



# *Научно-технический вестник*

БРЯНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Б Р Я Н С К

---

2017(1)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический  
ВЕСТНИК  
Брянского  
государственного  
университета**

**№ 1  
2017**

**Химические науки  
Технические науки  
Науки о Земле**

**Nauchno-tekhnicheskii  
VESTNIK  
Bryanskogo  
gosudarstvennogo  
universiteta**

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

**№ 1  
2017**

**Chemical Science  
Engineering Science  
Earth Science**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 1 (2017). Брянск: РИО БГУ, 2017. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Размещено на официальном сайте журнала: 25.03.2017

**Председатель Редакционного совета:**

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

**Редакционная коллегия:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Н.Г. Ярушкينا* – 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.

© Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2017

© 2017 Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta



The Journal and its metadata are licensed under CC BY-SA

## СОДЕРЖАНИЕ

### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Андоралов А.М., Кузнецов С.В., Афонин М.Б. (Владимир, Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-09-17

Матричный эффект при анализе остаточных количеств пестицидов во фруктах и овощах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с квадруполь-времяпролетным масс-спектрометрическим детектированием ..... 9

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### Машиностроение и машиноведение

Ерохин В.В. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-18-25

Выбор методов реализации геометрической задачи управления устройствами ЧПУ в технологическом оборудовании ..... 18

Лагереv И.А. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-26-45

Предпроектная оптимизация манипуляционной системы с гидравлическим приводом мобильной транспортно-технологической машины ..... 26

Шляхов С.М., Гаврилов Д.Ю. (Саратов, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-46-51

Метод последовательных приближений в задаче рационального распределения пористости при чистом изгибе бруса прямоугольного сечения ..... 46

#### Транспортное, горное и строительное машиностроение

Гончаров К.А., Гришин А.В. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-52-59

Экспериментальный стенд для исследования влияния конструкции промежуточного ленточного привода ленточного конвейера на его рабочие процессы ..... 52

Гончаров К.А., Денисов И.А. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-60-66

Универсальная компоновочная схема металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа ..... 60

Толкачев Е.Н. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-67-80

Влияние некоторых конструктивных и режимных параметров конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом на его технические характеристики ..... 67

#### Информатика, вычислительная техника и управление

Лагереv Д.Г., Бондарева И.В. (Брянск, Россия)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-81-85

Особенности построения скоринговой модели на основе аналитической платформы DEDUCTOR ..... 81

*Лагерев Д.Г., Варламов Д.О. (Брянск, Россия)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-86-91*

Применение платформы управления проектами UPTASK для обеспечения поддержки управленческих решений в IT-сфере ..... 86

*Трубаков А.О., Селейкович М.О. (Брянск, Россия)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-92-98*

Сравнение интерполяционных методов масштабирования растровых изображений ..... 92

### **Транспорт**

*Илесалиев Д.И. (Ташкент, Республика Узбекистан)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-99-106*

К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе ..... 99

*Курилов Е.Г. (Санкт-Петербург, Россия)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-107-111*

К вопросу о перегрузке грузов на приграничных станциях с разной шириной колеи ..... 107

### **НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

*Эргашев С.Ф., Кулдашов О.Х. (Фергана, Республика Узбекистан)*

*DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-112-117*

Устройство для геофизической разведки ..... 112

### **НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Лагерев И.А., Ковальский В.Ф., Толкачев Е.Н., Шатунова Е.А., Лагерев А.В.*

Патент РФ № 165312 на полезную модель «Выносная опора подъемно-транспортной машины» ..... 118

## CONTENT

### CHEMICAL SCIENCE

*Andoralov A.M., Kuznetsov S.V., Afonin M.B. (Vladimir, Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-09-17

Matrix effect in analysis of pesticide residues in fruits and vegetables by high performance liquid chromatography with quadrupole-time of flight mass spectrometry ..... 9

### ENGINEERING SCIENCE

#### Machinery Building and Theoretical Engineering

*Erokhin V.V. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-18-25

The choice of methods of implementation of the geometric control task CNC control in process equipment ..... 18

*Lagerev I.A. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-26-45

Pre-design optimization of the manipulation system with hydraulic drive for mobile transport-technological machine ..... 26

*Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu. (Saratov, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-46-51

Method of consecutive approximations in the problem of rational distribution of porosity at the pure bend of the bar of rectangular section ..... 46

