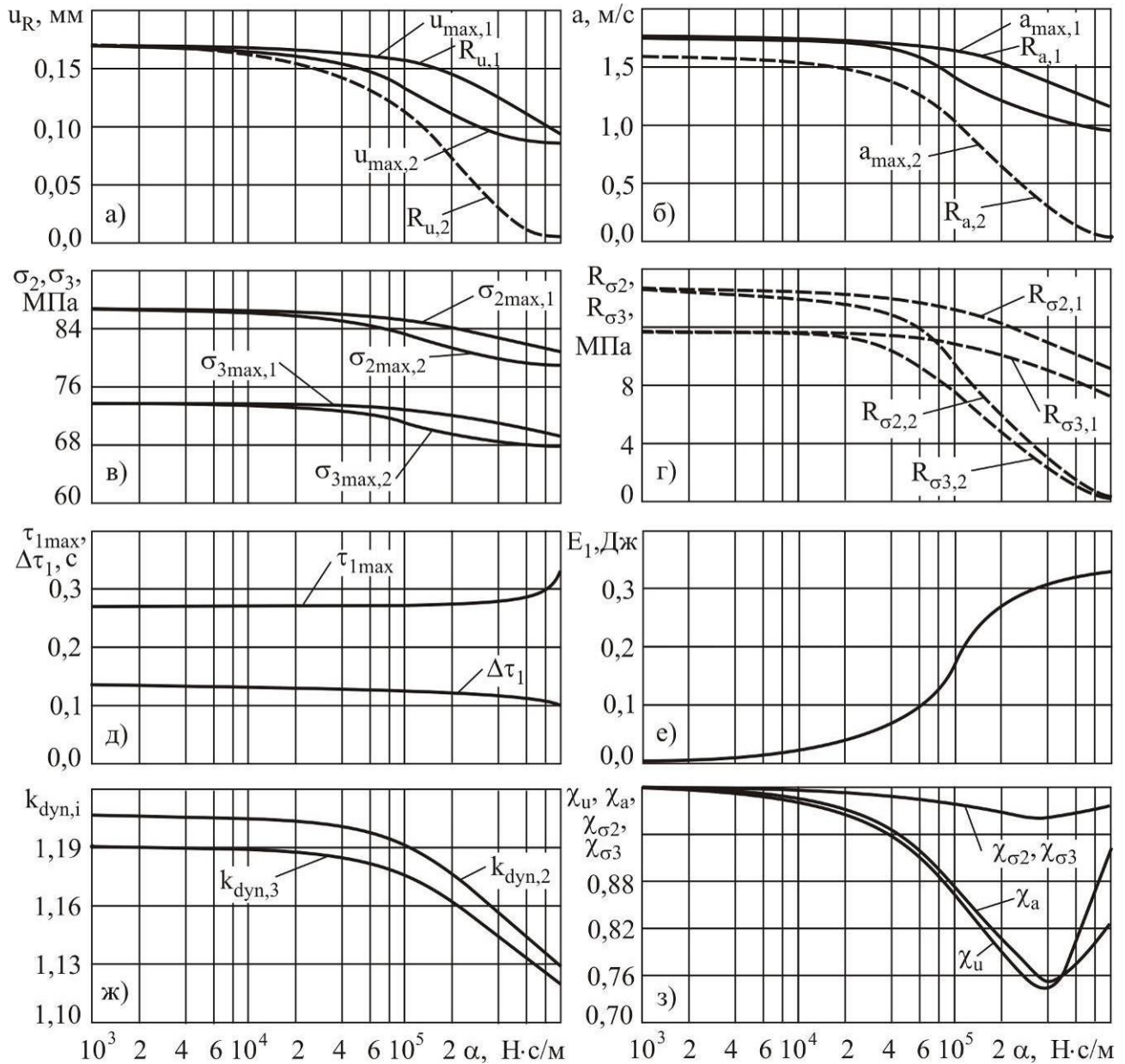


Рис. 7. Зависимости характеристик закона смещения шарнирного пальца при максимально допустимом зазоре в шарнире (безударное смещение) от величины коэффициента вязкого демпфирования  $\alpha$  для демпферного устройства жесткости  $C = 20$  МН/м:

- а – смещение шарнирного пальца; б – ускорение шарнирного пальца; в – напряжения в металлоконструкции; г – размах напряжений; д - момент времени достижения максимального значения параметров движения при первом колебании и длительность первого колебания; е - кинетическая энергия, поглощенная демпферами за первое колебание;
- ж – коэффициент динамичности напряжений; з - отношение максимальных значений параметров при втором и первом колебаниях

данной статье крано-манипуляторной установке мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А и режима ее эксплуатации [4, 10] влияние действия сил вязкого сопротивления практически не наблюдается при коэффициенте вязкого демпфирования  $\alpha < 0,01$  МН·с/м, в интервале  $0,01 < \alpha < 0,050$  МН·с/м такое влияние начинает проявляться все более заметно, в интервале  $0,05 < \alpha < 0,3 \dots 0,4$  МН·с/м имеет место интенсивное демпфирование колебательного смещения шарнирного пальца в пределах зазора, а при  $\alpha > 0,4$  МН·с/м вязкое демпфирование обеспечивает аperiodический характер процесса с практически полным затуханием в пределах одного колебания шарнирного пальца.

С увеличением коэффициента вязкого демпфирования  $\alpha$ , т.е. с увеличением вязкостной составляющей в процессе вязко-упругого демпфирования, наблюдается уменьшение максимальных значений и амплитуд смещения  $u_R$  ( $u_L$ ) и линейного ускорения  $a$  центра торцевого сечения шарнирного пальца из исходного положения, напряжений в наиболее нагруженных сечениях металлоконструкций стрелы  $\sigma_2$  и рукояти  $\sigma_3$  крано-манипуляторной установки, момента времени достижения первого максимального значения этих характеристик  $\tau_{1\max}$ . Однако влияние сил вязкого сопротивления на снижение указанных динамических характеристик оказывается достаточно скромным. Даже при наибольшем уровне вязкого демпфирования ( $\alpha = 1$  МН·с/м), обеспечивающем затухание колебаний шарнирного пальца практически за один период, уменьшение величин максимальных напряжений в звеньях крано-манипуляторной установки  $\sigma_{i\max,1}$  и  $\sigma_{i\max,2}$  и коэффициентов динамичности  $k_{dyn,i}$  составляет лишь 5...8%, хотя линейное ускорение уменьшается на 34%. Заметное снижение величины момента времени достижения первого максимального значения динамических характеристик  $\tau_{1\max}$  начинает наблюдаться только при наибольших уровнях вязкого демпфирования ( $\alpha > 400$  кН·с/м), достигая максимально 25%.

С увеличением коэффициента вязкого демпфирования  $\alpha$  наблюдается увеличение длительности первого колебания шарнирного пальца  $\Delta\tau_1$  (максимально – до 22%) и величины безвозвратно поглощенной демпфером за первое колебание кинетической энергии  $E_1$ . Обращает внимание тот факт, что скорость изменения кинетической энергии

$$\dot{E}_1 = dE_1 / d\alpha$$

является экстремальной функцией - ее максимум приходится на значение  $\alpha \sim 0,1$  МН·с/м.

Изменение отношений  $\chi_X$  в зависимости от изменения коэффициента вязкого демпфирования  $\alpha$  носит экстремальный характер: при малых значениях коэффициента  $\alpha$  они уменьшаются от 1,0 до некоторых минимальных величин при  $\alpha \sim 0,3 \dots 0,4$  МН·с/м, а затем достаточно быстро начинают возрастать до 1,0. Такое поведение зависимостей  $\chi_X \sim \chi_X(\alpha)$  можно объяснить тем, что при  $\alpha > 0,4$  МН·с/м колебания шарнирного пальца приобретают аperiodический характер, их затухание происходит очень интенсивно и значения  $X_{\max,1}$  и  $X_{\max,2}$  сближаются по величине (рис. 7).

При затухании колебательных процессов смещения центров торцевых сечений шарнирных пальцев  $u_{R(L)}$  и напряжений в звеньях крано-манипуляторной установки  $\sigma_i$  указанные параметры стремятся к своим установившимся значениям, соответствующим условию полного прекращения колебаний. Установившиеся значения этих параметров  $u_{eq}$ ,  $\sigma_{i,eq}$  и коэффициентов динамичности  $k_{dyn,ieq}$  не зависят от коэффициента вязкого демпфирования  $\alpha$ , однако он определяет длительность их достижения. Установившееся смещение  $u_{eq} \neq 0$ , т.е. продольная ось шарнирного пальца не возвращается в свое исходное нейтральное положение параллельно оси отверстия шарнира, а составляет с ней угол перекося

$$\gamma_{eq} = \arcsin(2u_{eq} / l_h),$$

где  $l_h$  - длина шарнирного пальца.

Аналогично, установившиеся напряжения  $\sigma_{i,eq}$  в звеньях крано-манипуляторной установки при полном затухании колебаний не возвращаются к своим исходным значениям  $\sigma_{i,st}$  в стационарном режиме работы при отсутствии зазора, оставаясь на более высоком уровне.

Расчетное определение установившихся значений параметров применительно к крано-манипуляторной установке мобильной транспортно-технологической машины АСТ-4-А показало (значение в скобках соответствует  $C = 5$  МН/м):

- установившееся смещение центра торцевого сечения шарнирного пальца  $u_{eq} = 0,089$  мм, его угол перекося  $\gamma_{eq} = 2'27''$  ( $14'59''$ );

- установившееся напряжение в стреле  $\sigma_{2,eq} = 78,9$  (121,8) МПа, что составляет  $\sigma_{2,eq} = 1,1$  (1,1)  $\sigma_{2,st} = 0,92$  (0,92)  $\sigma_{2,max,1}(\alpha = 0)$ ;

- установившееся напряжение в рукояти  $\sigma_{3,eq} = 78,9$  (107,1) МПа, что составляет  $\sigma_{3,eq} = 1,1$  (1,1)  $\sigma_{3,st} = 0,92$  (0,92)  $\sigma_{3,max,1}(\alpha = 0)$ ;

- установившиеся коэффициенты динамичности для стрелы и рукояти  $k_{dyn,2eq} = k_{dyn,3eq} = 1,1$  (1,1), что в 1,09 (1,1) раза ниже, чем соответствующие коэффициенты динамичности  $k_{dyn,i}(\alpha = 0)$ .

Выявленные в процессе моделирования динамики поворотного движения крано-манипуляторной установки перекося оси шарнирного пальца относительно отверстия шарнира и превышение установившимися значениями напряжений в металлоконструкции величин напряжений в условиях отсутствия повышенного зазора в шарнире обусловлены действием на установку углового ускорения  $\ddot{q}_1$  и связанных с ним инерционных нагрузок, которые деформируют упругие амортизационные элементы демпферных устройств, вызывая их неравномерное сжатие.

Представляет интерес сравнение индивидуальных вкладов сил упругого и вязкого сопротивления в эффективность демпфирования колебательного смещения шарнирного пальца в пределах повышенного зазора в цилиндрическом шарнире. Сравнение было проведено для двух случаев, когда уровень упругого демпфирования характеризуется жесткостью демпферного устройства  $C = 20$  МН/м (является значительным, но не предельно возможным по конструктивным соображениям) и  $C = 5$  МН/м (является мало значительным, а уровень вязкого демпфирования – коэффициентом  $\alpha = 1$  МН·с/м (является близким к предельно возможному)). Для оценки вклада сил упругого сопротивления были использованы результаты расчетов, представленные в работе [9]. Количественно соотношение индивидуальных вкладов применительно к анализируемому динамическому параметру  $X_i = X_i(C; \alpha)$  оценивалось с помощью следующих коэффициентов влияния:

- для оценки вклада сил упругого сопротивления

$$\psi_c = \frac{X_i(C = 0; \alpha = 0)}{X_i(C; \alpha = 0)};$$

- для оценки вклада сил вязкого сопротивления

$$\psi_\alpha = \frac{X_i(C; \alpha = 0)}{X_i(C; \alpha)};$$

- для оценки совместного вклада сил упругого и вязкого сопротивления

$$\psi = \psi_c \psi_\alpha = \frac{X_i(C = 0; \alpha = 0)}{X_i(C; \alpha)}.$$

Полученные результаты приведены в таблице. Для всех исследованных динамических параметров коэффициенты влияния  $\psi_c$  существенно превышают коэффициенты  $\psi_\alpha$ , т.е. при демпфировании колебаний металлоконструкций крано-манипуляторных установок, обуслов-

ленных наличием повышенных зазоров в шарнирных соединениях звеньев, определяющим является вклад сил упругого сопротивления, а силы вязкого сопротивления играют вспомогательную роль. Это особенно характерно для динамического напряженного состояния звеньев, характеризуемого величиной напряжений  $\sigma_i$  и коэффициентов динамичности  $k_{dyn,i}$ : снижение уровня напряжений обеспечивается практически только за счет упругого демпфирования (снижение на 85%, т.е. почти в 2 раза), тогда как вязкое демпфирование обеспечивает дополнительное снижение уровня напряжений лишь на 6...7%. Важно отметить, что значения коэффициентов влияния  $\psi_c$ ,  $\psi_\alpha$  и  $\psi$  практически одинаковы для различной жесткости демпферного устройства  $C$  в широком диапазоне ее значений.

Таблица

Результаты оценки индивидуальных вкладов сил упругого и вязкого сопротивления в эффективность демпфирования колебательного смещения шарнирного пальца

Динамический параметр $X_i$	Величина параметра при сочетании			Коэффициенты влияния		
	$C = 0, \alpha = 0$	$C, \alpha = 0$	$C, \alpha$	$\psi_c$	$\psi_\alpha$	$\psi$
Максимальное линейное ускорение шарнирного пальца $a$ , $m/c^2$	9,57	$\frac{1,76}{1,76}$	$\frac{1,16}{1,22}$	$\frac{5,44}{5,45}$	$\frac{1,52}{1,44}$	$\frac{8,25}{7,84}$
Максимальное напряжение в стреле $\sigma_2$ , МПа	160,1	$\frac{86,2}{133,1}$	$\frac{80,7}{125,3}$	$\frac{1,86}{1,20}$	$\frac{1,07}{1,06}$	$\frac{1,98}{1,28}$
Максимальное напряжение в рукояти $\sigma_3$ , МПа	136,2	$\frac{73,6}{115,9}$	$\frac{69,2}{109,7}$	$\frac{1,85}{1,18}$	$\frac{1,06}{1,04}$	$\frac{1,97}{1,24}$
Коэффициент динамичности для стрелы $k_{dyn,2}$	2,12	$\frac{1,21}{1,22}$	$\frac{1,13}{1,14}$	$\frac{1,76}{1,74}$	$\frac{1,07}{1,06}$	$\frac{1,88}{1,85}$
Коэффициент динамичности для рукояти $k_{dyn,3}$	2,11	$\frac{1,19}{1,20}$	$\frac{1,12}{1,13}$	$\frac{1,77}{1,76}$	$\frac{1,06}{1,06}$	$\frac{1,88}{1,86}$

Примечание: В числителе – для  $C = 20$  МН/м, в знаменателе – для  $C = 5$  МН/м.

Подводя итоги выполненному анализу степени влияния сил вязкого сопротивления, создаваемых демпферными устройствами в цилиндрических шарнирах узлов соединения звеньев крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин, на эффективность демпфирования колебаний металлоконструкции в процессе эксплуатации, можно сделать следующие выводы.

1. Сравнение индивидуальных вкладов сил упругого и вязкого сопротивления в эффективность демпфирования колебательного смещения шарнирного пальца в пределах повышенного зазора в цилиндрическом шарнире показывает, что преобладающее влияние имеют силы упругого сопротивления, которые и преимущественно определяют значения амортизирующих характеристик демпферных устройств шарниров.

2. Силы вязкого сопротивления имеют существенно меньшее значение с точки зрения снижения уровня динамического напряженного состояния в металлоконструкции крано-манипуляторной установки, однако их определяющая роль состоит в другом - именно они обеспечивают безвозвратную диссипацию кинетической энергии в колебательной системе и затухание колебаний шарнирного пальца в совокупности с колебаниями смежных звеньев крано-манипуляторной установки вплоть до их полного прекращения.

### 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. 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.
3. Лагерев, И.А. Моделирование поворотного движения крано-манипуляторной установки при повышенных зазорах в шарнирных соединениях звеньев / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 2. – С. 71-80. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-07.pdf>.
  4. 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.
  5. 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.
  6. 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>.
  7. 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.
  8. Лагерев, И.А. Оптимизация упругих элементов демпферных устройств для цилиндрических шарниров шарнирно-сочлененных стрел крано-манипуляторных установок мобильных машин / И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 2. – С. 27-50. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-03.pdf>.
  9. Лагерев, И.А. Эффективность упругого демпфирования в шарнирных соединениях стрел крано-манипуляторных установок при повышенных зазорах / И.А. Лагерев, А.А. Мильто, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 1. – С. 18-36. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-03.pdf>.
  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 KBCrane 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 KBCrane Graphics. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614196 от 17 апреля 2014 года (Федеральная служба по интеллектуальной собственности).

### 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 – кандидат технических наук, *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*.

## THE INFLUENCE OF FORCES OF VISCOUS RESISTANCE ON THE EFFICIENCY OF DAMPING IN HINGES WITH LARGE GAPS IN THE CRANE-MANIPULATOR INSTALLATIONS

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

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The article considers regularities of the influence of forces of viscous resistance generated by the damper device in the cylindrical hinges of the nodes connect the links of the crane-manipulator units mobile transport-technological machines. The specified effect is considered on the efficiency of the damping of oscillations of the metal in the process of operation, due to the presence of increased clearances due to wear of the holes of the hinge eyes. It is shown that the force of viscous resistance should be considered in addition to the generated damping devices forces of elastic resistance, as the latter determine the effectiveness of damping in general. The main role of forces of viscous resistance is the dissipation of energy of an oscillatory turning movement of the mating parts of the metal structures due to oscillatory displacement of the hinge pin within the hinge gap until the complete decay of oscillations. Considered in relation to the crane-manipulator installing mobile transport-technological machines AST-4-A the effect of the action of forces of viscous resistance is almost not observed when the coefficient of viscous damping less than 0.01 MN·s/m, in the range 0,01...0,05 MN·s/m this influence begins to manifest itself more and more noticeable, in the range of 0,05...0,4 MN·s/m has a lot of damping vibrational displacement of the hinge pin within the gap, while the coefficient of viscous damping more than 0.4 MN·s/m oscillatory process becomes aperiodic with an almost complete attenuation in the range of one oscillation of the hinged finger.

**Keywords:** crane-manipulator installation, hinge, gap, damping, viscous resistance, vibration, dynamics, 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. *Metodicheskiye rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniyu gruzopodyemnykh mashin. Ch. 2. Krany strelovyye obshchego naznacheniya i krany-manipulyatory gruzopodyemniye*. Moscow, ООО «НИИКраностройениа», 2009. 120 p.
3. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Modeling of rotary movement of the articulating cranes with increased gaps in the hinge joints of the links. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 71-80. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arkhiv/2016-N2/2016-02-07.pdf>.
4. 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.
5. 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 machin*, 2015, No.2, pp. 2–4.
6. 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. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-05.pdf>.

7. Patent RU 160246. *Ustroystvo dlya soedineniya sektsiy gruzopodemnoy strely kranomanipulyatornoy ustanovki* [Device for connecting sections hoisting boom crane-manipulator]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 29.07.2015. Published 10.03.2016.

8. Lagerev I.A. Optimization of elastic elements of a damping devices for cylindrical hinges in crane-manipulating installations of mobile machines. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 27-50. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-03.pdf>.

9. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Effectiveness of elastic damping in the pivot joints of cargo boom of crane-manipulating installations at large gaps, *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 18-36. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-02.pdf>.

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 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.

#### **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](mailto:lagerev-bgu@yandex.ru).

Andrey A. Milto – Candidate of Technical Sciences, [miltoandrey@ya.ru](mailto: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](mailto:bsu-avl@yandex.ru).

531.787.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ МАНОМЕТРОВ

Юрин А.И., Нефедов А.П.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Рассмотрены достоинства и недостатки манометров с упругим чувствительным элементом. Проведен факторный эксперимент для выявления зависимости метрологической надежности манометров различных производителей от уровня и продолжительности перегрузок по измеряемому давлению. Рассмотрены методы защиты манометров от перегрузок.

**Ключевые слова:** манометр, метрологическая надежность, погрешность

Поскольку среди всех измерений, проводимых в России, около 30% относятся к измерению давления [1], проведение исследований, направленных на повышение метрологической надежности манометров является актуальной задачей.

В большинстве манометров, применяемых в различных отраслях промышленности, в качестве первичного измерительного преобразователя применяют упругие чувствительные элементы в виде трубчатой пружины, мембраны, сильфона и т.д. Таким образом, давление преобразуется в деформацию упругого элемента  $\delta$ , которая затем преобразуется в электрический сигнал с помощью вторичного преобразователя либо служит для перемещения стрелки отсчетного устройства. Такие манометры отличаются простотой конструкции, низкой стоимостью, достаточно высокой точностью и поэтому широко используются в качестве рабочих средств измерений. При этом метрологические характеристики и надежность подобных манометров в значительной степени зависят от параметров и качества изготовления упругого чувствительного элемента.

В настоящее время для измерения малых и средних давлений наибольшее распространение получили манометры с измерительным механизмом на основе одновитковой трубчатой пружины (трубки Бурдона), имеющей плоскоовальную или эллиптическую форму поперечного сечения, и передаточного механизма в виде зубчатого сектора (рис. 1). Основными недостатками подобных манометров являются наличие остаточных деформаций трубчатой пружины, приводящих к появлению вариации показаний, а также возможность изменения её упругих свойств при превышении уровня измеряемого давления над верхним пределом измерений (ВПИ) [2].

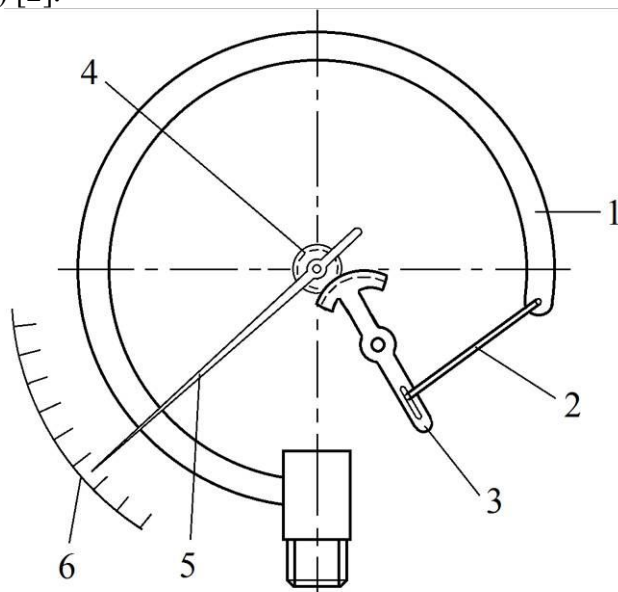


Рис. 1. Схема манометра с трубчатой пружиной и передаточным механизмом в виде зубчатого сектора: 1 - трубчатая пружина (трубка Бурдона); 2 – тяга (поводок); 3 - зубчатый сектор; 4 – зубчатое колесо (трибка); 5 – стрелка; 6 - шкала

Однако если погрешность от вариации нормирована и не должна превышать предельно допустимое значение для соответствующего класса точности, то изменение упругих свойств чувствительного элемента может привести к увеличению погрешности измерений и метрологическому отказу манометра, который будет выявлен только при очередной поверке прибора. Невысокая метрологическая надежность может быть обусловлена влиянием условий эксплуатации на свойства измерительного механизма, поскольку даже при относительно небольшом превышении рабочего давления над ВПИ может произойти необратимая пластическая деформация чувствительного элемента или выход из строя передаточного механизма.

Для исследования влияния уровня превышения давления на метрологическую надежность манометров был проведен полный факторный эксперимент (ПФЭ) [3], в качестве объекта которого выступили новые исправные манометры нижнего ценового сегмента наиболее распространенных в России производителей – «WIKА» (Германия), «Росма» (Россия) и «Метер» (Россия). Их основные характеристики представлены в табл. 1. В качестве референтной группы рассмотрены манометры среднего ценового сегмента МПЗ-У (Россия). Погрешность всех манометров была предварительно исследована по 5 контрольным точкам и не превышала 0,1 bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Па).

Таблица 1

Характеристики исследованных манометров

Изготовитель	Модель	Класс точности	Диапазон, bar	Примерная цена, руб.*
WIKА	111.10	2,5	16	450
Росма	ТМ-110	2,5	16	300
Метер	ДМ 02	2,5	16	250
МПЗ	МПЗ-У	1,5	16	360

Примечание: \* - по состоянию на 01.01.2016 г.

Согласно ГОСТ 2405-88 манометры с ВПИ до 10 МПа должны выдерживать перегрузку избыточным давлением в 25% над ВПИ в течение 15 минут и после выдержки без давления не менее 1 часа соответствовать указанному классу точности. Однако более длительное воздействие избыточного давления может привести к метрологическому отказу манометра.

В качестве воздействующих факторов в ПФЭ использовались уровни давления (18, 19 и 20 bar) и время воздействия (15, 30, 45, 60 минут). Каждый манометр подвергался определенному сочетанию уровня давления и длительности воздействия, и, таким образом, для реализации всех возможных комбинаций по условиям ПФЭ было исследовано по 12 манометров каждой марки. После воздействия повышенного давления манометры выдерживали в течение 1 часа без подачи давления для релаксации упругого элемента, после чего производили повторное исследование погрешности. На рис. 2 приведены зависимости максимальной погрешности манометров от превышения давления над ВПИ при разной длительности воздействия (предельная допустимая погрешность исследуемых манометров равна 0,4 bar). Шкала всех рассмотренных манометров проградуирована в bar и перегрузка в 25% соответствует уровню давления 20 bar.

Как видно на рис. 2, при превышении давления над ВПИ на 3...4 bar течение 45 минут и более произошел метрологический отказ манометров «Росма» и «Метер». Погрешность манометров «WIKА» также заметно увеличилась, однако не превысила предельно допустимое значение для соответствующего класса точности.

При проведении аналогичного эксперимента с манометрами референтной группы случаев метрологического отказа выявлено не было (рис. 3). Стоит отметить, что предельная допустимая погрешность в этом случае равна 0,24 bar из-за более высокого класса точности манометров МПЗ-У.

Поскольку все исследованные манометры имеют аналогичную конструкцию, но различаются материалами чувствительного элемента и передаточного механизма (табл. 2), ре-

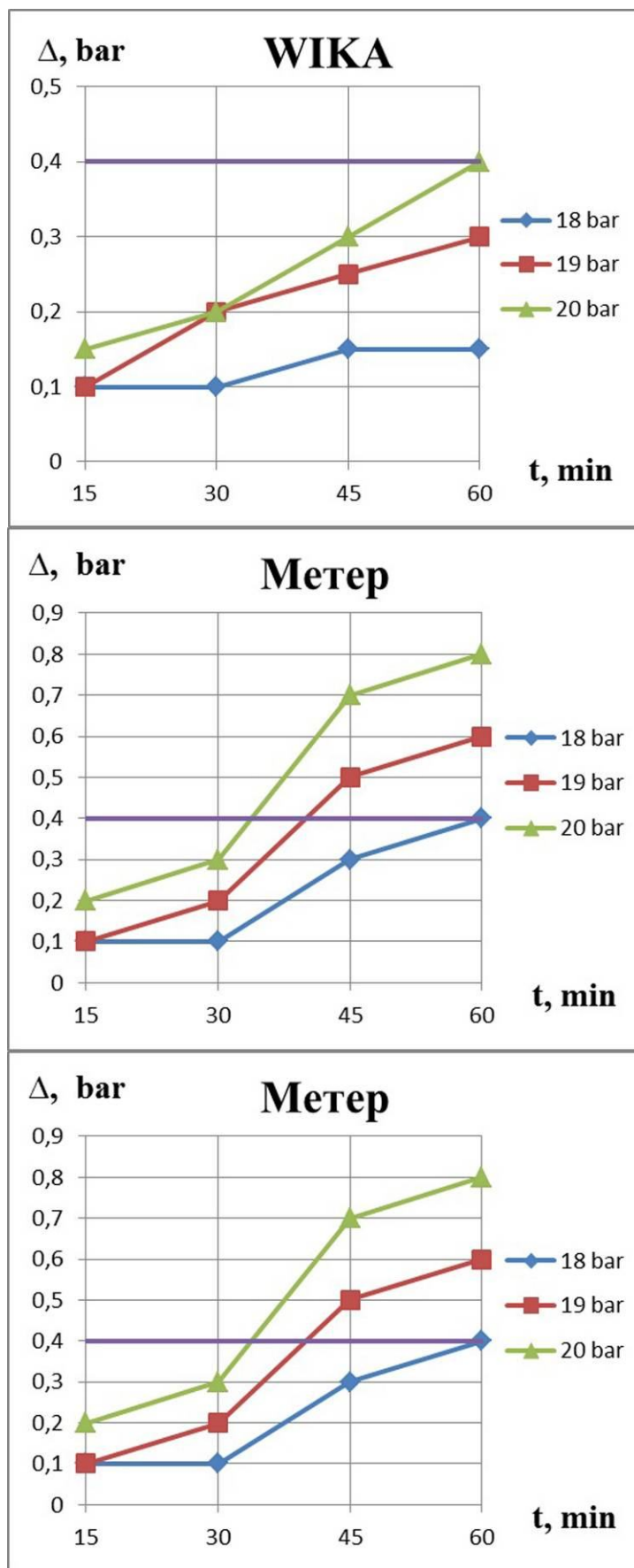


Рис. 2. Зависимость максимальной погрешности манометров от превышения уровня давления над ВПИ при разной длительности воздействия

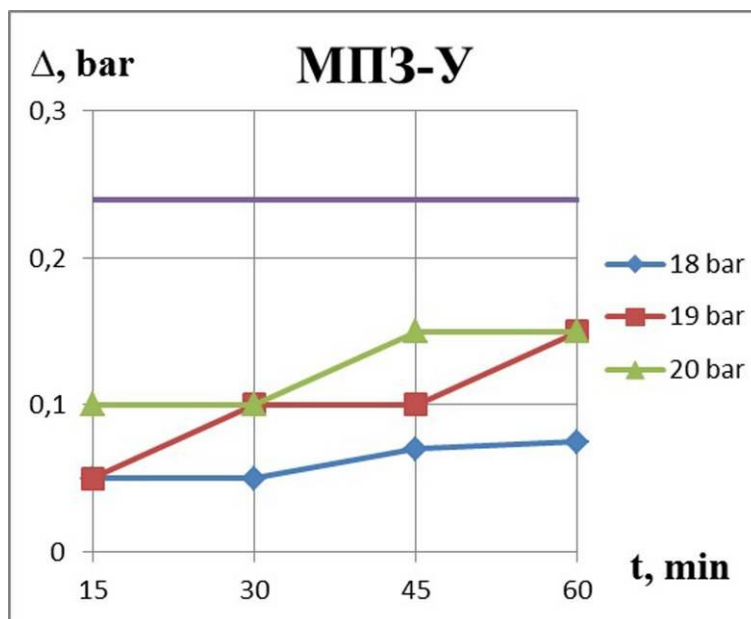


Рис. 3. Зависимость погрешности от превышения давления разной длительности для манометров референтной группы

Таблица 2

Материалы измерительного механизма манометров

Модель	WKA 111.10	Росма ТМ-110	Метер ДМ 02	МПЗ-У
Материал чувствительного элемента	Латунь никелевая, ЛН65-5	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Бронза, БРОФ4-0,25
Материал передаточного механизма	Латунь никелевая, ЛН65-5	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Латунь никелевая, ЛН65-5; Бронза, БРОФ4-0,25; Сталь, 10

зультаты эксперимента могут свидетельствовать о невысоком качестве материалов измерительного механизма манометров нижней ценовой категории.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1) современные рабочие манометры нижнего ценового сегмента имеют невысокую метрологическую надежность;

2) превышение уровня рабочего давления над ВПИ на 3 бар в течение 45 минут и более может привести к метрологическому отказу манометров рассмотренных типов из-за невысоких механических свойств материалов измерительного механизма;

3) для повышения метрологической надежности манометров необходимо применять устройства защиты от перегрузок.

Для снижения частоты метрологических отказов манометров рассмотренных типов можно рекомендовать применение устройств защиты от перегрузок. Наиболее распространенными способами защиты от перегрузок и скачков давления является применение предохранительных клапанов, а также специальных демпферных устройств [2]. Если же нет необходимости непрерывного контроля величины давления, то возможно подключение манометра с помощью кнопочного крана. Такие краны подают давление на вход манометра только в момент нажатия на кнопку, что позволяет обеспечить защиту от скачков и пульсаций давления, контролировать нулевые показания и упрощают замену манометров.

### Список литературы

1. Карцев, Е.А. Физические основы преобразования неэлектрических величин в электрические / Е.А. Карцев. - М.: МИЭМ, 2005. - 160 с.
2. Мулев, Ю.В. Манометры. Производственно-практическое издание / Ю.В. Мулев. – М.: МЭИ, 2003. - 280 с.
3. Юрин, А.И. Оптимизация метрологических характеристик индуктивных измерительных преобразователей / А.И. Юрин, Е.А. Карцев, А.Ю. Неборский // Приборы. - 2013. - №10. - С. 5-8.

### Об авторах

Юрин Александр Игоревич - к.т.н., доцент, доцент департамента электронной инженерии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», [ayurin@hse.ru](mailto:ayurin@hse.ru).

Нефедов Антон Павлович - студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», [pirat319@gmail.com](mailto:pirat319@gmail.com).

## INVESTIGATION OF THE METROLOGICAL RELIABILITY OF MANOMETERS

Yurin A.I., Nefedov A.P.

National Research University "Higher School of Economics"

The advantages and disadvantages of manometers with a resilient sensing element. A complete factorial experiment to determine the dependence of the metrological reliability of manometers. To investigate the effect of the level and duration of measured pressure overload full factorial experiment was performed. As the objects of experiment were new faultless manometers of the lower price segment of the most popular producers in Russia - «WIKA» (Germany), "Rosma" (Russia) and "Meter" (Russia). Since all investigated manometers have a similar structure, but different materials and sensor gear, the experimental results may indicate a low quality of measuring system materials, used for the lower price category manometers. The methods of manometers protection against overloads.

**Keywords:** *manometer, metrological reliability, measurement errors.*

### References

1. Kartsev E.A. *Fizicheskie osnovy preobrazovaniya neelektricheskikh velichin v elektricheskie*. Moscow, MIEM, 2005. 160 p.
2. Mulev Yu.V. *Manometry* [Manometers]. Moscow, MEI, 2003. 280 p.
3. Yurin A.I., Kartsev E.A., Neborsky A.Yu. *Optimizatsiya metrologicheskikh kharakteristik induktivnykh izmeritelnykh preobrazovateley* [Optimization of metrological characteristics of inductive measuring transducers]. *Pribory*, 2013, No 10, pp. 5-8.

### Authors' information

Alexander I. Yurin - Candidate of Technical Sciences, docent, associate professor at National Research University "Higher School of Economics", [ayurin@hse.ru](mailto:ayurin@hse.ru).

Anton P. Nefedov – student at National Research University "Higher School of Economics", [pirat319@gmail.com](mailto:pirat319@gmail.com).



УДК 004.725.7

## ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ПРИ ГРОВОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Лозбинев Ф.Ю., Собенков К.Р., Пономарева А.В.

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

Представлен вариант методики расчетной оценки коэффициента оперативной готовности Западной магистрали корпоративной сети связи органов власти Брянской области. Рассмотрен вариант классификации дестабилизирующих факторов в корпоративных сетях связи. Приведены статистические данные о грозовых воздействиях на Западную магистраль сети. Выполнена расчетная оценка структурной живучести магистрали при статистической и случайной вероятности грозовых воздействий.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, живучесть, дестабилизирующие факторы, грозовые воздействия, вероятность воздействий, статистические показатели, случайная выборка, коэффициент оперативной готовности.

Настоящая работа представляет собой продолжение исследований реального объекта – мультисервисной корпоративной сети связи (МКСС) органов государственного и муниципального управления на территории Брянской области и посвящена оценке воздействия внешних дестабилизирующих факторов (ДФ) на показатели надёжности её функционирования. Подробная информация о создании, эволюции сети и развитии методики расчетной оценки показателей её надёжности приведена в работах [1-3].

Исследования воздействия внешних дестабилизирующих факторов выполнены на примере Западной магистрали (рис. 1), которая является наиболее сложным компонентом сети и включает 104 объекта: 68 радиоэлектронных средств (РЭС), 36 коммутаторов, 16 оконечных точек и 18 узлов ретрансляции. Расстояние от центра сети до самых удалённых оконечных точек составляет более 230 км.

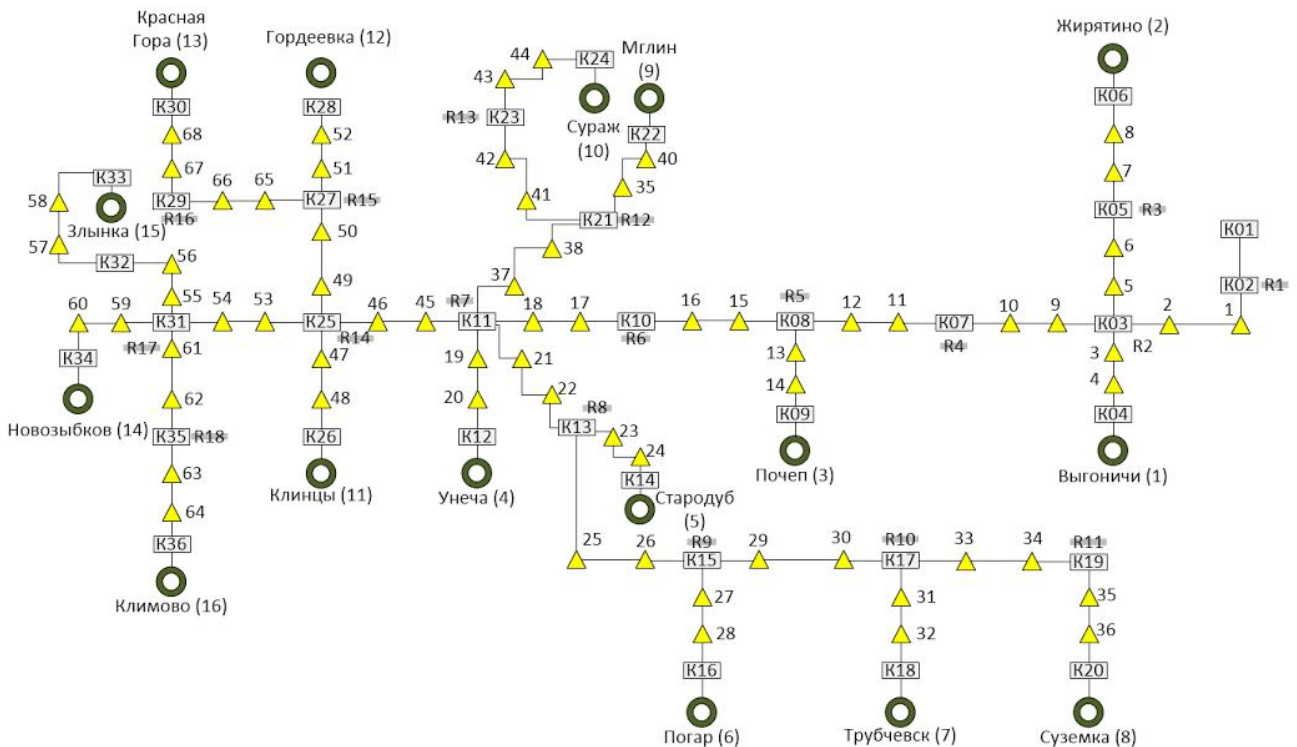


Рис. 1. Топологическая схема Западной магистрали корпоративной сети (R1 ... R18 – узлы ретрансляции)

В работе проф. А.Н.Назарова [4] для проведения обобщенной оценки надежности оборудования связи в комплексе и оценки надежности направлений (соединений) сети связи применяется коэффициент готовности  $K_z$ , определяемый показателями  $T_o$  и  $T_e$  :

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

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).

В качестве показателя структурной живучести (различают объектовую и структурную живучесть) канала связи применяется коэффициент оперативной готовности, определяемый по формуле [4]:

$$K_{oz} = P(T) K_z, \quad (2)$$

где  $P(T)$  – вероятность сохранения работоспособности канала связи при внешнем воздействии.

Последствия воздействия внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи характеризуются низким, средним и высоким уровнем ущерба, наносимым сети связи внешним воздействием [4]. Низкий уровень ущерба при воздействии внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи характеризуется выходом из строя 10% элементов сети, средний – 30% и высокий уровень ущерба – 50% элементов сети.

В [5] предложен вариант классификации дестабилизирующих факторов (рис. 2), воздействующих на МКСС.

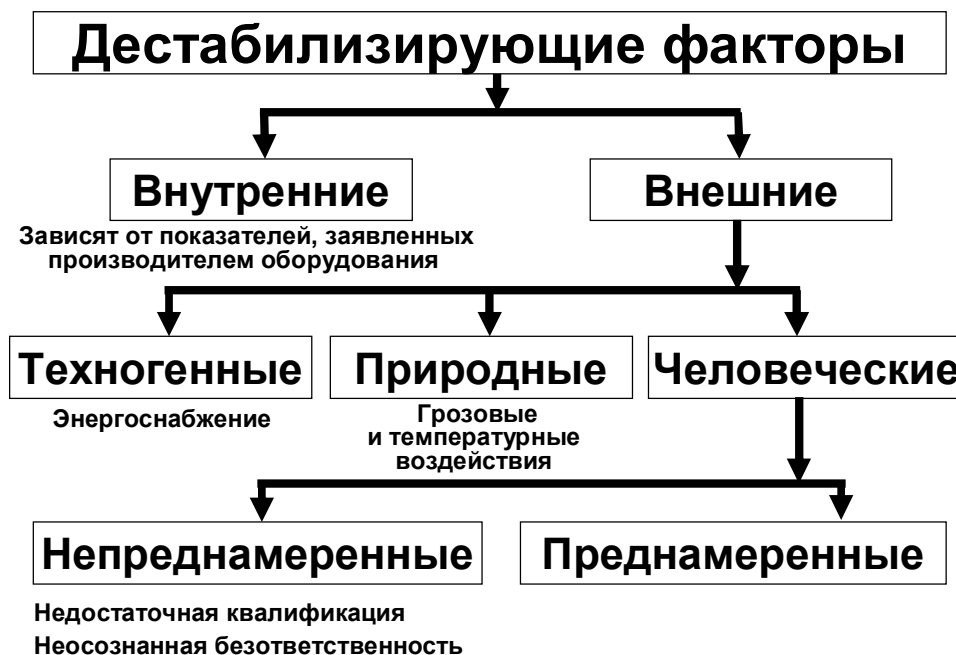


Рис. 2. Дестабилизирующие факторы, воздействующие на сеть

Разделение ДФ на внутренние и внешние дает возможность представить показатель «устойчивость связи» как совокупность свойств надежности и живучести. При этом надежность определяется свойством сети сохранять работоспособность при воздействии внутренних ДФ, а живучесть – свойством сети сохранять работоспособность при воздействии внешних ДФ (как непреднамеренных, так и преднамеренных), задаваемых в виде модели воздействия [4].