#### Transport, Mining and Construction Machinery

*Goncharov K.A., Grishin A.V. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-52-59

Experimental test bench for the study of impact of intermediate belt drive construction of belt conveyor on its operation ..... 52

*Goncharov K.A., Denisov I.A. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-60-66

Multipurpose layout drawing of metalware of bridge crane load trolley ..... 60

*Tolkachev E.N. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-67-80

Influence of some design and operating parameters of conveyor with suspended belt and distributed drive on the technical specifications ..... 67

#### Informatics, Computer Science and Controlling

*Lagerev D.G., Bondareva I.V. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-81-85

Construction features of scoring models based on DEDUCTOR analytical platform ..... 81

*Lagerev D.G., Varlamov D.O. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-86-91

Application UPTASK project management platform to support management decisions in I.T. .... 86

*Trubakov A.O., Seleykovich M.O. (Bryansk, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-92-98

Comparison of interpolation methods for raster images scaling ..... 92

### **Transport**

*Ilesaliev D.I. (Tashkent, Uzbekistan)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-99-106

To the question about the layout of the racks in the warehouse ..... 99

*Kurilov Ye.G. (Saint-Petersburg, Russian Federation)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-107-111

The issue of transshipment in border station with different gauges ..... 107

### **EARTH SCIENCE**

*Ergashev S.F., Kuldashov O.H. (Fergana, Uzbekistan)*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-112-117

Device for geophysical exploration ..... 112

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

*Lagerev I.A., Kovalskiy V.F., Tolkachev E.N., Shatunova E.A., Lagerev A.V.*

Patent RU No. 165312. An external support of lifting-transport machine ..... 118

УДК 543.544.5.068.7:543.51

## МАТРИЧНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ АНАЛИЗЕ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ ВО ФРУКТАХ И ОВОЩАХ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С КВАДРУПОЛЬ-ВРЕМЯПРОЛЕТНЫМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

Андоралов<sup>1</sup> А.М., Кузнецов<sup>2</sup> С.В., Афонин<sup>2</sup> М.Б.

<sup>1</sup> - Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

<sup>2</sup> - Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Для современного контроля безопасности продуктов питания используются методики, которые позволяют определять большое количество компонентов. Так для определения остаточных количеств пестицидов во фруктах и овощах часто применяются методики с использованием газовой и жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Подобные системы позволяют проводить количественное определение сразу нескольких сотен пестицидов и проводить их идентификацию по характеристическим фрагментам масс-спектра. Основной проблемой при использовании масс-спектрометрического детектирования является матричный эффект, который вызван влиянием компонентов матрицы экстрагируемые вместе с пестицидами из проб. В данной работе были предприняты попытки уменьшить влияние матрицы при анализе остаточных количеств пестицидов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с времяпролетным масс-спектрометром (ВЭЖХ/ВПМС).

**Ключевые слова:** жидкостная хроматография, масс-спектрометрия, ВПМС, пестициды, матричный эффект, остаточные количества, фрукты, овощи, ЭРИ.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-09-17

При анализе пестицидов в количестве 50...200 веществ за одну инъекцию, а такой анализ возможен только с использованием масс-спектрометрических детекторов, с эффектом матрицы возникают большие проблемы. Имеются два варианта:

- делать калибровки на каждый тип матрицы, причем их количество может достигать до 10 за одну серию анализов (30...50 проб);
- компенсировать эффект матрицы изотопо-мечеными (внутренними) стандартными образцами пестицидов.

Оба способа являются дорогостоящими. Поэтому для получения правильных и прецизионных результатов анализа существует необходимость устранить или минимизировать матричные эффекты.

В настоящее время определение остаточных количеств пестицидов все чаще выполняются с применением пробоподготовки QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe – быстрый, простой, дешевый, эффективный, точный и надежный). Экстракцию целевых компонентов в этом способе проводят ацетонитрилом в присутствии буферизирующих солей. Очистку экстрактов от липидов, жиров и белков осуществляют насыпными сорбентами Bondesil-PSA, C18, графитированной сажей, ионообменными смолами и их комбинациями [1-7]. В последнее десятилетие анализ остатков пестицидов в пищевых продуктах и кормах существенно изменился в связи с появлением масс-спектрометров нового поколения. Так, масс-спектрометры высокого разрешения, в частности времяпролетные масс-спектрометры используют все чаще для идентификации и определения органических загрязнителей [6-14]. Такие масс-спектрометры используют и для определения остаточных количеств пестицидов как в сочетании с газовой [6, 7], так и высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ) [8-12].