Внутренние ДФ определяются характеристиками, обеспеченными и заявленными производителем оборудования. В числе внешних ДФ выделяются техногенные, природные и человеческие (непреднамеренные и преднамеренные) [5]. Техногенные ДФ на территории Брянской области обусловлены, в первую очередь, особенностями обеспечения электроэнергией районных центров и мест расположения объектов ретрансляции (в том числе, высотных

объектов операторов мобильной связи). К ДФ природного характера, которые можно прогнозировать как на основе логико-вероятностного подхода, так и с использованием нейро-нечёткого подхода, относятся грозовые и температурные воздействия.

Полное устранение всех ДФ принципиально невозможно. Задача состоит в выявлении факторов, от которых они зависят, в создании методов и средств уменьшения их влияния на безопасность сети, а также в эффективном распределении ресурсов для обеспечения защиты, равнопрочной по отношению ко всем негативным воздействиям [4].

В настоящей работе в качестве внешних ДФ, влияющих на надежность функционирования сети, рассматриваются только грозовые воздействия.

Гроза может оказать значительное разрушительное воздействие на телекоммуникационную сеть. Средняя гроза занимает приблизительно 10 км в ширину и перемещается со скоростью приблизительно 40 км в час [6]. Область наибольшей опасности – зона до 16 км перед передним краем грозового облака. Наиболее опасными являются воздействия, возникающие при прямом ударе молнии в объект связи (как правило, в антенно-мачтовые сооружения). Возникающий при этом бросок потенциала земли может достигать нескольких сотен тысяч вольт. На объекте связи, где не выполнен комплекс мер по защите от перенапряжений, при таком ударе молнии происходит массовый выход из строя оборудования. Часто повреждаются также воздушные линии связи и кабели, проложенные в грунте, особенно с высоким удельным сопротивлением.

Статистические данные по грозовым воздействиям на объекты Западной магистрали сети в течение 2014-2015 годов [7] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические данные по грозам в оконечных точках Западной магистрали в 2014-2015 годах

Оконечная точка	Продолжительность гроз, ч			Расчетное количество часов	
	2014 г.	2015 г.	Средняя	РЭС	ВОЛС+РЭС
1. Выгоничи	20	4	12	12	12
2. Жирятино	20	4	12	12	12
3. Почеп	16	16	16	16	16
4. Унеча	14	10	12	16	12
5. Стародуб	14	10	12	16	12
6. Погар	14	12	13	16	13
7. Трубчевск	14	10	12	16	12
8. Суземка	14	10	12	16	12
9. Мглин	14	8	11	16	11
10. Сураж	14	12	13	16	13
11. Клинцы	14	12	13	16	13
12. Гордеевка	16	14	15	16	15
13. Красная Гора	16	12	14	16	14
14. Новозыбков	16	12	14	16	14
15. Злынка	32	16	24	24	24
16. Климово	48	10	29	29	29

В случае использования технологической схемы, построенной только на РЭС, расчетное количество часов грозовых воздействий для оконечной точки принято (с учетом топологии магистрали) как максимальное из всех участков сети до рассматриваемой оконечной точки [4]. Также (с учетом [6]), принято предположение, что грозовые воздействия на сеть в промежуточных опорных точках сети не превышают уровня таких воздействий в оконечных точках.

При использовании технологической схемы, построенной на ВОЛС в сочетании с РЭС, для каждой оконечной точки принято реальное среднестатистическое количество часов грозовых воздействий.

Однако известно, что не каждое воздействие грозы может привести к повреждению оборудования. Расчетные величины вероятности повреждаемости  $P_n$  при различном прогнозируемом проценте повреждений от грозовых воздействий для технологической схемы, построенной на ВОЛС в сочетании с РЭС на последней миле, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вероятность повреждаемости  $P_n$  оборудования от грозовых воздействий (ВОЛС в сочетании с РЭС DreamStation 5n-24D на последней миле)

Оконечная точка	Вероятность повреждаемости $P_n$ для процента повреждений от грозовых воздействий					
	10	15	20	30	50	100
1. Выгоничи	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
2. Жирятино	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
3. Почеп	0,00044	0,00067	0,00089	0,00133	0,00222	0,00444
4. Унеча	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
5. Стародуб	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
6. Погар	0,00036	0,00054	0,00072	0,00108	0,00181	0,00361
7. Трубчевск	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
8. Суземка	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
9. Мглин	0,00031	0,00046	0,00061	0,00092	0,00153	0,00306
10. Сураж	0,00036	0,00054	0,00072	0,00108	0,00181	0,00361
11. Клинцы	0,00036	0,00054	0,00072	0,00108	0,00181	0,00361
12. Гордеевка	0,00042	0,00063	0,00083	0,00125	0,00208	0,00417
13. Красная Гора	0,00039	0,00058	0,00078	0,00117	0,00194	0,00389
14. Новозыбков	0,00039	0,00058	0,00078	0,00117	0,00194	0,00389
15. Злынка	0,00067	0,00100	0,00133	0,00200	0,00333	0,00667
16. Климово	0,00081	0,00121	0,00161	0,00242	0,00403	0,00806

Величина  $P_n$  определялась как отношение продолжительности гроз (в часах) в оконечной точке магистрали к времени грозоопасного периода (3600 часов; 5 месяцев с мая по сентябрь включительно).

С использованием методики, предложенной в работах [1-3], для Западной магистрали сети (при варианте технологической схемы с использованием ВОЛС в сочетании с РЭС DreamStation 5n-24D на последней миле) выполнены расчеты коэффициентов оперативной готовности  $K_{oz}$  конечных точек и магистрали в целом.

Для расчета использована следующая формула

$$K_{oz} = K_z \cdot (1 - P_n), \quad (3)$$

где  $P_n$  – вероятность повреждаемости оборудования от грозовых воздействий (табл. 2);  $K_z$  – коэффициент готовности оконечной точки.

При выполнении расчетов рассматривались следующие вероятности повреждаемости оборудования в результате грозовых воздействий: 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50%, 100%.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Диаграмма изменения коэффициента оперативной готовности Западной магистрали при среднестатистической вероятности грозовых воздействий представлена на рис. 3.

Известно, что грозовые воздействия на сеть могут произойти без какой бы то ни было статистической закономерности. Поэтому в работе также выполнен расчет коэффициентов оперативной готовности конечных точек магистрали при случайной выборке вероятности грозовых воздействий (принцип Монте-Карло). Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Диаграмма изменения коэффициента оперативной готовности Западной магистрали при случайной выборке вероятности грозовых воздействий (по принципу Монте-Карло) представлена на рис. 4.

Таблица 3

Коэффициенты оперативной готовности  $K_{ог}$  конечных точек Западной магистрали при среднестатистической вероятности грозových воздействий

Оконечная точка	Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ для процента повреждений от грозových воздействий						
	0	10	15	20	30	50	100
1. Выгоничи	0,99982	0,99949	0,99932	0,99915	0,99882	0,99815	0,99649
2. Жирятино	0,99784	0,99751	0,99734	0,99717	0,99684	0,99617	0,99451
3. Почеп	0,99980	0,99935	0,99913	0,99891	0,99846	0,99757	0,99535
4. Унеча	0,99975	0,99941	0,99925	0,99908	0,99875	0,99808	0,99641
5. Стародуб	0,99972	0,99939	0,99922	0,99905	0,99872	0,99805	0,99639
6. Погар	0,99970	0,99933	0,99915	0,99897	0,99861	0,99789	0,99609
7. Трубчевск	0,99967	0,99934	0,99917	0,99900	0,99867	0,99800	0,99634
8. Суземка	0,99193	0,99160	0,99143	0,99127	0,99094	0,99027	0,98862
9. Мглин	0,99443	0,99413	0,99397	0,99382	0,99352	0,99291	0,99139
10. Сураж	0,99162	0,99126	0,99108	0,99090	0,99054	0,98983	0,98804
11. Клинцы	0,99972	0,99936	0,99918	0,99900	0,99864	0,99791	0,99611
12. Гордеевка	0,99526	0,99484	0,99463	0,99443	0,99401	0,99318	0,99111
13. Красная Гора	0,99256	0,99218	0,99199	0,99179	0,99141	0,99063	0,98870
14. Новозыбков	0,99970	0,99931	0,99911	0,99892	0,99853	0,99775	0,99581
15. Злынка	0,99967	0,99900	0,99867	0,99834	0,99767	0,99634	0,99301
16. Климово	0,99967	0,99886	0,99846	0,99806	0,99725	0,99564	0,99162
Западная магистраль	0,99755	0,99715	0,99694	0,99674	0,99634	0,99553	0,99350

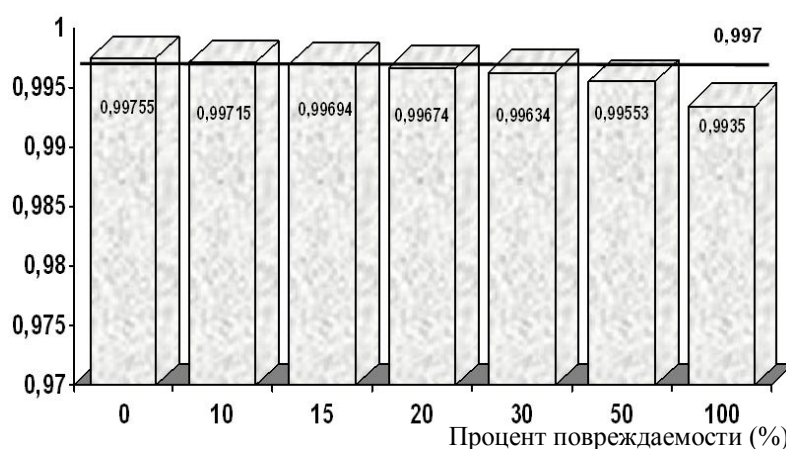


Рис. 3. Коэффициент оперативной готовности Западной магистрали при среднестатистической вероятности грозových воздействий

Таблица 4

Коэффициенты оперативной готовности  $K_{ог}$  конечных точек Западной магистрали при случайной выборке вероятности грозových воздействий

Оконечная точка	Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ для процента повреждений от грозových воздействий						
	0	10	15	20	30	50	100
1. Выгоничи	0,99982	0,99926	0,99899	0,99871	0,99815	0,99704	0,99427
2. Жирятино	0,99784	0,99739	0,99717	0,99695	0,99651	0,99562	0,99340
3. Почеп	0,99980	0,99924	0,99896	0,99868	0,99813	0,99702	0,99424
4. Унеча	0,99975	0,99886	0,99841	0,99797	0,99708	0,99530	0,99086
5. Стародуб	0,99972	0,99839	0,99772	0,99705	0,99572	0,99306	0,98639

Окончание табл. 4

Оконечная точка	Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ для процента повреждений от грозовых воздействий						
	0	10	15	20	30	50	100
6. Погар	0,99970	0,99931	0,99911	0,99892	0,99853	0,99775	0,99581
7. Трубчевск	0,99967	0,99923	0,99900	0,99878	0,99834	0,99745	0,99523
8. Суземка	0,99193	0,99154	0,99135	0,99116	0,99077	0,99000	0,98807
9. Мглин	0,99443	0,99399	0,99377	0,99355	0,99310	0,99222	0,99001
10. Сураж	0,99162	0,99123	0,99104	0,99085	0,99046	0,98969	0,98776
11. Клинцы	0,99972	0,99928	0,99905	0,99883	0,99839	0,99750	0,99528
12. Гордеевка	0,99526	0,99487	0,99468	0,99448	0,99409	0,99332	0,99139
13. Красная Гора	0,99256	0,99218	0,99199	0,99179	0,99141	0,99063	0,98870
14. Новозыбков	0,99970	0,99931	0,99911	0,99892	0,99853	0,99775	0,99581
15. Злынка	0,99967	0,99928	0,99909	0,99889	0,99850	0,99773	0,99578
16. Климово	0,99967	0,99928	0,99909	0,99889	0,99850	0,99773	0,99578
Западная магистраль	0,99755	0,99704	0,99678	0,99653	0,99601	0,99499	0,99242



Рис. 4. Коэффициент оперативной готовности Западной магистрали при случайной выборке вероятности грозовых воздействий

Анализ результатов, представленных в табл. 3-4 и на диаграммах (рис. 3-4), позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Разработанная методика позволяет осуществлять оценку живучести корпоративной сети связи при грозовых воздействиях.

2. При грозовых воздействиях в рассмотренной магистрали сети можно считать, что требования соответствия коэффициента оперативной готовности для существующих сетей связи нормативному (0,997) перестают выполняться при предполагаемых 15...20% повреждений от указанных воздействий.

3. При предполагаемых 100% повреждениях на магистрали требования соответствия нормативному коэффициенту готовности (0,997) не выполняются.

4. Даже при предполагаемых 10% повреждениях требования к коэффициенту оперативной готовности для сетей связи следующего поколения (0,9994) также не выполняются.

5. Показатели живучести магистрали телекоммуникационной сети связи не являются стабильной величиной, а динамически изменяются в зависимости от сезонного характера воздействия дестабилизирующих факторов.

6. Случайный характер вероятности грозовых воздействий на магистраль сети в рамках рассмотренной территории не оказывает существенного влияния на качественную картину распределения расчетного коэффициента оперативной готовности исследуемой магистрали сети.

7. Грозовые воздействия на сеть в 2014-2015 годах можно считать не очень чувствительными. Необходимо выполнить исследования с большей глубиной статистического ряда.

8. В качестве перспективных задач дальнейшего исследования живучести рассмотренной магистрали сети следует обозначить следующие:

- вероятность повреждаемости оборудования (вопросы объектной живучести) следует рассмотреть как функцию, зависящую от высоты подвеса оборудования над землёй и от частоты грозových воздействий на промежуточные опорные точки сети с учетом их реальной статистики в этих промежуточных точках;

- прогнозную оценку грозových воздействий на сеть целесообразно рассмотреть также в рамках нейро-нечеткого подхода;

- помимо грозových воздействий необходимо также рассмотреть влияние на сеть температурных, техногенных и человеческих ДФ.

### **Список литературы**

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

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

3. Лозбинеv, Ф.Ю. Расчетная оценка элементной и структурной надёжности корпоративной телекоммуникационной сети на территории Брянской области / Ф.Ю. Лозбинеv, А.А. Гамов, Е.В. Колесник // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2016. - № 1. - С.66-73. <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2016/>.

4. 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.

5. Лозбинеv, Ф.Ю. Особенности эксплуатации корпоративных телекоммуникационных сетей органов власти в Брянской области / Ф.Ю. Лозбинеv, Е.В. Колесник, К.М. Блиновский // Сб. статей и материалов IX Международной науч.-практ. конф. «Традиции и инновации в государственном и муниципальном управлении: вузовское измерение». - Брянск: Брянский филиал РАНХиГС, 2015. - Т.2. - С.61-66.

6. Химич, П. Принципы комплексной грозозащиты электронного оборудования / Петр Химич // Электрик: Международный электротехнический журнал. - 2011. - № 7/8. - С. 52-60.

7. Сайт GISMETEO Прогноз погоды [электронный ресурс]. - Режим доступа: [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru), свободный.

### **Сведения об авторах**

Лозбинеv 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](mailto:flozbinev@yandex.ru).

Собенков Константин Романович - бакалавр направления подготовки «Прикладная информатика», Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», [sobenkov95@yandex.ru](mailto:sobenkov95@yandex.ru).

Пономарева Александра Васильевна - студент направления подготовки «Прикладная информатика», Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», [shura\\_ponomareva@bk.ru](mailto:shura_ponomareva@bk.ru).

## ESTIMATION OF VITALITY OF CORPORATIVE TELECOMMUNICATIONS UNDER THUNDERSTORM INFLUENCE

Lozbinev F.Yu., Sobenkov K.R., Ponomareva A.V.

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

The variant of the methods of the accounting estimation of the factor to operative readiness of West pathway of corporative telecommunications of organ of power of Bryansk region is presented. The variant of categorizations of destructor factor in corporative telecommunications is considered. The statistical given about thunderstorm influence on West pathway of the network are brought. Accounting estimation of structured vitality of pathways at statistical and casual probability thunderstorm influence is executed.

**Key words:** telecommunication network, vitality, destructor factors, thunderstorm influences, probability influence, statistical factors, casual sample, factor of operative readiness.

### 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. 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.

3. Lozbinev F.Yu., Gamov A.A., Kolesnik E.V. The accounting estimation of element and structured reliability of corporative telecommunication network on territory of Bryansk region. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 66-73.

4. 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 ООО «Polikom», 2010. 389 p.

5. Lozbinev F.Yu., Kolesnik E.V., Blindovsky K.M. Particularities of usages of the corporative telecommunication networks of government organs in Bryansk region. *Sbornik statey i materialov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Traditsii i innovatsii v gosudarstvennom i munitsipalnom upravlenii: vuzovskoe izmerenie"* [Collection articles and materials of IX International scientifically-practical conference «Traditions and innovations of state and municipal management: high school measurement»]. The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, 2015, Part 2, pp. 61-66.

6. Himich, P. Principles of complex protection of electronic equipment from thunderstorm. *Electrical engineer: International electrical engineering journal*, 2011, No.7/8, pp. 52-60.

7. GISMETEO Weather forecast [electronic resource]. – Available^ [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru), free/.

### 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](mailto:flozbinev@yandex.ru).

Konstantin R. Sobenkov - Bachelor of directions of preparation «Applied informatics» at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, [sobenkov95@yandex.ru](mailto:sobenkov95@yandex.ru).

Alexandra V. Ponomareva - Student of directions of preparation «Applied informatics» at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, [shura\\_ponomareva@bk.ru](mailto:shura_ponomareva@bk.ru).



УДК: 004.89: 004.9

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОПРОСОВ ПРИ ОЦЕНКЕ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

Филичева Т.А.

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

В статье предложен метод мониторинга качества профессиональной подготовки, позволяющий оценить степень удовлетворенности качеством профессиональной подготовки на основе экспертных опросов и использования лингвистических переменных. Описывается реализация метода оценки удовлетворенности качеством профессиональной подготовки в рамках информационно-аналитической системы мониторинга качества как подсистемы общей информационной системы образовательного учреждения.

*Ключевые слова:* профессиональное образование, информационно-аналитическая система, лингвистическая переменная, функция принадлежности, удовлетворенность качеством, информационное обеспечение, мониторинг, образовательная система

Проблема мониторинга качества и эффективности отечественной системы образования остается актуальной, прежде всего, по причине сложности данной социальной системы. Состояние качества образования определяется не только непосредственными результатами учебной деятельности, но и результатами воздействий со стороны внешней среды (прежде всего, со стороны изменяющегося рынка труда) [1, 2]. Можно считать, что в этих условиях действенная система мониторинга качества и эффективности образовательных услуг практически отсутствует. Между тем именно развитие информационно-аналитического обеспечения мониторинга качества образования призвано обеспечить гибкость и эффективность управления образовательным учреждением, оперативность реагирования на вызовы современного рынка как со стороны работодателей, так и со стороны потребителей образовательных услуг (общества, государства).

Качество образовательных услуг определяется не только внутренними показателями (результатами учебной деятельности, которые в известной степени единообразны для всей системы высшего образования), но и внешними воздействиями (со стороны изменяющегося рынка труда, запросов потребителей, особенностей соответствующей отрасли) [1, 3]. Внешние субъективные показатели (удовлетворенность различных групп потребителей качеством предоставляемых образовательных услуг) позволяют учесть опыт людей, оценить степень удовлетворенности, выяснить причины сложившейся ситуации. Таким образом, эти субъективные показатели представляются важными для понимания мнений работодателей, выпускников, потенциальных абитуриентов в отношении качества образовательных услуг.

Анализ работ по исследованию образовательных систем [2-5] приводит к выводу, что все большее количество авторов склоняется к необходимости применения в данной области методов теории нечетких множеств с возможностью осуществления перехода от классических вероятностных моделей и экспертных оценок к нечетко-множественным описаниям. Удовлетворенность качеством образовательных услуг выпускников и работодателей может быть измерена только нечетко в виде понятий естественного языка (через анкетные опросы выпускников по удовлетворенности качеством образовательных услуг, анкетные опросы работодателей по удовлетворенности качеством подготовки выпускников, анкетные опросы сотрудников и профессорско-преподавательского состава по удовлетворенности качеством образовательных услуг).

Кроме того, следует учитывать, что какими бы совершенными ни были мониторинговые процедуры, они не дают прямой информации и несут в себе долю субъективизма, отражающего личное мнение экспертов, а также оценку влияния внешних факторов. Несмотря на то, что эксперт осознает неоднородность условий наблюдений (меняющиеся внешние воздействия: рынок труда, требования, запросы потребителей), все же, оценивая достаточное количество наблюдений, он делает выводы о типичности тех или иных показателей или су-

ществленных отклонений. Таким образом, эксперт классифицирует свои наблюдения нечетким, лингвистическим способом.

Целью описываемого в данной статье исследования является разработка подсистемы оценки удовлетворенности качеством образовательных услуг на основе экспертных опросов и использования лингвистических переменных.

При разработке модели оценки удовлетворенности качеством образовательных услуг определены *субъекты удовлетворенности* (рис. 1), классифицированные по двум укрупненным группам (потребители, сотрудники) с последующей детализацией. При детализации осуществляется дальнейшая классификация по виду потребностей (внутренние и внешние) и ожиданий (для потребителей), по типу или характеру выполняемой работы (для сотрудников).



Рис. 1. Классификация субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг

Группа потребителей подразделяется в зависимости от интересов и методов, применяемых при измерении удовлетворенности, на *внутренних потребителей* (студенты, слушатели, выпускники, аспиранты, докторанты, соискатели) и *внешних потребителей* (родители, абитуриенты, работодатели, учебные заведения, выступающие в роли партнеров совместной деятельности и потенциальных поставщиков абитуриентов) [2, 5].

В целях получения наиболее полной информации о степени удовлетворенности качеством образовательных услуг при индивидуальном методе применяется заочный способ опроса экспертов (субъектов удовлетворенности качеством). Суть метода экспертных оценок заключается в усреднении различными способами мнений респондентов (экспертов по рассматриваемым вопросам). Построение иерархической структурной схемы комплексных критериев удовлетворенности качеством образовательных услуг также выполняется с привлечением экспертов. Для определения и проведения экспертной оценки используются существующие методы в соответствии с ГОСТ 23554.1-79 [6].

Оценка удовлетворенности качеством образовательных услуг базируется на анализе информации, касающейся *всех* заинтересованных сторон образовательных услуг (внешних потребителей, внутренних потребителей, сотрудников), и выполняется с помощью глобального критерия  $K$ , вычисляемого по формуле:

$$K = \gamma^{внеш} K^{внеш} + \gamma^{внут} K^{внут} + \gamma^{comp} K^{comp},$$

где  $\gamma^{внеш}$ ,  $\gamma^{внут}$ ,  $\gamma^{сотр}$  - весовые коэффициенты важности соответствующих комплексных оценок, которые удовлетворяют условию  $\gamma^{внеш} + \gamma^{внут} + \gamma^{сотр} = 1$ ;  $K^{внеш}$ ,  $K^{внут}$ ,  $K^{сотр}$  - комплексные оценки степени удовлетворенности качеством образовательных услуг, формируемые субъектами удовлетворенности (соответственно, внешними потребителями, внутренними потребителями, сотрудниками) и вычисляемые с помощью комплексного иерархического критерия по формуле:

$$K^c = \sum_{k=1}^{k=n} \gamma_k^c K_k^c,$$

где  $K^c$  - индекс (значение) комплексного иерархического критерия удовлетворенности  $c$ -го субъекта удовлетворенности качеством;  $c = (\text{внеш}, \text{внут}, \text{сотр})$  – обозначение субъекта удовлетворенности качеством образовательных услуг (соответственно, внешних потребителей, внутренних потребителей, сотрудников);  $K_k^c$  – оценка (значение)  $k$ -го частного критерия на соответствующем уровне иерархии  $c$ -го субъекта удовлетворенности качеством;  $k = 1, 2, \dots, n$  – обозначение уровня иерархии комплексного критерия;  $n$  – число частных критериев на  $k$ -м уровне иерархии комплексного критерия;  $\gamma_k^c$  – весовой коэффициент, показывающий важность на  $k$ -м уровне иерархии комплексного критерия удовлетворенности для  $c$ -го субъекта удовлетворенности качеством образовательных услуг (сумма весовых коэффициентов на каждом уровне иерархии равна единице).

Для оценки удовлетворенности по критериям с учетом иерархии субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг (каждой отдельной категории потребителей и сотрудников) используется вербальная шкала, включающая в себя следующие значения:

- 6 – абсолютно удовлетворен;
- 5 – удовлетворен;
- 4 – скорее удовлетворен;
- 3 – частично удовлетворен и частично не удовлетворен;
- 2 – скорее не удовлетворен;
- 1 – не удовлетворен;
- 0 – абсолютно не удовлетворен.

Данные значения являются лингвистическими значениями лингвистической переменной «Удовлетворенность», то есть образуют ее терм-множество  $A(X)$ , представляющее множество названий лингвистических значений лингвистической переменной  $X$ , каждое из которых представляет собой нечёткую переменную со значениями из универсального множества  $U$  с базовой переменной  $u$ .

Для каждого нечёткого подмножества, характеризующего определенное лингвистическое значение лингвистической переменной, задается функция принадлежности. Функция принадлежности  $\mu_A(u)$  каждому значению базовой переменной  $u$  ставит в соответствие число из интервала  $[0, 1]$ , символизирующее совместимость этого значения с нечётким ограничением.

Как правило, в теории нечётких множеств применяется несколько видов функций принадлежности, которые в основном представляют собой частные случаи функций типа  $(L-R)$  [7-9]. Функции принадлежности нечетких множеств  $(L-R)$ -типа задаются с помощью невозрастающих на множестве неотрицательных действительных чисел функций действительной переменной  $L(u)$  и  $R(u)$ , удовлетворяющих свойствам:

- 1)  $L(-u) = L(u)$ ,  $R(-u) = R(u)$ ;
- 2)  $L(0) = R(0)$ .

В случае применения функции принадлежности  $(L-R)$ -типа общий вид функции принадлежности  $\mu_A(u)$  следующий:

$$\mu_A(u) = \begin{cases} L\left(\frac{a_1 - u}{a_L}\right) & \text{при } u \leq a_1, a_L > 0; \\ R\left(\frac{u - a_2}{a_R}\right) & \text{при } u \geq a_2, a_R > 0; \\ 1 & \text{при } u \in [a_1; a_2] / \end{cases}$$

Здесь  $[a_1, a_2]$  – интервал толерантности, где значение принадлежности равно 1, а точки  $a_L$  и  $a_R$  – соответственно левые и правые коэффициенты нечеткости; функция  $\mu_A(u)$  изменяется от нуля до единицы.

Значение лингвистической переменной, которое определяет степень удовлетворенности, представляет собой ограничение на значения базовой переменной  $u$  в универсальном множестве  $U$  ( $U = [0, 6]$ ). При этом базовая переменная  $u$  лингвистической переменной «Удовлетворенность» рассматривается как некоторая числовая переменная *удовлетворенность*, которая принимает значения 0, 1, 2, ..., 6, а множество  $U$  представляет собой базовую шкалу оценок, по которой производится измерение степени удовлетворенности.

Функции принадлежности термов лингвистической переменной «Удовлетворенность» в обобщенном виде можно представить следующим образом:

$$\mu_{\text{удовлетворен}}(u) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq u < a; \\ \frac{2(u-a)^2}{(1-a)^2}, & \text{если } a < u \leq \frac{a+1}{2}; \\ 1 - \frac{2(u-1)^2}{(1-a)^2}, & \text{если } \frac{a+1}{2} < u \leq a, \end{cases}$$

где  $a \in [0, 1]$  – параметр, определяющий носители нечетких множеств «удовлетворен» и «не удовлетворен». Для нечёткого множества «удовлетворен» носителем будет интервал  $(a, 1]$ , а для нечёткого множества «не удовлетворен» –  $[0, a)$ .

Вид функций принадлежности  $\mu$  для каждого нечёткого подмножества, характеризующего определенное значение лингвистической переменной, и значения параметров этой функции определяются экспертным методом.

Введение комплексных критериев для субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг и глобального критерия удовлетворенности для всех групп субъектов позволяет провести анализ удовлетворенности качеством подготовки, определить степень соответствия требованиям и ожиданиям субъектов с учетом различных категорий и групп, установить приоритетные направления для улучшения деятельности образовательного учреждения, а также планирование улучшений.

Схема взаимодействия методов и моделей мониторинга качества образовательных услуг (рис. 2) позволяет отобразить функциональную структуру объекта (то есть производимые действия и связи между этими действиями), источники и получателей данных, взаимодействие и связи групп, лиц и подразделений, задействованных в мониторинге качества образовательной деятельности.

Ядром информационного обеспечения информационно-аналитической системы мониторинга качества (ИАС МК) является совокупность взаимосвязанных хранилищ данных: *базы знаний*, содержащей набор продукционных правил по степени достижения целей в области качества, повышению удовлетворенности качеством образовательных услуг, а также когнитивную карту оценки рисков снижения качества, и *базы данных* справочников, сведений о студентах, сотрудниках, работодателях и прочих количественных показателей деятельности образовательного учреждения.

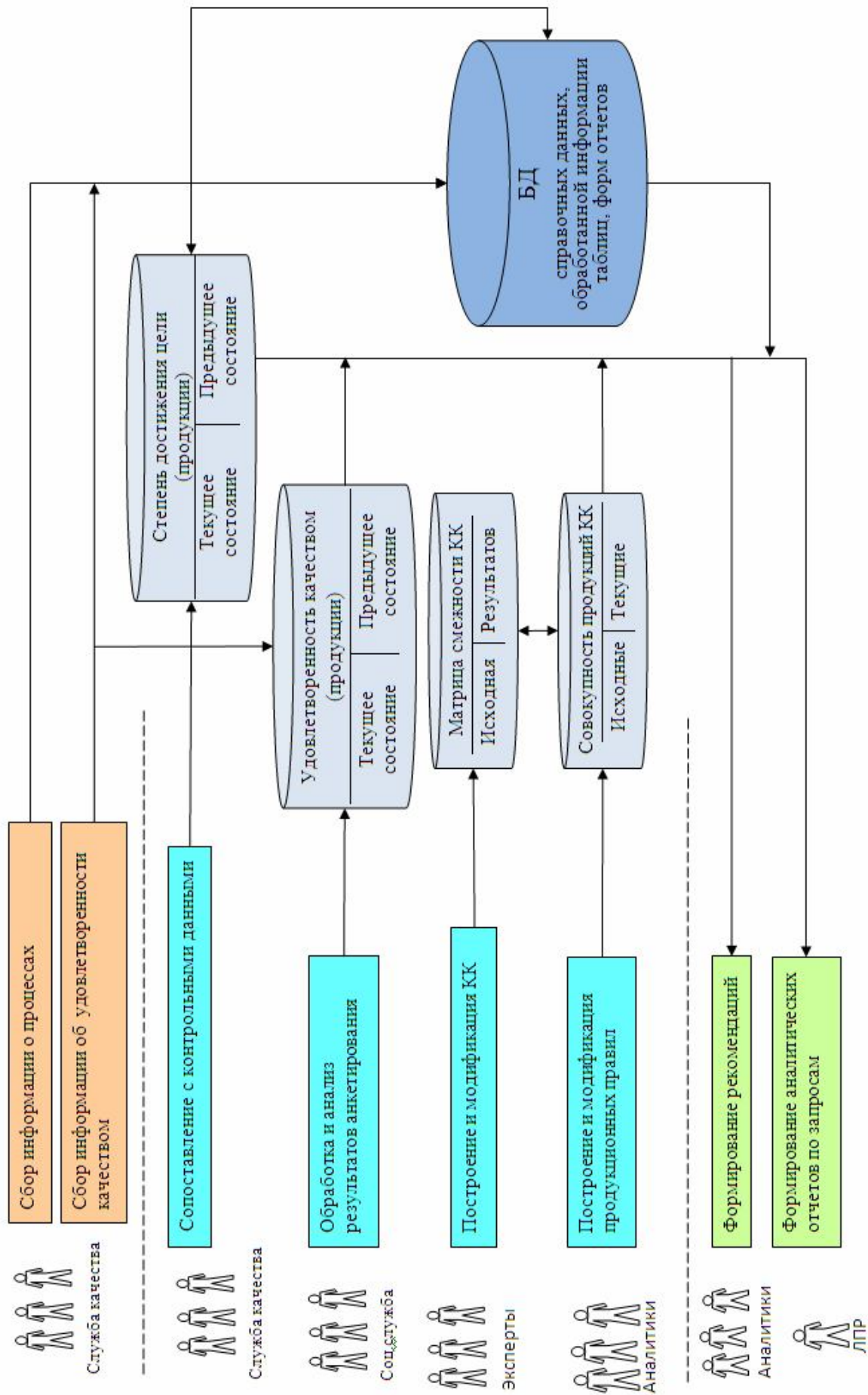


Рис. 2. Схема взаимодействия методов и моделей мониторинга качества образовательных услуг

Функционирование ИАС МК образовательных услуг определяется видами аналитической информации, которая требуется администрации для определения степени достижения поставленных целей и рисков снижения качества образовательных услуг, методами и моделями мониторинга, реализующими анализ качества образовательных услуг по соответствующим характеристикам, а также требованиями совместимости с информационной системой образовательного учреждения.

Реализация описанной модели выполнена в виде подсистемы оценки удовлетворенности качеством образовательных услуг входящей в ИАС МК. Подсистема выполняет проведение опросов посредством Web-сайта (рис. 3), обработку анкет, выработку рекомендаций, формирование отчетов, обеспечивает согласованные действия групп пользователей ИАС МК с целью определения степени удовлетворенности качеством предоставляемых образовательных услуг, позволяет проанализировать степень удовлетворенности качеством образовательной деятельности.

**Анкета для оценки удовлетворенности работодателей**

Уважаемые члены экспертной группы, оцените степень удовлетворенности работодателей (органы власти, администрации, службы занятости) по каждому из ниже приведенных критериев, используя следующую систему оценок: 6 – абсолютно удовлетворен; 5 – удовлетворен; 4 – скорее удовлетворен; 3 – частично удовлетворен и частично не удовлетворен; 2 – скорее не удовлетворен; 1 – не удовлетворен; 0 – абсолютно не удовлетворен

Наименование Вашей организации\*

№	Наименование критериев	Оценка
<b>1. Уровень подготовки специалистов в вузе</b>		
1.1	Подготовка специалистов по требуемым специальностям. вузом	4 - скорее удовлетворен
1.2	Практические навыки выпускников, полученные в вузе.	4 - скорее удовлетворен
1.3	Теоретическая подготовка выпускников	5 - удовлетворен
1.4	Соответствие знаний выпускников современным требованиям менеджмента	4 - скорее удовлетворен
1.5	Формирование личностных качеств выпускника (ответственность, активность, трудолюбие, желание дальнейшего развития и т.п.). вузом	4 - скорее удовлетворен
1.6	Переподготовка и повышение квалификации кадров организации.	3 - частично удовлетворен и частично не удовлетворен

Рис. 3. Фрагмент Web-страницы анкеты для оценки степени удовлетворенности работодателей

Группы пользователей ИАС МК при реализации подсистемы удовлетворенности качеством образовательных услуг характеризуются следующим образом:

Служба качества - является организатором процесса сбора и анализа информации по удовлетворенности качеством образовательных услуг в соответствии с регламентами по контролю качества, контролирует основные этапы и осуществляет импорт данных и их конвертацию (рис. 4).

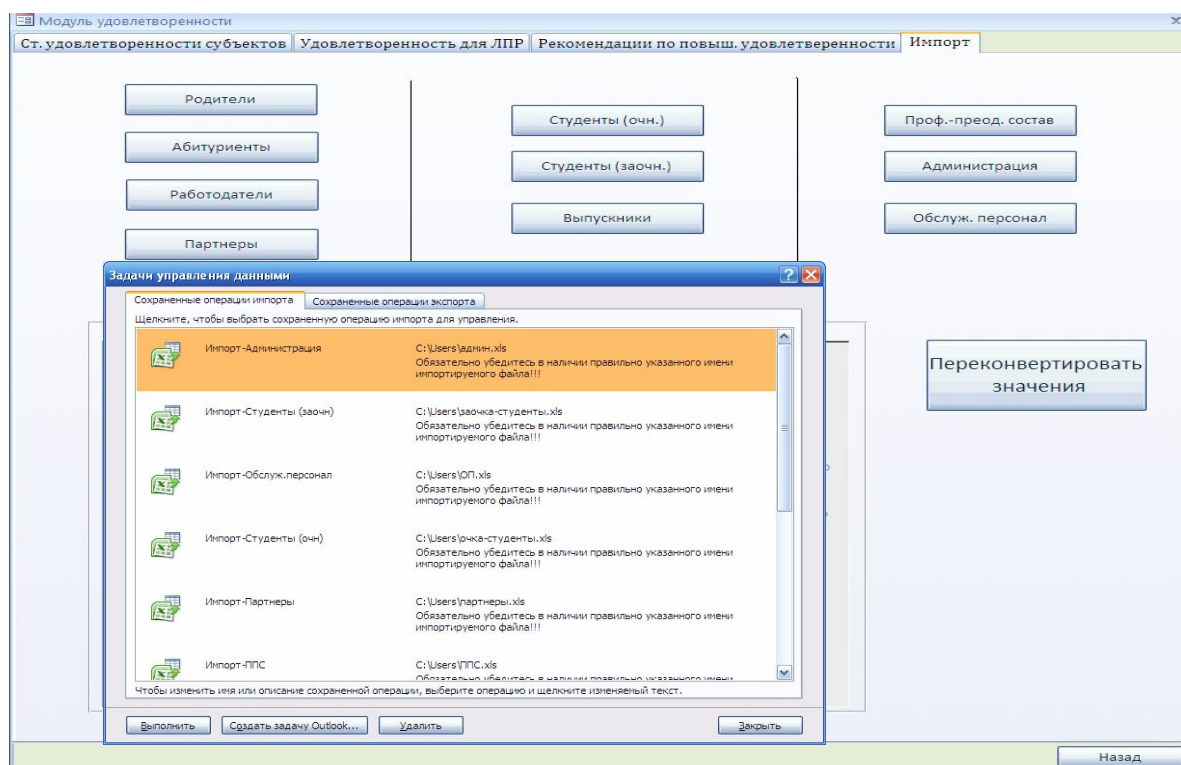


Рис. 4. Страница импорта и конвертации подсистемы определения степени удовлетворенности качеством образовательных услуг

Импорт результатов анкетного опроса субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг может выполняться по каждому субъекту в отдельности или по группе субъектов: внутренние потребители, внешние или сотрудники (рис. 5). При импорте данных указывается субъект удовлетворенности и прописывается путь к файлу с информацией.

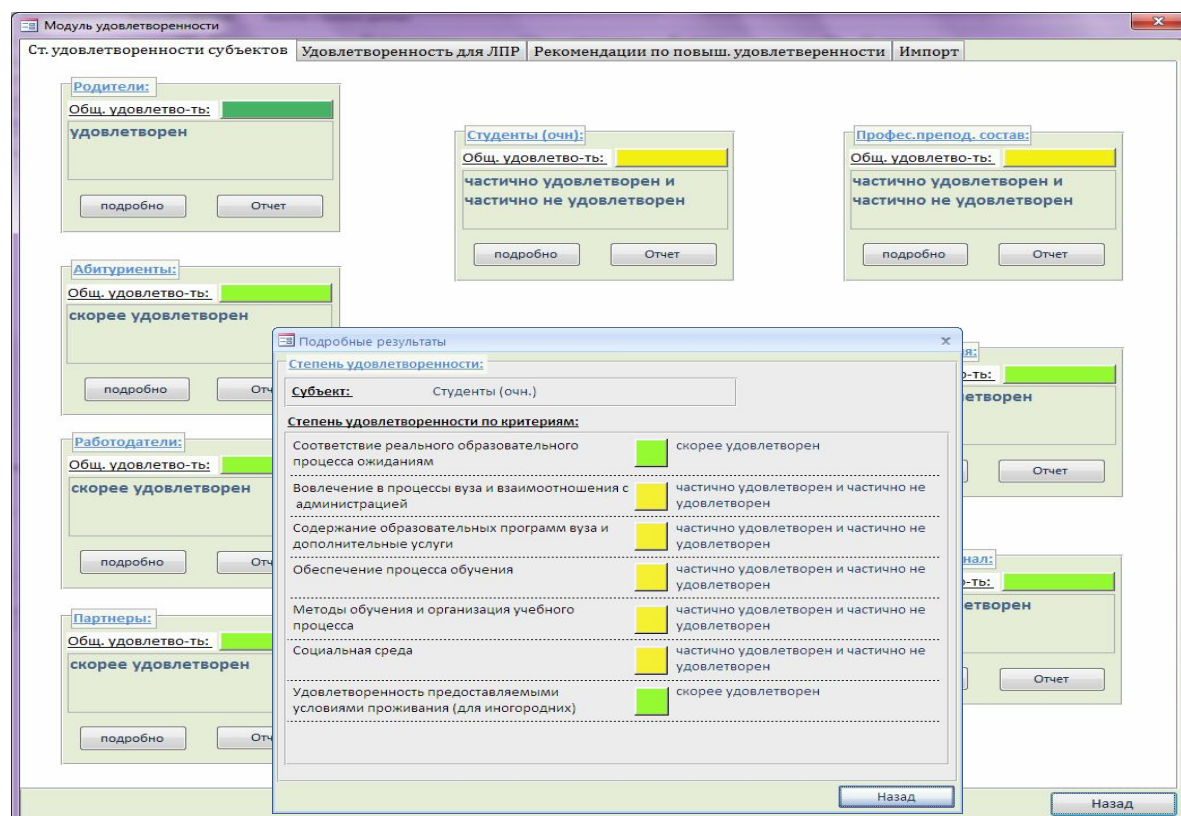


Рис. 5. Страница оценки степени удовлетворенности качеством образовательных услуг

*Социологическая служба:*

- выполняет разработку анкетных опросов для определения степени удовлетворенности субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг в соответствии с поставленными требованиями и направлениями исследования, анализ информации (рис. 5), полученной при анкетном опросе;

- вносит рекомендации по совершенствованию анкет и анализа результатов опроса;

- консультирует сотрудников службы качества и аналитиков по вопросам организации и проведения социологических опросов.