Нами в работе использовались экстракты, полученные с применением пробоподготовки QuEChERS в соответствии с методическими указаниями по определению остаточных количеств пестицидов ФР.1.31.2010.07610 «Методика измерений остаточных количеств пестицидов в пробах овощей, фруктов, зерна и почв методом хромато-масс-спектрометрии» [16].

По итогам работы ФГБУ «Брянская МВЛ» был сформирован список пестицидов, которые наиболее часто встречаются в пробах овощей и фруктов. Для определения методом

ВЭЖХ-ВПМС выбрано 30 пестицидов, на которые приходится 64 % обнаруженных пестицидов за 2014-2015 гг. В основном это фунгициды и инсектициды, которые активно используются при выращивании фруктов и овощей.

*Аппаратура.* В работе использовали жидкостной хроматограф «UltiMate 3000» (Thermo Scientific, США) с тандемным квадруполь-времяпролетным «maXis impact» (Bruker, Германия) масс-спектрометрическим детектором. Разделение проводили на колонке (150×2,1 мм) Acclaim 120 C18 (3 мкм) (Thermo Scientific, США) в режиме градиентного элюирования подвижной фазы.

*Реактивы.* Использовали стандартные образцы пестицидов (Sigma-Aldrich): диазинон, диметоат, диметоморф, дифеноконазол, имазалил, имидаклоприд, крезоксим-метил, металаксил, метрибузин, метсульфурон-метил, пириметанил, пиримикарб, пиримифос-метил, пирпроксифен, пироклостробин, пропаргит, пропиканазол, прохлораз, спироksamин, тебуканазол, тиабендазол, тиофанат-метил, триасульфурон, трибенурон-метил, трифлуксистробин, феназахин, фенаримол, феноксапроп-П-этил, флутриафол, ципроканазол.

Исходные стандартные растворы с концентрацией 1 мг/мл готовили в ацетонитриле. Рабочие растворы готовили путем разбавления исходных ацетонитрилом в день использования.

Использовали смесь для экстракции SupelTM QuE Citrate (EN) Tube 55227-U (SUPELCO) и смесь для очистки экстракта SupelTM QuE PSA (EN) Tube 55228-U (SUPELCO) по методу QuEChERS. Ацетонитрил ОСЧ (НПК «КРИОХРОМ»), метанол (Merck Millipore), формиат аммония (Fluka), муравьиная кислота (Sigma-Aldrich), изопропанол ОСЧ (АО Рехим).

*Условия хроматографического разделения и детектирования.* Использовали подвижную фазу: вода с содержанием 5мМ формиата аммония и 0,01 %-й муравьиной кислоты (фаза А), метанол с содержанием 5мМ формиата и 0,01 %-й муравьиной кислоты (фаза В). Градиент подвижной фазы представлен в табл. 1. Температура колонки 30°C, объем вводимой пробы 5 мкл.

Таблица 1

Градиент подвижной фазы

Время, мин	Скорость подвижной фазы, мл/мин	А, %
0,00	0,2	95
0,40	0,2	95
0,45	0,6	95
1,15	0,6	30
3,15	0,6	0
4,65	0,6	0
4,75	0,6	95
6,00	0,6	95

Тандемный квадруполь-времяпролетный масс-спектрометрический детектор «maXis impact» был настроен на одновременное сканирование МС-спектров и МС/МС-спектров. При обработке данных выделяли хроматограммы характеристических ионов пестицидов с точностью ±5мДа. Молекулярный ион (для количественного анализа) выделяли из МС-спектров, а ионы-фрагменты (для идентификации) - из МС/МС-спектров с энергией фрагментации 25 эВ. При сканировании были установлены следующие оптимальные значения параметров: напряжение на щитке капилляра – 400 В, на капилляре – 1000 В, давление газа распылителя – 4 атм, поток газа осушителя азота– 3 л/мин, температура газа осушителя – 300°C, поток газа испарителя азота - 250 л/час, температура газа испарителя – 350°C, время трансфера ионов – 20...70 мкс, время задержки перед импульсом – 6 мкс. Времена удерживания и основные массы ионов определяемых пестицидов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Времена удерживания и измеряемые массы ионов пестицидов

Пестицид	Формула	Время удерживания $t_R$ , мин	Масса иона, $[M+H]^+$ $m/z$	$\Delta$ , мДа	mSigma
Диазинон	$C_{12}H_{21}N_2O_5P_1S_1$	3.40	305.1083	1.7	40.4
Диметоат	$C_5H_{12}N_1O_2P_1S_2$	2.22	230.0069	0.2	15.2
Диметоморф	$C_{21}H_{22}C_{11}N_1O_4$	2.91/3.01	388.1310	-0.8	24.2
Дифенокназол	$C_{19}H_{17}Cl_2N_2O_2$	3.52	406.0720	0.5	36.5
Имазалил	$C_{14}H_{14}Cl_2N_2O_1$	2.97	297.0556	1.8	36.6
Имидаклоприд	$C_9H_{10}C_{11}N_5O_2$	2.13	256.0596	-0.5	37.1
Крезоксим-метил	$C_{12}H_{19}N_1O_4$	3.32	314.1387	0	15.3
Металаксил	$C_{12}H_{21}N_1O_4$	2.73	280.1543	1.3	12.1
Метрибузин	$C_8H_{14}N_4O_1S_1$	2.60	215.0961	0.6	36.8
Метсульфурон-метил	$C_{14}H_{15}N_5O_5S_1$	2.36	382.0816	-1.3	12.5
Пириметанил	$C_{12}H_{12}N_2$	3.07	200.1182	0.8	11.7
Пиримикарб	$C_{11}H_{12}N_4O_2$	2.69	239.1503	-0.5	11.8
Пиримифос-метил	$C_{11}H_{20}N_2O_5P_1S_1$	3.51	306.1036	2.3	9.3
Пирипроксифен	$C_{20}H_{19}N_1O_2$	3.85	322.1438	2.1	30.4
Пироклостробин	$C_{19}H_{18}C_{11}N_2O_4$	3.41	388.1059	1.5	32.8
Пропаргит (NH4)	$C_{19}H_{29}N_1O_4S_1$	3.88	368.1890	-0.4	20.3
Пропиканазол	$C_{15}H_{17}Cl_2N_2O_2$	3.38	342.0771	-0.4	20.0
Прохлораз	$C_{15}H_{16}Cl_2N_2O_2$	3.46	376.0381	1.3	42.5
Спироксамин	$C_{18}H_{35}N_1O_2$	2.87	298.2741	-2.7	46.7
Тебуканазол	$C_{16}H_{27}C_{11}N_5O_1$	3.35	308.1524	-2.0	12.3
Тиабендазол	$C_{10}H_7N_2S_1$	2.43	202.0433	0.5	44.6
Тиофанат-метил	$C_{12}H_{14}N_4O_4S_2$	2.48	343.0529	1.5	12.3
Триасульфурон	$C_{14}H_{16}Cl_1N_5O_5S_1$	2.38	402.0633	-1.0	23.2
Трибенурон-метил	$C_{15}H_{17}N_5O_5S_1$	2.65	396.0972	0.8	16.6
Трифлуксистробин	$C_{20}H_{19}F_2N_2O_4$	3.49	409.1370	-1.7	29.0
Феназахин	$C_{20}H_{22}N_2O_1$	4.28	307.1805	1.9	40.9
Фенаримол	$C_{17}H_{17}Cl_2N_2O_1$	3.17	331.0399	0.9	49.5
Феноксапроп-П-этил	$C_{18}H_{16}Cl_1N_1O_5$	3.67	362.0790	-1.5	39.1
Флутриафол	$C_{16}H_{12}F_2N_2O_1$	2.67	302.1099	1.8	17.3
Ципроканазол	$C_{15}H_{19}C_{11}N_5O_1$	3.06/3.13	292.1211	0.9	34.9

Идентификацию пестицидов проводили с использованием программы «TargetAnalysis-1.3». Идентификационными параметрами служили время удерживания, точность массы монокриптопного иона ( $m/z$ ) и mSigma (табл. 3). Важный параметр mSigma – соответствие теоретического изотопного распределения практическому. На рис. 1 представлен сгенерированный программой «IsotopePattern» масс-спектр положительных ионов для нитенпирама. Как видно из рис. 2, характер и картина форм изотопных отношений полностью совпадают. Совпадение трех идентификационных параметров в заданных диапазонах в отчете идентификации отмечается в виде +++, что соответствует высокой степени идентификации (100 % по 3-м идентификационным признакам).