*Аналитики:*

- проводят анализ степени удовлетворенности субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг (рис. 5);

- выполняют построение отчетов (субъект удовлетворенности, степень удовлетворенности по критериям, графическое отражение степени удовлетворенности по критериям) для более подробного анализа причин неудовлетворенности;

- анализируют рекомендации по повышению удовлетворенности качеством предоставляемых образовательных услуг для всех субъектов удовлетворенности;

- вносят предложения по повышению удовлетворенности качеством образовательных услуг для лица, принимающего решение (ЛПР), в том случае, если степень удовлетворенности «частично удовлетворен и частично не удовлетворен» или ниже (рис. 6).

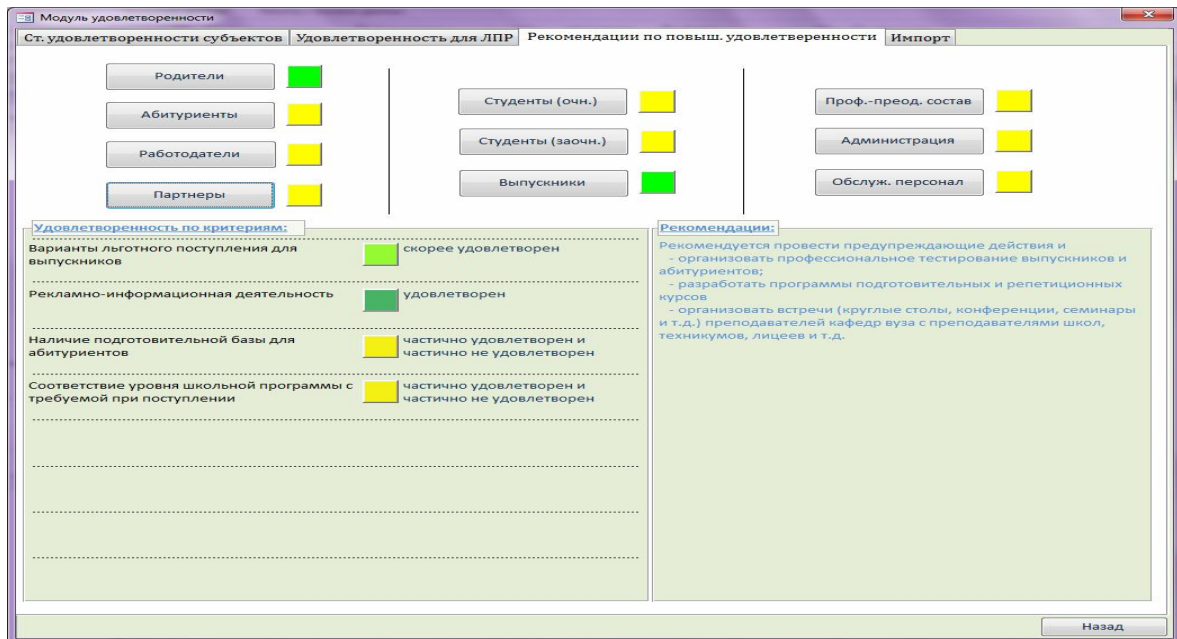


Рис. 6. Страница рекомендаций по повышению степени удовлетворенности качеством образовательных услуг

Для степени удовлетворенности, начиная со «скорее не удовлетворен», формируются рекомендации по принятию корректирующих действий. Совокупность рекомендаций по критериям удовлетворенности разрабатывается экспертами и вносится в базу знаний. Данная совокупность рекомендаций может обновляться при внесении изменений в направления деятельности и цели в области качества.

ЛПР - является заключительным звеном в процессе принятия решений по повышению удовлетворенности качеством предоставляемых образовательных услуг. Информация для ЛПР представляется в графическом виде с использованием трехбалльной вербальной шкалы. Графическое отражение информации в виде радарной диаграммы позволяет проследить степень удовлетворенности для субъектов, а также по критериям удовлетворенности для каждого субъекта (рис. 7).



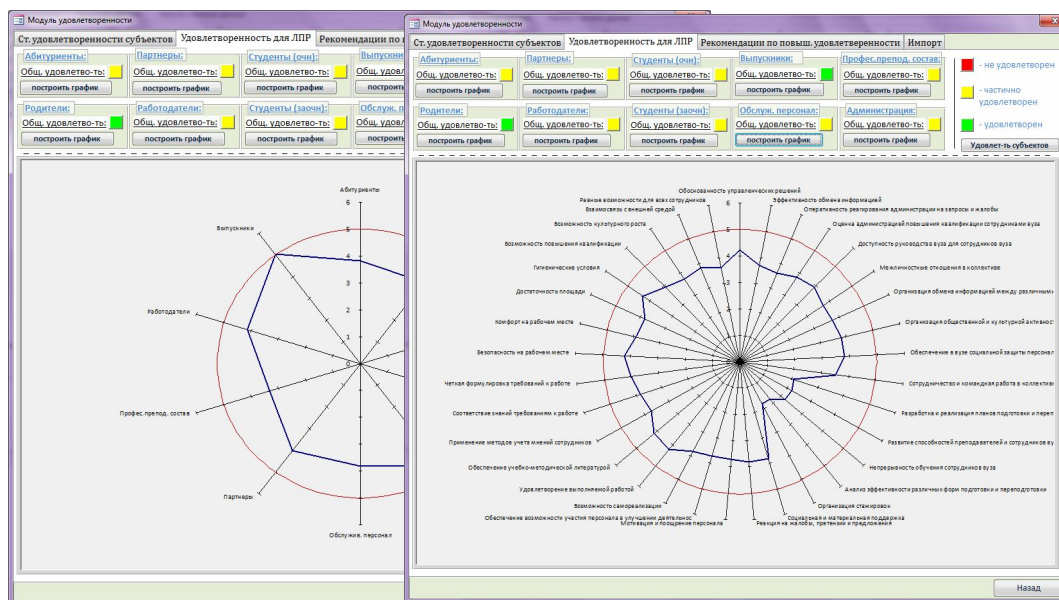


Рис. 7. Графическое представление степени удовлетворенности качеством образовательных услуг для администрации

Графическое отражение степени удовлетворенности качеством образовательных услуг позволяет наглядно отразить удачно реализуемые направления деятельности образовательного учреждения и те направления деятельности, которые требуют проведения корректирующих или предупреждающих действий со стороны ЛПП [1, 2, 5]. Красная круговая линия на радарной диаграмме соответствует степени удовлетворенности «удовлетворен» и рассматривается в качестве целевого показателя по степени удовлетворенности качеством образовательных услуг.

Для ЛПП предназначена и страница рекомендаций по повышению удовлетворенности качеством образовательных услуг (рис. 6). Предложенными рекомендациями ЛПП может воспользоваться самостоятельно при принятии решений или учесть перечень рекомендаций, который сформирован аналитиками.

Анализ степени удовлетворенности для субъектов удовлетворенности качеством образовательных услуг, выполняемый в рамках общего мониторинга качества, позволяет установить приоритетные направления для улучшения деятельности образовательного учреждения.

### Список литературы

1. Митин, А.И. Информационно-аналитическая система мониторинга качества профессиональной подготовки / А.И. Митин, Т.А. Филичева // Наука и образование. - 2013. - № 4. - С. 46-51.
2. Митин, А.И. Мониторинг качества профессиональной подготовки: информационно-аналитический подход / А.И. Митин, Т.А. Филичева // Информатизация образования и науки. - 2014. - № 1. - С. 82-100.
3. Добряков, А.В. Экспертно-аналитический метод оценки качества образовательных систем на основе нечетко-множественного подхода / А.В. Добряков, В.М. Милова // Качество. Инновации. Образование. - 2007. - № 1. - С. 36 -41.
4. Майорова, В.И. Системный анализ проблем и моделирование процесса подготовки элитных специалистов инженерного профиля (на примере ракетно-космических специальностей): в 2-х ч. Ч. 2 / В.И. Майорова. - М.: Изд-во МГОУ, 2007. - 222 с.
5. Филичева, Т.А. Информационно-аналитический подход к проблемам мониторинга качества и эффективности системы профессиональной подготовки / Т.А. Филичева // Вестник славянских вузов. - 2015. - № 4. - С.120-130.

6. ГОСТ 23554.1-79. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Организация и проведение экспертной оценки качества продукции. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 70 с.

7. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата обращения 05.11.2012).

8. Рыжков, А.П. Элементы теории нечётких множеств и ее приложений [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzySetsTheoryApplications.htm> (дата обращения 05.11.2012).

9. Рожков, Н.Н. Квалиметрия и управление качеством. Математические методы и модели / Н.Н.Рожков. - СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2007. – 185 с.

### **Сведения об авторе**

Филичева Татьяна Алексеевна - кандидат технических наук, доцент, 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 USE OF EXPERT SURVEYS IN ASSESSING SATISFACTION WITH THE QUALITY OF EDUCATIONAL SERVICES**

Filicheva T.A.

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

The article proposes a method of monitoring the quality of professional training, allowing to estimate the degree of satisfaction with quality of professional training on the basis of expert surveys and the use of linguistic variables. Describes the implementation of the method of assessment of satisfaction with quality of training in the framework of the information-analytical system of monitoring of quality as subsystem of the General information system of educational institution.

**Key words:** *professional education, information-analytical system, linguistic variable, membership function, satisfaction with the quality, monitoring, information support, educational system.*

### **References**

1. Mitin A.I., Filicheva T.A. Information-analytical system of monitoring of quality of vocational training. *Nauka i obrazovanie*, 2013, No. 4, pp. 46-51.

2. Mitin A.I., Filicheva T.A. Monitoring the quality of professional training: awareness-analytical approach. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki*, 2014, No. 1, pp. 82-100.

3. Dobryakov V.A., Milov V.M. Expert-analytical method of assessing the quality of educational systems based on fuzzy-set approach. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*, 2007, No. 1, pp. 36 -41.

4. Mayorova V.I. System analysis problems and the simulation of the process of training elite engineering specialists (for example, rocket and space programs), Part 2. Moscow, Publishing house of MGOU, 2007. 222 p.

5. Filicheva T.A. Information-analytical approach to the problems of monitoring the quality and effectiveness of the system of professional training. *Vestnik slavyanskikh vuzov*, 2015, No. 4, pp. 120-130.

6. GOST 23554.1-79 Quality management System products. Expert methods of assessing the quality of industrial products. Organization and conduct of expert assessment of the quality of the products. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1980. 70 p.

7. Shtovba S.D. Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (accessed 05.11.2012).
8. Ryzhov A.P. The elements of fuzzy set theory and its applications. Available at: <http://intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzySetsTheoryApplications.htm> (accessed 05.11.2012).
9. Rozhkov N.N. Qualimetry and quality management. Mathematical methods and models. Saint-Petersburg, CPI SPGUTD, 2007. 185 p.

**Author' information**

Tatiana A. Filicheva - Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Department of Mathematics and Information Technologies at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *filta@yandex.ru*.

УДК 621.165

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ  
ВКЛЮЧЕНИЙ В МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ СИСТЕМАХ  
ПЫЛЕЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ**

Лагерева Э.А.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Представлена методика расчета коэффициента сепарации твердых включений из газозвушных потоков для многоступенчатых систем пылезолоулавливания, состоящих из ряда последовательно установленных сепарационных устройств различного конструктивного исполнения и принципа действия. Она основана на на раздельном последовательном анализе процессов улавливания и прохождения отдельных фракций твердых частиц полидисперсной структуры. Методика дает информацию об изменении дисперсного состава твердых включений при прохождении газозвушного потока по системе очистки и позволяет целенаправленно подбирать эффективное сочетание различных типов сепараторов.

*Ключевые слова:* газозвушной поток, сепарация, многоступенчатая система пылезолоулавливания, твердые включения, дисперсный состав, фракция

При построении современных методик расчетной оценки эффективности работы различных сепарационных устройств систем очистки газозвушных потоков от частиц твердых включений (зола, пыли, окалины и др.) характерен эмпирический подход [1]. Как правило, он основан на обобщении результатов экспериментальных исследований натуральных или модельных сепараторов сходного конструктивного исполнения - на выявлении определяющих процесс параметров конструкции, газозвушного потока, твердых включений и построении с помощью статистических методов теории обработки данных эксперимента аппроксимационных регрессионных соотношений типа

$$\eta = \eta(f_1, f_2, \dots, f_n, \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m),$$

где  $\eta$  - коэффициент сепарации;  $f_i$  - значимые параметры конструкции сепаратора, потока рабочего тела и твердых включений;  $\Pi_j = \Pi_j(f_1, f_2, \dots, f_n)$  - числа подобия или вспомогательные параметры, являющиеся регрессионными функциями от значимых параметров  $f_i$ .

Однако наряду с эмпирическим также известны методики расчетной оценки эффективности работы сепараторов, основанные на теоретическом подходе [2, 3]. Он включает расчет траекторий движения твердых частиц в зависимости от условий входа их в сепарационное устройство и фракционного размера. При этом движение газовой фазы (газозвушно-го потока) рассматривается совершенно обособленно от движения твердой фазы (частиц включений), т.е. траектория движения частиц накладывается на поле скоростей потока и основной компонентой в уравнении движения сферической частицы является сила аэродинамического сопротивления, величина которой пропорциональна разности искомой скорости частицы и известной скорости потока в расчетной точке пространства [4]. При таком подходе поле скоростей газозвушного потока в сепарационном устройстве, имеющее выраженный пространственный характер, задается либо на основании экспериментальных данных, либо с помощью приближенных соотношений, в основе которых также лежат обобщенные экспериментальные данные [5-8].

Несомненными достоинствами теоретического подхода является то, что основанные на его применении методики расчета эффективности сепарационных устройств:

- дают возможность проведения детального анализа протекания процесса осаждения твердых включений на поверхностях проточной части сепаратора и удаления их за пределы устройства;

- обеспечивают на этапе проектирования сравнительно мало затратную процедуру конструктивной отработки сепаратора с целью достижения максимально возможного коэффициента сепарации  $\eta$  по данным машинного, а не более трудоемкого натурального или модельного эксперимента;

- получить исчерпывающую информацию о фракционном составе как уловленных, так и прошедших через сепаратор твердых частиц.

Общими принципиальными трудностями, сдерживающими разработку методик расчетной оценки эффективности сепараторов на базе теоретического подхода, являются:

- трехмерный характер поля скоростей газовой фазы в проточной части сепарационных устройств и необходимость использования трудоемких и ориентированных на применение компьютеризированных численных методов интегрирования систем уравнений Навье-Стокса внутри областей сложной конфигурации [9-11];

- недостаточная изученность влияния на кинематику твердых частиц процессов их взаимодействия как между собой, так и с поверхностями проточной части сепарационных устройств (процессов дробления, конгломерирования, рикошетирования и др. [12].

При использовании указанной методики исходная информация должна включать:

- данные о конструкции, основных конструктивных размерах и технических характеристиках сепараторов, входящих в системы очистки;

- данные о параметрах газоздушного потока на входе в систему очистки: его химическом составе, объемном  $V_2$  или массовом  $G_2$  расходе, рабочей температуре  $T_2$ , плотности  $\rho_2$ , динамической вязкости  $\mu_2$ ;

- данные о параметрах частиц твердых включений: количественных показателях дисперсного состава (например, медианном диаметре  $d_m$  и стандартном отклонении  $\sigma_q$  или  $\lg \sigma_q$ ), вида закона распределения массы частиц по размерам (функции распределения  $F(d_q)$  или плотности вероятности  $p(d_q)$ ), плотности  $\rho_q$ , массовой концентрации в газоздушном потоке  $C_q$ .

Полидисперсную структуру твердой фазы представим совокупностью  $m$  фракций, каждая из которых характеризуется среднефракционным диаметром частиц  $d_{qi} (i = 1, 2, \dots, m)$ . Это достигается разделением всего интервала возможных диаметров частиц включений в газоздушном потоке  $d_{\min} \dots d_{\max}$  на  $m$  подынтервалов постоянной ширины  $\Delta d$ . При логнормальном законе распределения массы частиц по размерам на  $m$  подынтервалов целесообразно разбивать интервал  $\lg d_{\min} \dots \lg d_{\max}$ . Тогда произвольную  $i$ -ю фракцию будут образовывать частицы, диаметр которых удовлетворяет условию

$$d_q \in [d_{i\min}; d_{i\max}).$$

Граничные значения диаметров частиц фракций определяются соотношениями:

- нижние

$$d_{i\min} = d_{\min} + (i-1)\Delta d \quad \text{или} \quad \lg d_{i\min} = \lg d_{\min} + (i-1)\Delta d;$$

- верхние

$$d_{i\max} = d_{\min} + i\Delta d \quad \text{или} \quad \lg d_{i\max} = \lg d_{\min} + i\Delta d.$$

Среднефракционный диаметр частиц  $i$ -й фракции составляет

$$d_{qi} = d_{\min} + (i-0,5)\Delta d \quad \text{или} \quad \lg d_{qi} = \lg d_{\min} + (i-0,5)\Delta d.$$

При отсутствии данных о величинах минимально и максимально возможных частиц включений в газоздушном потоке эти параметры ориентировочно определяются соотношениями:

$$d_{\min} = d_m - (3...4)\sigma_q \quad \text{или} \quad \lg d_{\min} = \lg d_m - (3...4) \lg \sigma_q;$$

$$d_{\max} = d_m + (3...4)\sigma_q \quad \text{или} \quad \lg d_{\max} = \lg d_m + (3...4) \lg \sigma_q.$$

Таким образом, реальный непрерывный спектр размеров частиц  $d_q \in [d_{\min}, d_{\max}]$  представляется конечным набором из  $m$  групп капель дискретного ряда диаметров  $d_{qi}$ . Поведение частиц произвольной  $i$ -й фракции  $d_q \in [d_{\min}, d_{\max}]$  в сепарационном устройстве определяется поведением частицы диаметра  $d_{qi}$ .

Это позволяет для каждой фракции ввести в рассмотрение индивидуальный фракционный коэффициент сепарации  $\eta_i$ . Его расчет выполняется с помощью известных методик оценки эффективности работы сепараторов различных типов [1] при условии монодисперсности структуры удаляемых частиц включений (отсутствии разброса размеров частиц:  $\sigma_u = 0$  или  $\lg \sigma_u = 0$ ). Как пример, для циклонов конструкции НИИОГАЗ типа ЦН и СК-ЦН фракционные коэффициенты сепарации определяются зависимостью, преобразованной из известного соотношения [1]:

$$\eta_i = 0,5[1 + \Phi(x_i)],$$

где  $\Phi(x_i)$  - значение стандартизованной функции нормального распределения [13] аргумента  $x_i$ ;  $x_i = \lg(d_{ui} / d_{50}) / \lg \sigma_\eta$  - вспомогательный коэффициент;  $d_{50}$  - диаметр частиц твердых включений, удаляемых данным циклоном с коэффициентом сепарации  $\eta = 50\%$ ;  $\lg \sigma_\eta$  - техническая характеристика циклона [1].

В единицу времени на вход системы очистки поступает число частиц каждой фракции, в общем случае определяемое зависимостью:

$$n_i^{(o)} = \frac{6C_u V_2}{\pi \rho_u d_{ui}^3} [F(d_{i \max}) - F(d_{i \min})].$$

Для случая нормального распределения массы твердых включений в газоздушном потоке по размерам она преобразуется к виду

$$n_i^{(o)} = \frac{6C_u V_2}{\pi \rho_u d_{ui}^3} \left\{ \Phi \left[ \frac{d_{i \max} - d_m}{\sigma_u} \right] - \Phi \left[ \frac{d_{i \min} - d_m}{\sigma_u} \right] \right\},$$

Для случая логнормального распределения – к виду

$$n_i^{(o)} = \frac{6C_u V_2}{\pi \rho_u d_{ui}^3} \left\{ \Phi \left[ \frac{\lg d_{i \max} - \lg d_m}{\lg \sigma_u} \right] - \Phi \left[ \frac{\lg d_{i \min} - \lg d_m}{\lg \sigma_u} \right] \right\}.$$

После прохождения первой ступени очистки число частиц  $i$ -й фракции, задержанное сепараторами, составляет:

$$k_i^{(1)} = \eta_i^{(1)} n_i^{(o)},$$

а число частиц, прошедших через сепараторы:

$$l_i^{(1)} = (1 - \eta_i^{(1)}) n_i^{(o)}.$$

В общей сложности в первой ступени очистки в единицу времени задерживается  $k^{(1)}$  частиц всех фракций

$$k^{(1)} = \sum_{i=1}^{i=m} \eta_i^{(1)} n_i^{(o)}$$

суммарным массовым расходом

$$G_u^{(1)} = \frac{\pi}{6} \rho_u \sum_{i=1}^{i=m} \eta_i^{(1)} d_{ui}^3 n_i^{(o)}.$$

Коэффициент сепарации первой ступени определяется зависимостью

$$\eta^{(1)} = \frac{G_u^{(1)}}{C_u V_2}.$$

Аналогичные зависимости справедливы для второй и последующих ступеней системы очистки. В единицу времени на вход произвольной  $j$ -й ступени поступает число частиц  $i$ -й фракции  $n_i^j$ , равное числу частиц, прошедших через предыдущую,  $(j-1)$ -ю ступень:

$$n_i^j = l_i^{j-1} = (1 - \eta_i^{(j-1)})n_i^{(j-2)} = \dots = n_i^{(0)} \prod_{v=1}^{v=j-1} (1 - \eta_i^{(v)}).$$

В  $j$ -й степени очистки в единицу времени задерживается  $k^{(j)}$  частиц всех фракций

$$k^{(j)} = \sum_{i=1}^{i=m} \left[ \eta_i^{(j)} n_i^{(0)} \prod_{v=1}^{v=j-1} (1 - \eta_i^{(v)}) \right]$$

Суммарным массовым расходом

$$G_q^{(j)} = \frac{\pi}{6} \rho_q \sum_{i=1}^{i=m} \left[ \eta_i^{(j)} d_{qi}^3 n_i^{(0)} \prod_{v=1}^{v=j-1} (1 - \eta_i^{(v)}) \right].$$

Коэффициент сепарации  $j$ -й степени выражается соотношением вида

$$\eta^{(j)} = \frac{G_q^{(j)}}{C_q^{(j)} V_2} = \frac{G_q^{(j)}}{V_2 C_q \prod_{v=1}^{v=j-1} (1 - \eta_i^{(v)})},$$

где  $C_q^{(j)}$  - массовая концентрация твердых включений в газоздушном потоке на входе в  $j$ -ю степень очистки.