*Пробоподготовка.* В центрифужную пробирку емкостью 50 мл вносили навеску измельченного образца массой 10.0 г, добавляли 10 мл ацетонитрила, закрывали пробирку и энергично взбалтывали в течение одной минуты. Затем вносили следующие реактивы: 4.0 г безводного сульфата магния, 1.0 г хлорида натрия, 1.0 г - натрия лимоннокислого тризамещенного двойного гидрата и 0.5 г - натрия лимоннокислого двузамещенного полуторного



Идентификационные параметры

Параметр	Установленное значение
Время удерживания, мин (табл. 2)	±0,2
Масса моноизотопа, мДа (табл. 2)	±5
Сопоставление изотопного распределения, mSigma (рис. 1)	<50

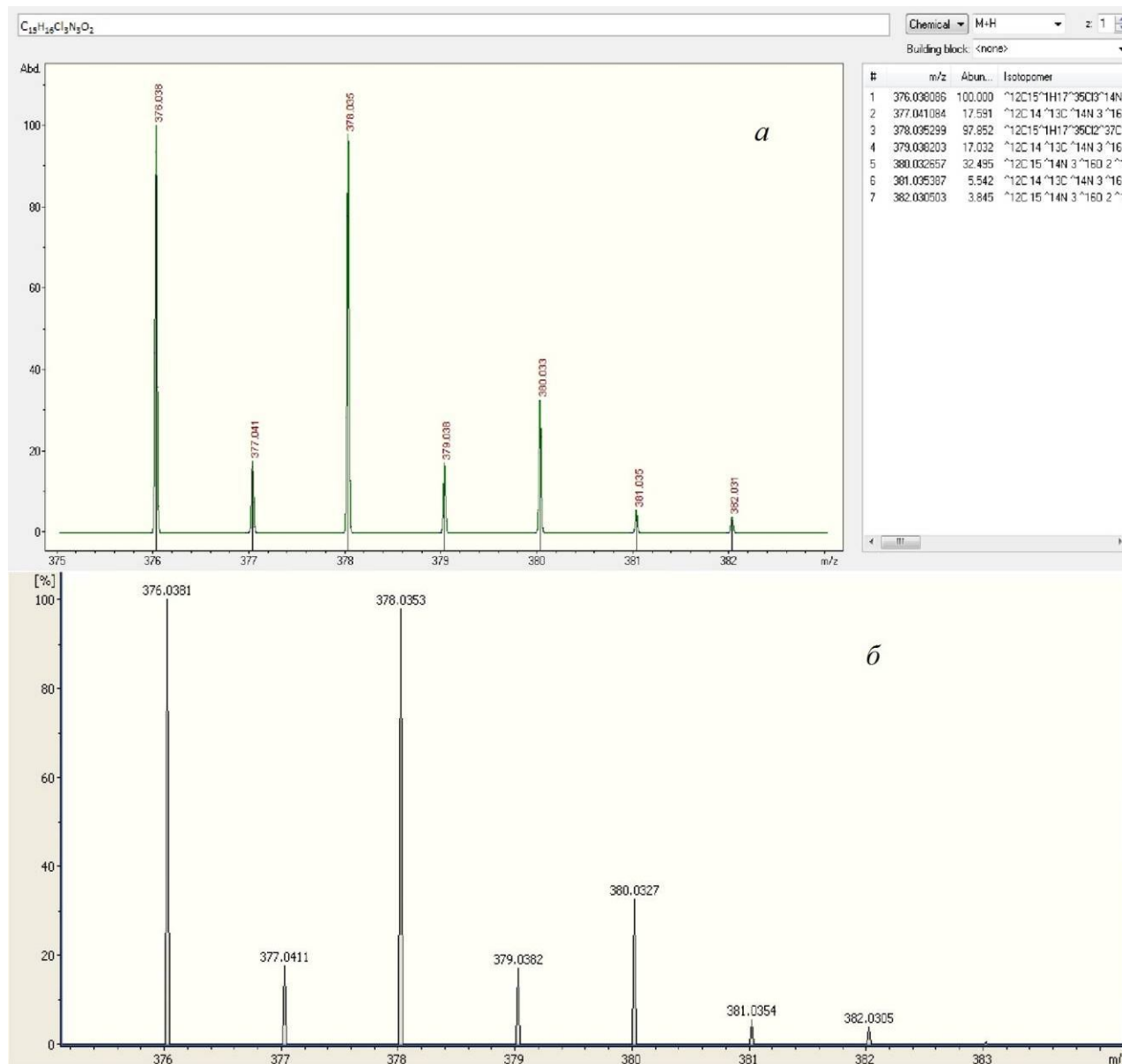


Рис.1. Масс-спектр прохлораза: а - сгенерированный программой «IsotopePattern»; б - полученный экспериментально