В целом, в системе очистки, состоящей из  $t$  ступеней с сепараторами различного типа или типоразмера, в единицу времени будет задерживаться число частиц  $i$ -й фракции, определяемое зависимостью:

$$k_{i,t} = n_i^{(0)} \sum_{\varphi=1}^{\varphi=t} \left[ \eta_i^{(\varphi)} \prod_{v=1}^{v=\varphi-1} (1 - \eta_i^{(v)}) \right].$$

Фракционный коэффициент сепарации системы очистки составит

$$\eta_{i,t} = \frac{k_{i,t}}{n_i^{(0)}}.$$

Массовый расход задержанных частиц будет выражаться зависимостью

$$G_{q,t} = \frac{\pi}{6} \rho_q \sum_{i=1}^{i=m} k_{i,t} d_{qi}^3,$$

а общий коэффициент сепарации – зависимостью

$$\eta_t = \frac{G_{q,t}}{C_q V_2}.$$

Через систему очистки проходит число частиц  $i$ -й фракции  $l_{i,t}$ , определяемое зависимостью:

$$l_{i,t} = n_i^{(0)} - k_{i,t}.$$

Набор значений  $l_{i,t}$  для всех  $i \in [1; m]$  определяет гистограмму распределения по размерам числа частиц, прошедших через систему очистки. Аналогично, набор значений

$$m_{i,t} = \frac{\pi}{6} \rho_q d_{qi}^3 l_{i,t}$$

Определяет гистограмму распределения по размерам массы прошедших частиц. Их анализ методами теории математической статистики [13] позволяет установить тип и количественные характеристики законов распределения по размерам числа или массы прошедших частиц. Медианный диаметр составляет

$$d_{m,t} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} m_{i,t} d_{qi}}{(C_q V_2 - G_{q,t})},$$

а стандартное отклонение –

$$\sigma_{q,t} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=m} m_{i,t} (d_{qi} - d_{m,t})^2}{(m-1)(C_q V_2 - G_{q,t})}}.$$

Последней зависимостью следует пользоваться, если число фракций твердых частиц  $m > 7$  [14].

Приведенные выше зависимости составляют основу предложенной методики расчета эффективности работы систем пылезолоулавливания, образованных рядом последовательно установленных сепарационных устройств.

В качестве примера, иллюстрирующего особенности ее применения при расчете конкретных систем пылезолоулавливания, была рассмотрена двухступенчатая система очистки воздушного потока от твердых включений на основе циклонов конструкции НИИОГАЗ типа ЦН-24 (1 ступень) и ЦН-11 (2 ступень). Исходные данные:

- объемный расход воздуха  $V_2 = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- плотность воздушного потока  $\rho_2 = 0,785 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- динамическая вязкость воздушного потока  $\mu_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- плотность твердых частиц  $\rho_q = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- медианный диаметр твердых частиц  $d_m = 17 \text{ мкм}$ ;
- логарифм стандартного отклонения диаметров твердых частиц  $\lg \sigma_q = 0,301 \text{ (мкм)}$ ;
- закон распределения массы твердых частиц по диаметрам: логнормальный с плотностью вероятности вида

$$p(d_q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_q} \exp \left[ -\frac{(\lg d_q - \lg d_m)^2}{2(\lg \sigma_q)^2} \right].$$

Минимальный и максимальный диаметры частиц в потоке определялись как

$$d_{\min} = \exp(\lg d_m - 3 \lg \sigma_q) = 2,1 \text{ мкм};$$

$$d_{\max} = \exp(\lg d_m + 3 \lg \sigma_q) = 136 \text{ мкм}.$$

При расчете учитывалось  $m = 8$  фракций твердых частиц.

Результаты расчета (гистограммы распределения по размерам массы твердых частиц в характерных точках системы очистки) приведены на рис. 1. Расчетный коэффициент сепарации 1 ступени составил  $\eta^{(1)} = 0,855$ ; коэффициент сепарации всей двухступенчатой системы очистки -  $\eta = \eta^{(2)} = 0,987$ .

На основании проведенных расчетов можно сформулировать следующие положительные черты предложенной методики расчета эффективности работы систем пылезолоулавливания, образованных последовательно установленными сепарационными устройствами:

- позволяет в соответствии с единым алгоритмом выполнять расчет одно- и многоступенчатых систем очистки газозвудушных потоков от твердых включений, а также систем, содержащих сепараторы различного принципа действия;
- дает информацию об изменении дисперсного состава твердых включений при прохождении газозвудушного потока по системе очистки и, таким образом, позволяет целенаправленно подбирать эффективное сочетание различных типов сепараторов;
- легко поддается программированию и использованию в составе систем автоматизированного проектирования различного технологического оборудования.



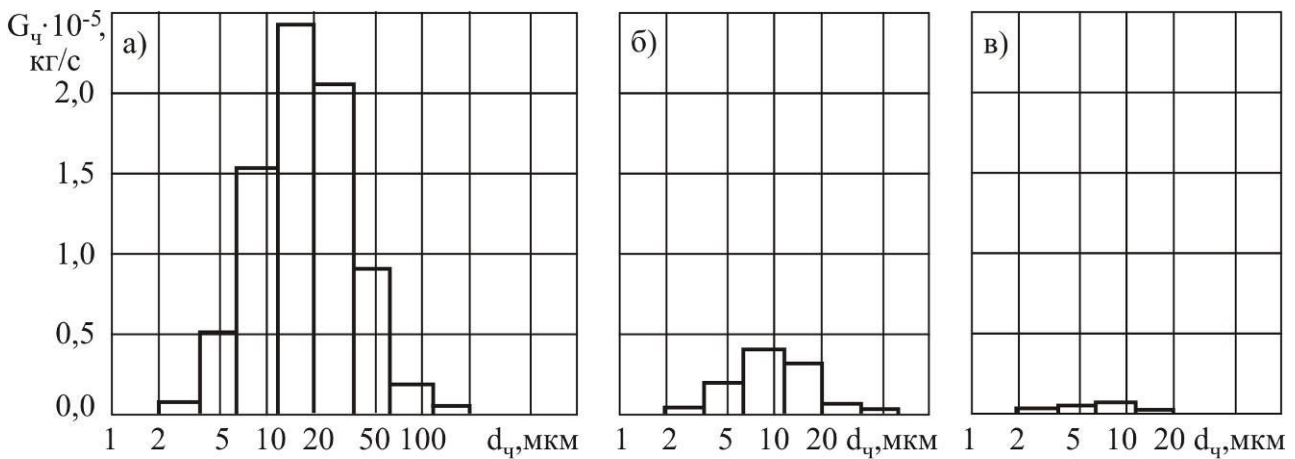


Рис. 1. Изменение дисперсного состава твердых включений в воздушном потоке в характерных точках двухступенчатой системы пылезолоулавливания:  
а – на входе в систему; б – после 1 степени очистки; в – на выходе из системы

### Список литературы.

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
2. Степанов, Г.Ю. Инерционные воздухоочистители / Г.Ю. Степанов, И.М. Зицер. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
3. Богуславский, Е.И. Теоретическое определение основных характеристик пылезолоулавливания в циклонных аппаратах / Е.И. Богуславский // Обеспыливание воздуха: сб. науч. тр. / Ростовский инженерно-строительный институт. - Ростов-на-Дону, 1982. – С. 40-45.
4. Лагерев, А.В. Эрозия паровых турбин: вероятностный подход: в 3 т. / А.В. Лагерев. – М.: Машиностроение-1, 2006.
5. Лагерев, А.В. Моделирование процессов массопереноса влаги в вертикальных сепараторах с тангенциальным входом для АЭС / А.В. Лагерев, Э.А. Лагерева // Известия вузов. Ядерная энергетика. - 1997. - №3. - С.68-72.
6. Лагерев, А.В. Оптимизация влагоудаления в вертикальных сепараторах с тангенциальным входом для АЭС / А.В. Лагерев, Э.А. Лагерева // Известия вузов. Ядерная энергетика. - 1997. - №6. - С. 30-34.
7. Лагерев, А.В. Математическое моделирование кинематики и осаждения влаги из пространственных многофазных потоков в элементах паровых энергоустановок / А.В. Лагерев, Э.А. Лагерева // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2008. - № 1. - С. 67-75.
8. Лагерев, А.В. Математическое моделирование кинематики и сепарации пленочной влаги в элементах парового тракта энергоустановок / А.В. Лагерев, Э.А. Лагерева // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2008. - № 3. - С. 67-75.
9. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей / К. Флетчер. - М.: Мир, 1991. – 552 с.
10. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т.1 / Д. Андерсон, Д. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 384 с.
11. Дорфман, Л.А. Численные методы в газодинамике турбомашин / Л.А. Дорфман. – М.: Энергия, 1974. – 271 с.
12. Эрозия / Под ред. К. Прис. – М.: Мир, 1982. – 464 с.
13. Степнов, М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний / М.Н. Степнов. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
14. Поллард, Д. Справочник по вычислительным методам статистики / Д. Поллард. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.

### Сведения об авторе

Лагерева Эльвира Александровна - кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника отдела ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *elvira-l.alex@yandex.ru*.

## MODELING OF CHANGES IN PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF SOLIDS IN MULTISTAGE SEPARATION SYSTEMS

Lagereva E.A.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The presented method of calculation of the separation of solid particles from gas streams to multistage separation systems, consisting of a number of sequentially installed separational devices of various design and principle of operation. It is based on a separate analysis of the sequential processes of capture and transmission of individual fractions of solid particles of a polydisperse structure. The technique provides information about changes in particle size distribution of solids with the passage of the gas flow in the treatment system and allows you to specifically select the effective combination of different types of separators.

**Key words:** *gas flow, separation, multistage separation system, solids, disperse composition, the fraction*

### References

1. Rusanov A.A. *Spravochnik po pylezoloulavlivaniiyu* [Handbook on dust and ash removal]. Moscow, Energiya, 1975. 296 p.
2. Stepanov G.Yu., Zitser I.M. *Inertsionnye vozdukhoochistiteli* [Inertial air cleaners]. Moscow, Mashinostroenie, 1986. 224 p.
3. Boguslavskiy E.I. Teoreticheskoe opredelenie osnovnykh kharakteristik pylezoloulavlivaniya v tsiklonnykh apparatakh [Theoretical determination of the main characteristics of dust and ash removal in cyclone devices]. *Sbornik nauchnykh trudov Rostovskogo inzhenerno-stroitel'nogo instituta "Obespylivanie vozdukha"*. Rostov-na-Donu, 1982, pp. 40-45.
4. Lagerev A.V. *Eroziya parovykh turbin: veroyatnostnyy podkhod* [Erosion of steam turbines: a probabilistic approach]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2006.
5. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Analysis of mass transfer at the vertical separators with tangential entrance for NPPs. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*, 1997, No. 3, pp. 68-72.
6. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Optimization of steam-water separation at the vertical separators with tangential entrance for NPPs. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*, 1997, No. 6, pp. 30-34.
7. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Mathematic simulation of drops kinematics and sedimentation from 3-dimensional multiphase flows in steam turbine elements. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, No. 1, pp. 67-75.
8. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Mathematic simulation of liquid film kinematics and separation in steam turbine elements. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, No. 3, pp. 67-75.
9. Fletcher C.A.J. *Computational techniques for fluid dynamics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.
10. Anderson D.A., Tannehill J.C., Pletcher R.H. *Computational fluid mechanics and heat transfer*. Hemisphere Publishing Corporation, 1984.
11. Dorfman L.A. *Chislennyye metody v gazodinamike turbomashin* [Numerical methods in gas dynamics of Turbomachinery]. Moscow, Energiya, 1974. 271 p.

12. Treatise on materials science and technology. Volume 16. Erosion. Bell Telephone Laboratories, Inc., 1979.
13. Stepnov M.N. *Statisticheskie metody obrabotki rezultatov mekhanicheskikh ispytaniy* [Statistical methods of processing mechanical test results]. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 232 p.
14. Pollard J.H. A handbook of numerical and statistical techniques. Cambridge University Press, 1977.

**Author' information**

Elvira A. Lagereva - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice Head of Bureau at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *elvira-l.alex@yandex.ru*.

УДК 574;502.22;67

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Москаленко О.П., Ковалева Е.Л.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Обоснована и применена оценка качества жизни, по результатам анкетирования и использования индекса комплексной оценки здоровья детей и подростков. Выявлена зависимость между влиянием антропогенных групп факторов и показателем комплексной оценки здоровья детей и подростков.

*Ключевые слова:* качество жизни, социально-экологический мониторинг, заболеваемость, анкетирование групп населения.

Исследование выполнено по проекту 15-16-32006 в РГНФ.

Процесс экологизации научных исследований, который наблюдается со второй половины XX века, обусловлен глобальным характером экологической проблемы. Особой актуальностью отличается изучение среды обитания на региональном уровне в условиях напряженной экологической ситуации, которая характерна для территории Брянской области. В нашей работе в качестве объекта исследования определено детское население как наиболее уязвимая и незащищенная возрастная группа, популяционное здоровье которой определяет здоровье будущих поколений.

Цель работы состоит в обосновании параметров оценки качества жизни детей и подростков, выполнении медико-экологической типологии районов Брянской области для решения прикладных задач повышения качества жизни населения.

По мере развития человеческого общества понимание качества жизни (КЖ) неоднократно изменялось и, не смотря на многочисленные исследования в этой области, в настоящее время универсального определения понятия «качество жизни» не существует.

За рубежом исследование КЖ превратилось в междисциплинарное научное направление, которое изучает природно-социально-психологические условия человеческого существования как основу улучшения здоровья населения и планирования мероприятий по его восстановлению.

В нашей стране под качеством жизни чаще всего подразумевают категорию, включающую в себя сочетание условий жизнеобеспечения и состояния здоровья, позволяющих достичь физического, психического, социального благополучия и самореализации.

Сложившаяся многовариантность в определении качества жизни, отражает разнообразие подходов (географических, экономических, социологических, политических, экологических и пр.) к исследованию данной категории. Такое положение естественно для развивающегося научного направления. Обобщенное определение КЖ дано в документах Всемирной организации здравоохранения. По определению ВОЗ, качество жизни – оптимальное состояние и степень восприятия отдельными людьми и населением в целом того, как удовлетворяются их потребности (физические, эмоциональные, социальные и пр.) и предоставляются возможности для достижения благополучия и самореализации.

Важным обстоятельством в методологии исследования КЖ стало понимание того, что эффективный контроль состояния здоровья человека и среды его обитания требует сочетания объективных количественных данных и качественной оценки с субъективной точки зрения.

Оптимизация взаимоотношений социума и окружающей среды возможна только на базе достаточно объективной экологической информации, интерпретируемой через прикладные социологические концепции. На решение этой задачи направлена система социально-экологического мониторинга, которая представляет собой процесс нахождения предварительной информации о путях и способах гармонизации взаимоотношений между обществом и природой.

В России вопрос КЖ населения, в первую очередь, связан с оценкой состояния здоровья, степени адаптивности организма, его возможности приспосабливаться к меняющимся условиям внешней и внутренней среды организма.

Социально-экологический мониторинг исследует подходы к определению здоровья с двух позиций: социальной и биологической, исходя из двойственной сущности человека. Сегодня оценка биологических (физических) возможностей человека достаточно полно разработана в медицине, гигиене, экологии человека, антропологии, но критерии оценки биосоциальной адаптации человека основываются на основании собственного анализа и заключения. Сложность и противоречивость такой оценки сопряжена со «встроенностью» субъекта в объект исследования.

Анализ состояния здоровья населения как важнейшего компонента качества жизни предполагает возможность количественной оценки величины здоровья. Существует два основных способа ее измерения. Первый состоит в непосредственном измерении значимых показателей: структуры, функций и адаптационных резервов человека, сравнении их с нормативами, субъективном оценочном их интегрировании и оценке в виде «нескольких уровней». Использование данных медицинской статистики позволяет определять состояние популяционного здоровья через его потерю, т.е. анализируя заболеваемость.

Другой способ оценки величины здоровья состоит в использовании конечных социально значимых показателей, к которым относятся средняя продолжительность жизни, характеристика воспроизводства населения (репродукция) и морально-психологический комфорт или самочувствие. Эти показатели отражают синергетический эффект взаимодействия многочисленных составляющих системы «человек-среда обитания».

Социально-экологический мониторинг в качестве индикаторов, характеризующих в обобщенном виде состояние здоровья населения, предлагает такие, как средняя продолжительность жизни, смертность, в том числе детская и материнская, заболеваемость и т.п. В настоящее время установлено, что средняя продолжительность жизни, другие показатели здоровья людей в значительной мере зависят от степени загрязнения окружающей среды. Показатели состояния здоровья населения могут выступать функцией состояния природной среды, являясь критерием ее качества. С учетом сложившейся ситуации определены направления развития социально-экологического мониторинга, которые включают оценку и сравнение параметров качества отдельных компонентов природной среды с действующими нормативами; проведение специальных медико-экологических исследований, направленных на выявление негативно влияющих факторов среды на здоровье населения, учитывая их сочетанное воздействие, выделение регионов с различной степенью напряженности экологической ситуации.

На КЖ влияет ряд факторов: объективных и субъективных, центральными считаются роль внешних или объективных факторов. Вклад в КЖ может вносить сложная социальная среда, которую формируют сверстники, семья и др. Существуют две причины, по которым окружающие факторы у детей и взрослых качественно различаются: во-первых, эти факторы оказывают долгосрочное влияние на социальное и психическое развитие детей (например, неприятие сверстниками в детстве имеет многочисленные негативные долгосрочные последствия, включая пропуски уроков в школе и правонарушения); во-вторых, дети по сравнению со взрослыми имеют меньше возможностей для существенного изменения своего окружения. Взрослые, обладающие достаточными финансовыми ресурсами или социальной поддержкой, могут сменить проблемное место работы или неудачный брак. Дети же обычно не могут существенно изменить свое проблемное окружение. Таким образом, для детей по сравнению со взрослыми окружение играет иную и, возможно, более важную роль. Качество жизни ребенка, подростка зависит от сложного взаимодействия между ним и различными социальными группами, в которых он находится. Оценка КЖ детей должна учитывать эти окружающие факторы, в частности, отношения в семье, со сверстниками и соседями. Следует учитывать, что в детско-юношеском возрасте активно происходят физиологические изменения в организме, усиливается напряжение механизмов приспособления к экологическим факторам. По-

этому важно измерить непосредственно КЖ детей, подростков, а не делать оценки, основываясь на КЖ взрослых.

В Брянской области на фоне естественной убыли населения, которая началась с 1991 г. и продолжается в настоящее время, отмечается невысокая доля детей и подростков в возрасте от 0 до 17 лет. В конце прошлого столетия (1999 г.) доля детей и подростков в общей численности населения области составляла 23,3%. В 2003 г. этот показатель не превышал 21%, а в 2010 и 2011 гг. снизился до 17,7%, в 2014 г. отмечена слабо выраженная тенденция роста доли детского населения до 18%. В общей численности детского населения доля детей в возрасте до 1 года постепенно увеличивается от 4% в 2003 г. до 6,2% в 2014 г. при общем коэффициенте рождаемости 11,0 на 1 тысячу населения. Не смотря на увеличение этого показателя (от 9,0 на 1 тысячу населения в 2005 г.), рождаемость в Брянской области остается ниже среднероссийского уровня.

На протяжении последних лет врачи отмечают сохранение тенденции ухудшения здоровья детей: увеличение общей и первичной заболеваемости, ухудшение физического развития, снижение уровня физической подготовленности на фоне выраженной гипокинезии и гиподинамии [2].

Функциональные возможности детей отражают влияние среды, в том числе, и результатов проводимых мероприятий по формированию здорового образа жизни. В 2014 г. 60,2% детей имели функциональные расстройства, у 14,1% имеют место хронические патологии. Только 25,7% составляют категорию здоровых детей. Средние областные показатели первичной заболеваемости детей (0–14) имеют тенденцию к снижению от 2445,7 случаев на 1000 детского населения в 2012 г. до 1904,1 в 2014 г. Но ситуация имеет существенные региональные особенности, так вариационный размах показателей достигает 2275,2. Наиболее высокая первичная заболеваемость отмечена в Клинцовском (2804,2), Трубчевском (2578,6), Новозыбковском (2292,9) районах и в городах Фокино (2629,5), Брянск (2254,9), Клинцы (2245,8).

Первичная заболеваемость подростков также немного сократилась к 2014 г. и составила 1742,6 в среднем по области. Но различия по территории более существенные - от 622,5 в Суземском районе до 3384,1 в Клинцовском. Наиболее высокие показатели заболеваемости зарегистрированы в Трубчевском, Новозыбковском, Брянском и Брасовском районах, а также в городах Сельцо и Клинцы.

В области выражена дифференциация тенденций динамики заболеваемости по классам болезней. Анализ динамики заболеваемости подробно представлен в материалах медицинской статистики. Например, на 2% снизилась заболеваемость по классу «новообразования», на 1,1% - по классу «болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ». Но при оценке КЖ особое значение имеет распространение социопатий, т.е. социально-обусловленных заболеваний. «Общая заболеваемость по классу «психические расстройства и расстройства поведения» в 2014 году увеличилась на 16,2% и составила 45,2 на 1000 подросткового населения (2013 г. – 38,9). ... В области в 2014 году существует проблема роста социально-обусловленных заболеваний (туберкулез) в детской и подростковой среде. В 2014 году показатель первичной заболеваемости туберкулезом детей и подростков увеличился: среди детского населения (0–14 лет) увеличился по сравнению с 2013 годом (26,2 на 100 тыс. соответствующего населения) на 43,5% и составил в 2014 году 37,6; показатель заболеваемости туберкулезом среди подростков (15-17 лет) увеличился на 28,1% с 27,0 в 2013 году до 34,6 на 100 тыс. подросткового населения в 2014 году» [2].

Медико-демографическая ситуация является объективным показателем КЖ и одновременно может рассматриваться как фактор формирования КЖ. С учетом сочетания показателей основных параметров медико-демографической ситуации (рождаемость, смертность, младенческая смертность, заболеваемость общая) выполнена типология административных районов Брянской области (рис. 1). Территориальные сочетания количественных характеристик анализируемых показателей формируют пять типов районов. Обращает внимание тот факт, что единый массив образуют только районы, относящиеся к третьему типу, которые получили наибольшую распространенность в пределах Брянской области. Наиболее благоприятной медико-демографической ситуацией характеризуются районы, относящиеся к первому типу, расположенные преимущественно в восточной части области. На их фоне выделяется Дятьковский район с высокой

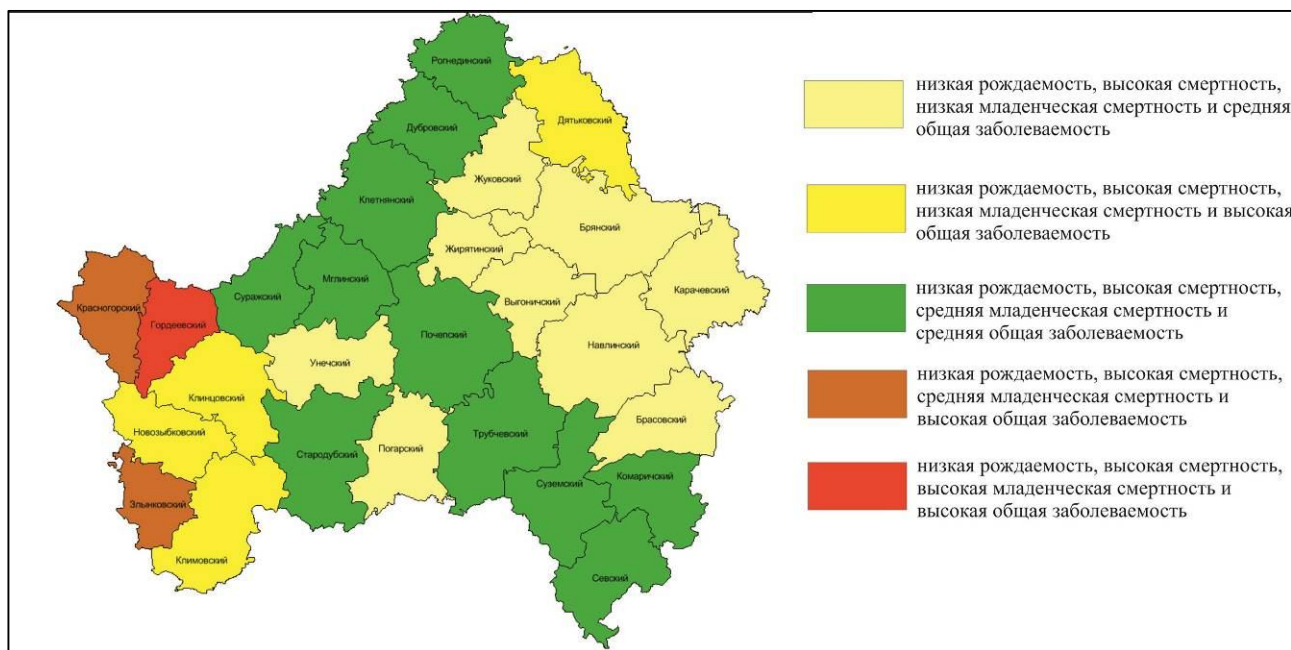


Рис. 1. Типология районов Брянской области на основе ранжированных показателей популяционного здоровья (рождаемость, общая заболеваемость, общая и младенческая смертности)

общей заболеваемостью, что более характерно для юго-западных районов. Территориальные различия медико-демографической ситуации обусловили выбор «ключевых участков».

Исследование показателей качества жизни и факторов риска здоровью детей и подростков изучались на административно-территориальных единицах Брянской области: г. Почеп (контроль), г. Новозыбков (радиационное загрязнение территории), г. Дятьково (техногенное загрязнение территории). В г. Почепе качество жизни учащейся молодежи исследовалось у учащихся МБОУ «СОШ № 1», в г. Новозыбкове – у учащихся МБОУ «СОШ № 1», в г. Дятьково – у студентов ФГОУ СПО «Дятьковский индустриальный техникум».

Выборка подросткового населения составила 594 человека (в том числе 339 девочек и 255 мальчиков) и сформирована случайным образом на административно-территориальных единицах области, различающихся по качественному состоянию окружающей среды. Т.о., анализ факторов, влияющих на КЖ подросткового населения, выполнен для регионов с различной социально-экологической ситуацией и с учетом субъективной оценки подростков.

Для сбора фактического материала использована авторская анкета [1], где выделено 8 разделов, которые охватывают данные о материальном положении семьи, жилищных и коммунально-бытовых условиях, состоянии окружающей среды, образовании родителей, условиях питания, обучении подростков, распространенности вредных привычек, а также оценку подростками соматического и психоэмоционального самочувствия.

Материальное положение семьи оценивалось по количеству денежного дохода в пересчете на одного члена семьи в месяц. Показано, что подростки из г. Новозыбкова и г. Дятьково проживают в более обеспеченных семьях, чем их сверстники из г. Почепа. 52,9%±0,3 подростков из г. Новозыбкова и 56,4%±0,8 подростков из г. Дятьково считают доход на одного члена семьи выше прожиточного минимума, а в группе подростков из г. Почепа этот показатель составил всего лишь 36,3%±1,2 (p<0,05).

В целом 56,9%±1,5 подростков из г. Дятьково и 54,5%±1,4 подростков из г. Новозыбкова отмечают, что материальное положение среднее (доходов хватает для обеспеченной жизни). Доля удовлетворенных собственным материальным положением в г. Почепе составляет всего лишь 47,3%±1,4 (p<0,05).

Таблица 1

Основные направления, объект, объем и методы исследования

Направление исследования	Объекты, методы исследования	Объем исследований
Оценка экологических показателей качества окружающей среды.	Атмосферный воздух, поверхностные и питьевые воды, почвы селитебных зон, качество продуктов питания детей и подростков (по материалам Государственных докладов Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Брянской области (2006-2014 гг.) и Государственных докладов Комитета природопользования и охраны окружающей среды, лицензирования отдельных видов деятельности Брянской области (2006-2014 гг.)).	2000 ед. информации
Динамические показатели абиотических факторов сред обитания.	Динамика показателя плотности загрязнения земель радионуклидами, содержания в питьевой воде железа, количество выбросов твердых веществ от подвижных и стационарных источников загрязнения, плотности населения в районах исследования, наличие захоронения опасных веществ (отходов), показатель лесистости, другие сопутствующие факторы (по материалам Государственных докладов Комитета природопользования и охраны окружающей среды, лицензирования отдельных видов деятельности Брянской области (2005-2014 гг.)).	2000 ед. информации
Оценка качества жизни и факторов риска здоровью.	Анкетирование подростков.	594 подростка в возрасте 15-17 лет
Анализ заболеваемости детей и подростков.	Популяция детей (0-14 лет) и подростков (14-17 лет) Государственная форма отчетности №12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания лечебного учреждения», №31 «Сведения о медицинской помощи детям и подросткам-школьникам» за 5 лет (2002 – 2006, 2007-2014 гг.), анализ статистических данных о заболеваемости детского населения за пятилетний период (по статистическим материалам о здоровье населения и работе учреждений здравоохранения Брянской области (2001-2014 гг.)).	40 статистических форм в динамике за 2001-2014 гг., 2000 ед. информации
Оценка количественных зависимостей между факторами среды обитания и здоровьем детей и подростков	Статистическая и математическая обработка.	
Оценка эффективности комплексно-целевой программы школ здоровья	Анализ анкет учащихся, учителей и родителей «Школ здоровья» в Брянской, Калужской, Орловской областях по результатам анкетирования и данным статистической отчетности «Школ здоровья».	200 анкет, КЦП школы здоровья



Полученные результаты свидетельствуют о том, что подростки из г. Новозыбкова и г. Дятьково живут в более обеспеченных семьях, а материальное обеспечение из г. Почеп статистически достоверно ниже ( $p < 0,05$ ).

Анализ жилищных условий позволил установить, что  $80,2\% \pm 3,1$ ,  $72,2\% \pm 2,6$  и  $55,6\% \pm 1,6$  подростков из г. Почеп г. Новозыбкова и г. Дятьково соответственно проживают в частных домах ( $p < 0,05$ ). Абсолютное большинство опрошенных  $75,4\% \pm 2,7$  подростков из г. Новозыбкова,  $70,0\% \pm 2,4$  из г. Почеп и  $72,7\% \pm 2,3$  из г. Дятьково ( $p < 0,05$ ) удовлетворены благоустройством и микроклиматом своего дома.

По мнению подростков из г. Дятьково только  $48,9\% \pm 0,1$  из них проживают в благоприятных условиях, в то время как с точки зрения их сверстников из г. Новозыбкова и г. Почеп эта цифра, составляет соответственно  $59,4\% \pm 1,0$  и  $57,1\% \pm 0,7$ . Анализ показывает, что несмотря на радиоактивное загрязнение территории Новозыбковского района, более половины подростков считают, что проживают в благоприятных условиях. Сверстники из Дятьковского района, который относится к району техногенного загрязнения, более объективно оценили состояние окружающей среды.

Одной из основных причин неблагоприятного состояния окружающей среды, по мнению подростков г. Новозыбкова и г. Почеп – радиоактивное загрязнение территории ( $47,4\% \pm 1,4$  и  $41,0\% \pm 1,1$ ), в г. Дятьково – загрязнение атмосферного воздуха ( $28,7\% \pm 0,4$ ). Это свидетельствует о том, что подростки достаточно полно информированы о состоянии окружающей среды, особенно, что касается двух районов Брянской области (г. Новозыбков и г. Дятьково).

Ближайшее социальное окружение детей – это семья, состояние которой во многом определяет качество жизни.  $70,1\% \pm 2,1$ ,  $59,6\% \pm 0,9$  и  $79,7\% \pm 3,1$  подростков из г. Новозыбкова, г. Дятьково и г. Почеп соответственно воспитываются в полных семьях ( $p < 0,05$ ). Образование родителей – существенная характеристика условий, в которых воспитывается подросток. У подростков из г. Новозыбкова  $15,6\% \pm 0,9$  матерей и  $14,1\% \pm 1,8$  отцов имеют высшее образование, среднее специальное –  $41,1\% \pm 0,9$  и  $45,6\% \pm 1,8$  соответственно; у подростков из г. Дятьково – высшее:  $14,5\% \pm 0,7$  и  $13,7\% \pm 0,7$ , среднее специальное –  $28,7\% \pm 0,7$  и  $26,4\% \pm 0,7$ ; у подростков из г. Почеп соответственно: высшее –  $31,2\% \pm 0,5$  и  $31,7\% \pm 0,8$ , среднее специальное –  $29,3\% \pm 0,5$  и  $28,1\% \pm 0,8$ . Таким образом, доля образованных родителей в г. Новозыбкове и в г. Дятьково ниже, чем в г. Почеп ( $p < 0,05$ ).

Опрос подростков о состоянии внутри школьной среды показывает, что подростки в г. Почепе не удовлетворены микроклиматом школьного помещения ( $40,7\% \pm 1,1$ ) в отличие от своих сверстников из г. Новозыбкова и г. Дятьково ( $32,6\% \pm 1,1$  и  $27,1\% \pm 1,7$ ). Более половины подростков из г. Дятьково ( $57,3\% \pm 0,7$ ) успевают отдохнуть на переменах, в г. Новозыбкове и г. Почепе эта цифра составила  $25,7\% \pm 2,5$  и  $27,5\% \pm 2,7$  соответственно.  $78,6\% \pm 2,9$  подростков из г. Новозыбкова,  $67,1\% \pm 1,8$  и  $78,6\% \pm 3,0$  из г. Дятьково и г. Почеп чувствуют усталость к концу рабочего дня ( $p < 0,05$ ).

Изучение вопроса о физической подготовке показывает, что респонденты из трех районов считают уровень физической подготовки высоким. Это свидетельствует о том, что помимо уроков физической культуры, подростки посещают спортивные секции и кружки:  $24,9\% \pm 1,0$  подростков из г. Дятьково посещают спортивные секции и кружки, в то время как в г. Новозыбкове и г. Почепе только  $18,7\% \pm 1,7$  и  $14,3\% \pm 2,3$  соответственно ( $p < 0,05$ ). Поэтому организация учебного процесса и внеклассной работы с учащимися в г. Новозыбкове и г. Почепе требует дополнительного внимания руководящих работников и педагогов.

Исследование качества и характера питания показало, что абсолютное большинство опрошенных питаются дома. Половина подростков из г. Почеп и г. Дятьково ( $56,6\% \pm 1,4$  и  $53,8\% \pm 1,3$ ) получают горячую пищу 3-4 раза в день, тогда как подростки из г. Новозыбкова

только в  $35,8\% \pm 0,7$  случаях ( $p < 0,05$ ). Вопросы анкеты были направлены на получение информации о потреблении основных необходимых в этом возрасте продуктов (мясных, молочных, свежих овощей и фруктов).

Пищевой рацион подростков различных населенных пунктов имеет ряд общих черт, например, ежедневное потребление мясных, кондитерских изделий, а один раз в неделю – рыбных продуктов, еда быстрого приготовления употребляется изредка. Различия в характере питания подростков выражаются в том, что свежие фрукты в г. Новозыбкове и г. Почепе относятся к продуктам ежедневного потребления, а в г. Дятьково – 2-3 раза в неделю. Обращает внимание тот факт, что только подростки из Почепа ежедневно употребляют молоко, в то время как другие респонденты ответили, что молочные продукты употребляют редко.

Изучение результатов анкетирования показывает, что задачи организации сбалансированного питания особенно актуальны для подростков из г. Новозыбкова, г. Дятьково.

Анализ распространенности вредных привычек показал, что их имеют  $25,1\% \pm 1,8$  подростков из г. Новозыбкова,  $37,4\% \pm 1,4$  из г. Дятьково и  $35,6\% \pm 1,6$  из г. Почепа ( $p < 0,05$ ). Распространенность курения среди подростков из г. Дятьково составила  $31,1\% \pm 0,9$ , в то время как в г. Новозыбкове и г. Почепе только  $16,0\% \pm 4,9$  и  $15,9\% \pm 4,4$  опрошенных.  $41,8\% \pm 1,4$  подростков из г. Дятьково,  $20,9\% \pm 4,9$  из г. Новозыбкова и  $32,4\% \pm 3,1$  из г. Почепа периодически употребляют алкоголь ( $p < 0,05$ ). В целом распространенность вредных привычек среди подростков из г. Дятьково выше, чем среди подростков из г. Новозыбкова и г. Почепа. Отличительной чертой социальной среды подростков г. Дятьково является тот факт, что среди взрослого населения Дятьковского района распространение социопатий превышает среднеобластной уровень.

Оценивая собственное здоровье, более половины подростков из обследуемых районов, считают состояние организма удовлетворительным. Учащиеся в г. Новозыбкове и г. Дятькове одним из условий неудовлетворительного здоровья рассматривают состояние окружающей среды, в г. Почепе – хронические заболевания. Ни один из опрошиваемых не указал факторы внутришкольной среды как факторы риска здоровью.

Оценивая психоэмоциональный статус по шкале Л. Ридера, подростки из г. Почепа ( $69,7\% \pm 1,7$ ) и г. Новозыбкова ( $69\% \pm 1,9$ ) живут в более стрессовых ситуациях ( $p < 0,05$ ), в отличие от своих сверстников из г. Дятьково ( $64\% \pm 1,3$ ) (табл. 2).

Таблица 2

Оценка психологического статуса подростков (в % от числа опрошенных)

Уровень стресса	Результаты опроса (в %)		
	г. Новозыбков*	г. Почеп	г. Дятьково*
высокий-средний	$69,0 \pm 1,9$	$69,7 \pm 1,7$	$64,0 \pm 1,3$
низкий	$31,0 \pm 1,9$	$30,2 \pm 1,7$	$36,0 \pm 1,3$

Результаты анкетирования показывают, что факторы риска здоровья широко распространены среди подростков в г. Новозыбкове, г. Дятьково и г. Почепе. У респондентов из г. Новозыбкова выявлены следующие факторы риска здоровью: уровень образования родителей, качество питания, процесс обучения, состояние субъективного самочувствия и психоэмоционального статуса. У подростков из г. Дятьково – наличие и распространенность вредных привычек как фактор риска многих соматических заболеваний, состояние окружающей среды и процесс обучения. Среди подростков г. Почепа преобладают такие факторы риска,

как низкий уровень материального положения, процесс обучения и состояние психоэмоционального статуса.

Данные о распространенности и наличии вредных привычек среди подростков Брянской области свидетельствуют о неблагополучии подросткового контингента и остроте социальной проблемы, связанные с образом жизни молодого поколения. Результаты подтверждают высокую распространенность факторов риска, влияющих на качество жизни в современной популяции, что, безусловно, неблагоприятно для прогноза состояния здоровья в ближайшем будущем.

По мнению подростков, наибольшее значение для формирования личности учащейся молодежи, опыта сбережения собственного здоровья имеют, прежде всего, социальные условия и их благополучие, а также благоприятные условия для личного развития и формирования. Однако, показатели состояния окружающей среды, наиболее актуальные для Брянской области – по данным анкетного опроса у учащейся молодежи не рассматриваются респондентами как рискованные и определяющие качество жизни.

Для разработки системы предложений и программы снижения факторов риска здоровья детского и подросткового населения проводилось исследование в МБОУ СОШ № 62 г. Брянска, которая работает по программе «Школа здоровья». Программа включает изучение курса «Валеология», внедрение здоровьесберегающих технологий в учебный процесс. Анонимное анкетирование проведено с целью выяснения эффективности «Школы здоровья» и выявления распространенности внутришкольных факторов риска здоровью.

Опыт работы «Школы здоровья» может быть использован при разработке программы, направленной на обеспечение физического, психического и социального здоровья школьников, с учетом региональных особенностей социально-экологической ситуации.

#### **Список литературы**

1. Ковалева, Е.Л. Качество жизни детей и подростков в социально-экологическом мониторинге территории (на примере Брянской области): автореферат дис. ... канд. биол. наук / Ковалева Евгения Леонидовна. - Брянск, 2013.
2. Шитов, Г.П. Природные ресурсы и окружающая среда: Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2014 г. / Г.П. Шитов. – Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2015.

#### **Сведения об авторах**

Москаленко Ольга Павловна – кандидат географических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *om3736@gmail.com*.

Ковалева Евгения Леонидовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *zhenya\_2584@mail.ru*.

### **SOCIO-ECOLOGICAL RESEARCH ON CHILDREN'S QUALITY OF LIFE IN BRYANSK REGION**

Moskalenko O.P., Kovaleva E.L.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Quality of life evaluation was validated and applied according to the results of the survey of children's and teenagers' quality of life assessment index. The connection between the impact of anthropogenic factors and children's and teenagers' health complex index was detected.

**Key words:** *quality of life, socio-ecological monitoring, disease incidence, questionnaire survey.*

### **References**

1. Kovaleva E.L. *Kachestvo zhizni detey i podrostkov v sotsialno-ekologicheskom monitoringe territorii (na primere Bryanskoj oblasti)* [The quality of life of children and adolescents in socio-ecological monitoring of the territory (on the example of Bryansk region)]. Cand. Diss. (Biology). Bryansk, 2013.

2. Shitov G.P. *Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda: Godovoy doklad ob ekologicheskoy situatsii v Bryanskoj oblasti v 2014 godu* [Natural resources and environment: Annual report on the environmental situation in the Bryansk region in 2014]. Bryansk, Departament prirodnikh resursov i ekologii Bryanskoj oblasti, 2015.

### **Authors' information**

Olga P. Moskalenko - Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of geography, ecology and land management at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *om3736@gmail.com*.

Evgeniya L. Kovaleva - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of geography, ecology and land management at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *zhenya\_2584@mail.ru*.

УДК 911.6

## ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДНЕГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

Псянчин А.В., Хасанова Г.Ф.

Башкирский государственный университет

Рассмотрены проблемы ландшафтно-экологического районирования среднегорий Южного Урала, произведен анализ работ исследователей по физико-географическому и прикладному районированию, разработаны и дополнены методы ландшафтно-экологического районирования, предложена схема ландшафтно-экологического районирования природных комплексов среднегорий Южного Урала.

**Ключевые слова:** ландшафтно-экологическое районирование, ландшафтно-экологическое состояние ландшафтов, антропогенная преобразованность ландшафтов.

Сохранение ландшафтов от антропогенного воздействия, поддержка естественной функциональной организации природных комплексов являются актуальными проблемами для староосвоенных регионов России. Таковыми и являются ландшафты среднегорий Южного Урала, которые длительное время были подвержены воздействию антропогенной нагрузки, что привело к трансформации, фрагментации естественных природных комплексов, снижению биологического разнообразия и устойчивости.

Для характеристики состояния ландшафтов и дальнейшей разработки путей оптимального природопользования необходимо произвести ландшафтно-экологическое районирование территории.

Ландшафтно-экологическое районирование природных комплексов – это комплексное специальное районирование, в задачу которого входит оценка современного состояния ландшафтных комплексов в пределах их естественных границ.

Первые работы по ландшафтному районированию среднегорий Южного Урала сводятся к 20-м гг. XX в., когда с учетом геолого-геоморфологических, климатических и почвенных особенностей были предприняты попытки районирования и отразились в работе С. Неуструева [2].

В 1960–1970 гг. комплексное физико-географическое районирование связано с проведением исследовательских работ в общегосударственном масштабе. Так, в работе В.И. Прокаева [3] Урал выступает как азональная единица – физико-географическая страна – делится по зональным ведущим признакам на области, которые, в свою очередь, по азональным признакам подразделяются на ландшафтные провинции. Таким образом, Южный Урал оказывается в лесостепной области Урала, которая подразделяется на провинции западных предгорий Южного Урала, западного горного Южного Урала, восточного горного Южного Урала; восточных предгорий Южного Урала.

Физико-географическое и эколого-географическое районирование, разработанное А.В. Шакировым имеет следующую систему таксономических единиц: зона, провинция, округ, район [5]. При разработке схемы эколого-географического районирования автор учитывал физико-географические, ландшафтно-геохимические условия, степень освоенности территории, устойчивость к техногенным нагрузкам, способность среды к самоочищению и темпы самовосстановления природных комплексов. На основе оценки уровня комплексного антропогенного воздействия выделяются эколого-географические районы, которые систематизируются по геоэкологической ситуации как: 1) удовлетворительная; 2) конфликтная; 3) критическая. Он оценивает напряженность геоэкологической ситуации ландшафтов Южного Урала как удовлетворительную.

Фундаментальное физико-географическое районирование Башкирской АССР принадлежит И.П. Кадильникову [4]. Для территории БАССР за основу таксономии районирования автор принимает систему физико-географических единиц, рекомендованную Методическим

бюро вузов по физико-географическому районированию: для гор – страна, область, провинция, подпровинция, округ, район.

Страна – высшая единица физико-географического районирования. Она отличается общностью геологического строения и рельефа, определенной степенью континентальности климата и закономерным сочетанием зональных компонентов. Более низкой ступенью районирования является область, имеющая специфические природные особенности. Область принята за самую крупную единицу районирования, соответствующая региону расположения гор Южного Урала. Провинция выделяется как часть области с определенными геолого-геоморфологическими и климатическими особенностями, находящими отражение в зональных особенностях территории и в их изменении. Подпровинция выделяется степенью проявления особенностей горных провинций, находящихся в выражении во всем природном комплексе [4]. При выделении округов было обращено внимание на: 1) тип вовлеченности ландшафтов территории в хозяйство; 2) соотношение естественных и антропогенных элементов ландшафтов, их функциональной нагрузке [1].

Интегральные показатели, по которым определялось ландшафтно-экологическое состояние природных комплексов, указаны в таблице.

Дальнейшая работа состояла из наложения соответствующих тематических карт и обработка в программе CorelDRAW X6 Graphic.

Таблица

Перечень факторов для ландшафтно-экологического районирования природных комплексов среднегорий Южного Урала

Интегральные факторы	Оценочные факторы
Влияние климатических факторов на процесс саморегуляции и самовосстановления ландшафтов	1. Индекс биологической эффективности климата 2. Континентальность климата 3. Индекс суровости погоды
Устойчивость природных комплексов к внешнему воздействию	1. Устойчивость природных комплексов к внешнему воздействию
Антропогенная преобразованность природных комплексов	1. Антропогенная преобразованность ландшафтов 2. Антропогенное воздействие на ландшафты 3. Совокупное воздействие антропогенного и природного факторов на природные комплексы 4. Преобладающие факторы, способствующие трансформации ландшафтов 5. Интенсивность трансформации ландшафтов
Современное состояние компонентов ландшафтов	1. Защищенность природных комплексов от антропогенного воздействия 2. Соотношение рудеральных видов к общему числу видов 3. Соотношение адвентивных видов к общему числу видов. 4. Стадии сукцессии ландшафтных комплексов
Трансформированность природных комплексов	1. Пастбищно-дигрессионно-трансформированные 2. Техногенно-трансформированные 3. Пирогенно-трансформированные 4. Трансформированные ландшафтные комплексы под воздействием лесохозяйственной деятельности
Оценка современного состояния природных комплексов	1. Современное состояние природных комплексов

На основе анализа полученных результатов исследуемая территория была подразделена на 1 область (горы Южного Урала); на 1 провинцию (горно-лесная среднегорий Южно-

го Урала); на 3 подпровинции (горно-лесная подпровинция среднегорья Башкирского поднятия, горно-лесная и горно-лесостепная подпровинция низко- и среднегорья района массивов Крака, горно-лесная подпровинция низко- и среднегорья водораздельного хребта Уралтау); на 6 округов (рис. 1).

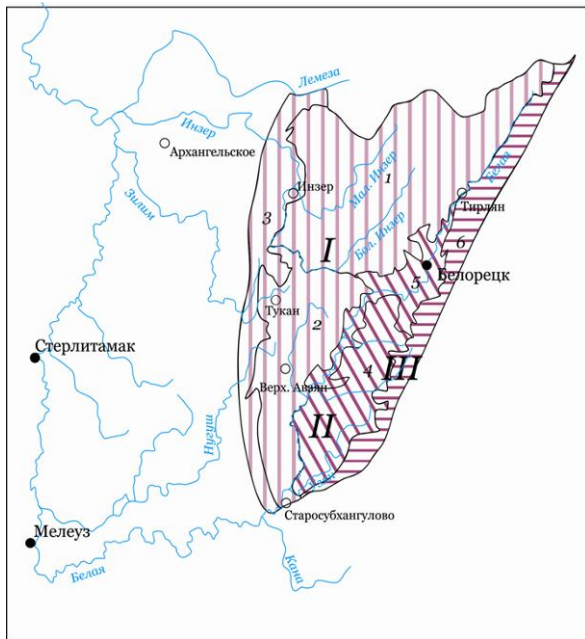


Рис. 1. Ландшафтно-экологическое районирование природных комплексов среднегорий Южного Урала

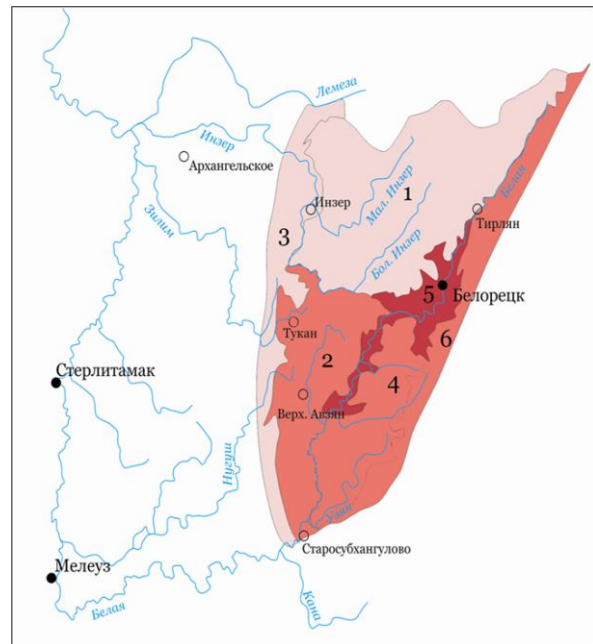


Рис. 2. Ландшафтно-экологическое состояние природных комплексов среднегорий Южного Урала

Условные знаки

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f8d7da; border: 1px solid #c6c8ca;"></span>	Благоприятное
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f4cccc; border: 1px solid #c6c8ca;"></span>	Удовлетворительное
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #e06666; border: 1px solid #c6c8ca;"></span>	Напряженное

Цифрами на карте обозначены:

*Подпровинции:*

I - горно-лесная подпровинция среднегорья Башкирского поднятия;

II - горно-лесная и горно-лесостепная подпровинция низко- и среднегорья района массивов Крака;

III - горно-лесная подпровинция низко- и среднегорья водораздельного хребта Уралтау.

*Округа:*

1 - горно-таежные, лесолуговые, субгольцовые, горно-тундровые и гольцовые ландшафтные комплексы на дерново-подзолистых почвах Белягушско-Машакско-Иремельского сильно расчлененного среднегорья;

2 - сосново-лиственнично-березовые с примесью липы ландшафтные комплексы на серых лесных почвах Юрматауско-Баштауского среднерасчлененного среднегорья;

3 - елово-пихтово-липово-дубовые и сосново-березово-липово-дубовые ландшафтные комплексы на серых лесных почвах Зильмердакско-Базальского сильно расчлененного низко- и среднегорья;

4 - сосново-березово-лиственничные ландшафтные комплексы с сочетанием горных лесостепей на южных склонах на серых лесных и черноземовидных почвах Кракинского сильно расчлененного среднегорного хребта;

5 - сосново-березово-лиственничные ландшафтные комплексы с элементами горных лесостепей на горных черноземах Прибельско-Прикракинского увалистого межгорного понижения;

6 - березово-осиново-сосново-лиственничные ландшафтные комплексы с сочетанием горных лугов на дерново-таежных кислых и серых лесных почвах западного склона Уралтауского сопочно-увалистого среднегорного хребта.

В результате исследований было выявлено следующее: наиболее благоприятная ситуация наблюдается в горно-таежных, лесолуговых, субгольцовых, горно-тундровых и гольцовых ландшафтных комплексах на дерново-подзолистых почвах Белягушско-Машакско-Иремельского сильно расчлененного среднегорья, где большая часть территории находится в заповедных условиях и хозяйственная деятельность носит локальный характер (рис. 2). Аналогичная ландшафтно-экологическая обстановка сложилась в елово-пихтово-липово-дубовых и сосново-березово-липово-дубовых ландшафтных комплексах на серых лесных почвах Зильмердакско-Базальского сильно расчлененного низко- и среднегорья. Более сложное положение имеют сосново-березово-лиственничные ландшафтные комплексы с сочетанием горных лесостепей на южных склонах на серых лесных и черноземовидных почвах Кракинского сильно расчлененного среднегорного хребта; сосново-лиственнично-березовые с примесью липы ландшафтные комплексы на серых лесных почвах Юрматауско-Баштауского среднерасчлененного среднегорья; березово-осиново-сосново-лиственничные ландшафтные комплексы с сочетанием горных лугов на дерново-таежных кислых и серых лесных почвах западного склона Уралтауского сопочно-увалистого среднегорного хребта, где ландшафтно-экологическое состояние оценивается как удовлетворительное, что является последствием долговременной лесохозяйственной, сельскохозяйственной деятельности и горнодобывающей промышленности.

Напряженное ландшафтно-экологическое состояние характерно для сосново-березово-лиственничных ландшафтных комплексов с элементами горных лесостепей на горных черноземах Прикракинского увалистого межгорного понижения: большая часть территории представлена антропогенно преобразованными ландшафтами, в которые входят селитебные, пастбищные, лесохозяйственные, пирогенные, карьерно-отвальные и другие комплексы.

### **Список литературы**

1. Алексеев, И.А. Ландшафтное районирование и комплексная оценка ландшафтов южной части Амурско-Зейского междуречья: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23 / Алексеев Игорь Александрович. – Благовещенск, 2004. – 184 с.
2. Неуструев, С. Естественные районы Оренбургской губернии (географический очерк) / С. Неуструев. – Оренбург, 1918. – 191 с.
3. Прокаев, В.И. Физико-географическое районирование Свердловской области в связи с районирование Западной Сибири / В.И. Прокаев, А.М. Оленев // Сиб. геогр. сб. - 1962. - № 1. – С.96-118.
4. Физико-географическое районирование Башкирской АССР / под ред. И.П. Кадильникова // Ученые записки. – 1964. - Т. XVI (серия географическая). - №1. – 210 с.
5. Шакиров, А.В. Эколого-географическое районирование Башкортостана / А.В. Шакиров. – М.: Химия, 2003. – 356 с.

### **Сведения об авторах**

Псянчин Айбулат Валиевич – доктор географических наук, заведующий кафедрой физической географии, краеведения и туризма географического факультета Башкирского государственного университета, *psyanchin@mail.ru*.

Хасанова Галима Фаритовна – аспирант кафедры физической географии, краеведения и туризма географического факультета Башкирского государственного университета, *galimakhasanova@gmail.com*.



## LANDSCAPE-ECOLOGICAL ZONING LANDSCAPES OF MEDIUM-HIGH MOUNTAINS OF THE SOUTHERN URAL

Psyanchin A.V., Khasanova G.F.

Bashkir State University

The problems of landscape-ecological zoning landscapes of medium-high mountains of the Southern Urals, the analysis of the work of researchers in physical-geographical zoning and applied, developed and supplemented by methods of landscape-ecological zoning, the scheme of the landscape-ecological zoning landscapes of medium-high mountains of the Southern Urals.

**Keywords:** *landscape-ecological zoning, landscape and ecological condition of landscapes, anthropogenic transformation of landscapes.*

### References

1. Alekseev I.A. *Landshaftnoe rayonirovanie i kompleksnaya otsenka landshaftov yuzhnoy chasti Amursko-Zeyskogo mezhdurechya* [Landscape zoning and comprehensive assessment of the landscapes of the southern Amur-Zeya interfluve]. Cand. Diss. (Geography). Blagoveshchensk. 2004. 184 p.
2. Neustruev S. *Estestvennyye rayony Orenburgskoy gubernii (geograficheskiy ocherk)* [Natural districts of the Orenburg province (geographical essays)]. Orenburg, 1918. 191 p.
3. Prokaev V.I., Olenev A.M. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Sverdlovskoy oblasti v svyazi s rayonirovaniem Zapadnoy Sibiri* [Physico-geographical zoning of the Sverdlovsk region in connection with the zoning of Western Siberia]. *Sibirskiy geograficheskiy sbornik*, 1962, No.1, pp. 96–118.
4. Kadilnikov I.P. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Bashkirskoy ASSR* [Physico-geographical zoning of the Bashkir ASSR]. *Uchenye zapiski*, 1964, Vol. XVI (geographical series), No.1. 210 p.
5. Shakirov A.V. *Ekologo-geograficheskoe rayonirovanie Bashkortostana* [Ecological-geographical zoning of the Republic of Bashkortostan]. Moscow, Himiya, 2003. 356 p.

### Authors' information

Aybulat V. Psyanchin - Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Physical geography, Regional studies and Tourism of the Geography Faculty at the Bashkir State University, *psyanchin@mail.ru*.

Galima F. Khasanova – post-graduate student of the Department of Physical geography, Regional studies and Tourism of the Geography Faculty at the Bashkir State University, *galimakhasanova@gmail.com*.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 164247

**ПРИВОДНАЯ ПОДВЕСКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С  
ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ**

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

Автор(ы): *см. на обороте*


Заявка № 2016108456

Приоритет полезной модели 09 марта 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 05 августа 2016 г.

Срок действия патента истекает 09 марта 2026 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Изrael



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **164 247** <sup>(13)</sup> **U1**

(51) МПК  
B65G 15/60 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

(21)(22) Заявка: 2016108456/11, 09.03.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.03.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.03.2016

(45) Опубликовано: 20.08.2016 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14, Брянский  
государственный университет им. акад. И.Г.  
Петровского

(72) Автор(ы):

Лагерев Александр Валерьевич (RU),  
Толкачев Евгений Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

**(54) ПРИВОДНАЯ ПОДВЕСКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ**

(57) Формула полезной модели

1. Приводная подвеска конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, содержащая металлоконструкцию с кронштейнами для присоединения узла крепления ленты и установленными на ней холостыми роликами, а также прижимной механизм с приводом и колесом, отличающаяся тем, что металлоконструкция выполнена в виде плоского пространственного каркаса, по одну сторону которого установлены три холостых ролика, имеющих округлую вогнутую форму поверхности качения: два грузонесущих, расположенных в верхней части подвески, и один предохранительный, закрепленный в нижней части подвески, при этом прижимной механизм подвески содержит пружину и регулировочную гайку, установленные на штоке, проходящем через отверстия в металлоконструкции, соответствующие поперечному сечению штока в виде симметрично усеченной с двух противоположных сторон окружности, причем на конце штока, в проушине, закреплена ось приводного механизма, представляющего собой мотор-колесо, имеющего обод с округлой вогнутой формой поверхности качения, выполненный из фрикционного материала.

2. Приводная подвеска по п. 1, отличающаяся тем, что прижимной механизм подвески состоит из пары штоков, между проушинами которых устанавливается траверса для закрепления оси мотор-колеса, при этом поперечное сечение штоков и соответствующие им отверстия в металлоконструкции выполнены в виде окружности, а поперечные сечения цапф траверсы и соответствующие им отверстия в проушинах штока имеют вид симметрично усеченной с двух противоположных сторон окружности.

3. Приводная подвеска по п. 1, отличающаяся тем, что форма поверхности качения холостых роликов выполнена вогнутой конической.

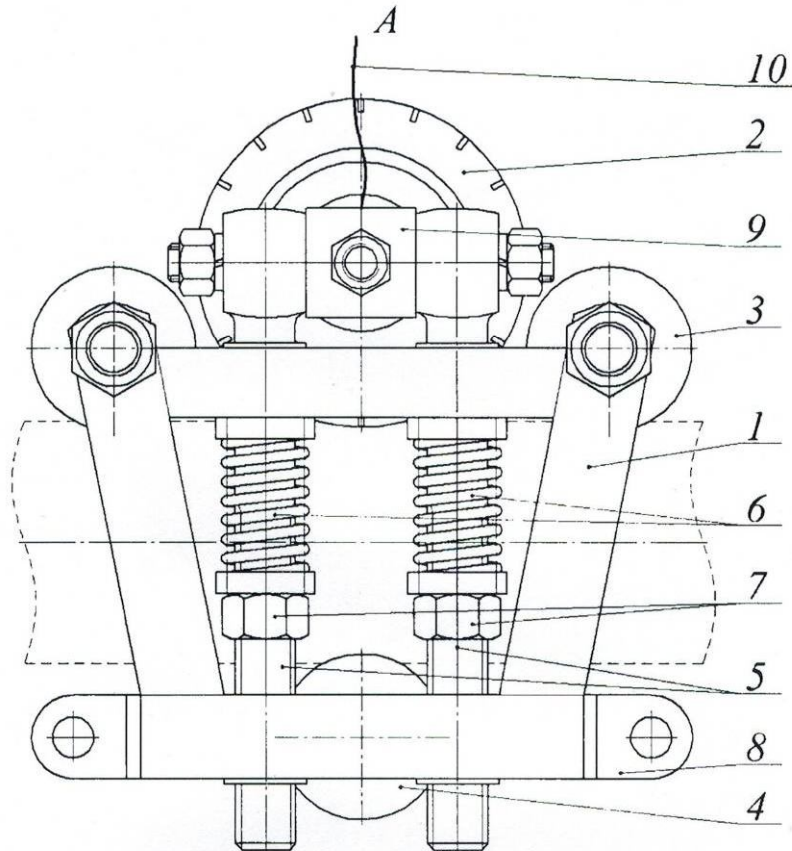
4. Приводная подвеска по п. 1, отличающаяся тем, что обод мотор-колеса имеет цилиндрическую или вогнутую коническую форму поверхности качения.

RU 164247 U1

RU 164247 U1

5. Приводная подвеска по п. 1, отличающаяся тем, что обод мотор-колеса имеет рифленую поверхность качения.

6. Приводная подвеска по п. 1, отличающаяся тем, что шток имеет конструктивные элементы, например паз или шлицы, ограничивающие его вращение относительно продольной оси, а в металлоконструкции подвески - отверстия соответствующего сечения.



RU 164247 U1

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

**отдел инновационного развития**

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

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ru

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016618964

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом»**

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

Авторы: *Лазерев Александр Валерьевич (RU), Толкачев Евгений Николаевич (RU), Лазерев Игорь Александрович (RU)*

Заявка № 2016614297

Дата поступления 26 апреля 2016 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 10 августа 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2016618964



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):  
2016618964

Дата регистрации: 10.08.2016

Номер и дата поступления заявки:  
2016614297 26.04.2016

Дата публикации: 20.09.2016

Контактные реквизиты:  
lagerev-bgu@yandex.ru

Авторы:

Лагереv Александр Валерьевич (RU),  
Толкачев Евгений Николаевич (RU),  
Лагереv Игорь Александрович (RU)

Правообладатель:

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

Название программы для ЭВМ:

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом»**

Реферат:

Программа предназначена для автоматизации моделирования кинематики и динамики процессов, происходящих во время эксплуатации ленточных конвейеров с подвесной грузонесущей лентой и распределенным электроприводом. С помощью программы выполняются расчеты, связанные с определением величины и скорости перемещения приводных и не приводных грузонесущих подвесок вдоль трассы конвейера с подвесной лентой. Программа позволяет на этапе проектирования аналогичных типов конвейеров выполнить анализ влияния конструктивных и режимных параметров конвейера на его кинематические и динамические характеристики в течение переходных и стационарного режимов работы, что позволяет конструктору более эффективно выполнять проектирование.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК

Язык программирования: Borland Pascal

Вид и версия операционной системы: Windows XP

Объем программы для ЭВМ: 520 Кб

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