гидрата. После внесения реактивов взбалтывали в течение одной минуты (во избежание образования комков) и центрифугировали в течение 5 мин при 3000 об/мин, отбирали 4 мл верхней части экстракта и переносили в центрифужную пробирку емк. 15 мл, которая содержала смесь сорбента Bondesil-PSA (0.5 г) и сульфата магния (0.5 г). Содержимое пробирки энергично встряхивали в течение 30 сек и центрифугировали 5 мин при 3000 об/мин, отбирали экстракт в микрофлакон и хроматографировали

*Результаты.*

Матричный эффект (МЭ) рассматривали на экстрактах различных проб фруктов и овощей (айва, апельсин, виноград, грейпфрут, капуста, лук, мандарин, морковь, свекла, хур-

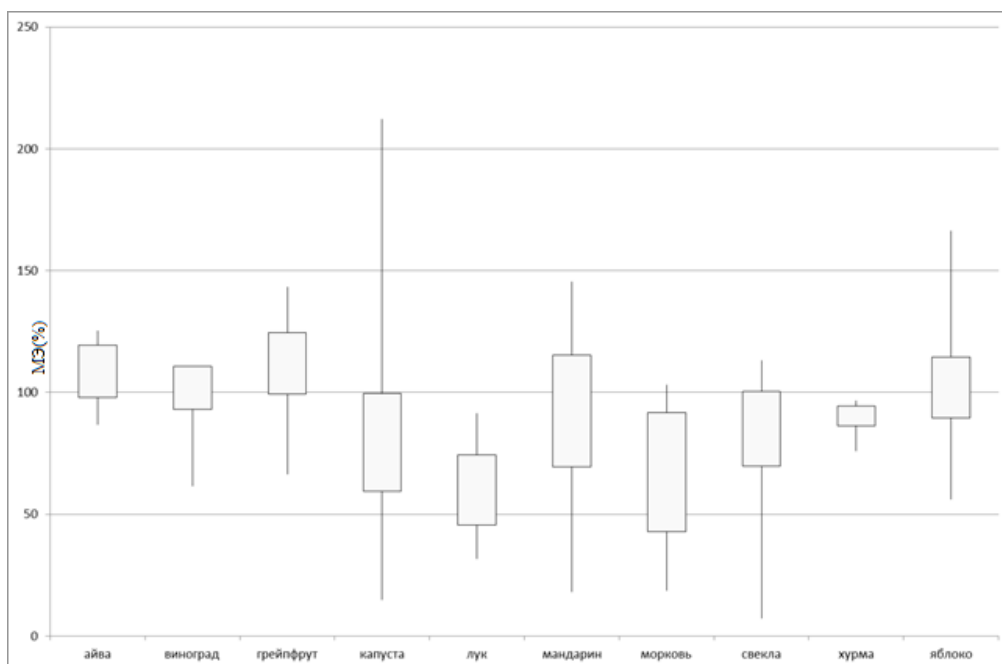


Рис. 2. Матричный эффект по различным типам матриц

ма, яблоко). Матричный эффект представлен на рис. 2 в виде графика отрезков, где осью отмечен полный диапазон всех полученных значений, а телом охвачен диапазон  $MЭ_{\text{среднее}} \pm \text{СКОМЭ}$ .

Матричный эффект МЭ, %, рассчитывали по формуле [17]:

$$MЭ = \frac{A_m}{A_{cm}} \times 100,$$

где  $A_m$  – площадь пика пестицида при внесении стандартного раствора в экстракт пробы в микрофлакон перед проведение хроматографического определения;  $A_{cm}$  – площадь пика пестицида в стандартном растворе той же концентрации, приготовленном на чистом растворителе.

Среднее матричное отклонение СМО, %, было рассчитано как среднее значение абсолютного отклонения от 100% для каждого пестицида из  $n=30$  значений в данной матрице:

$$СМО = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} |MЭ_i - 100|.$$

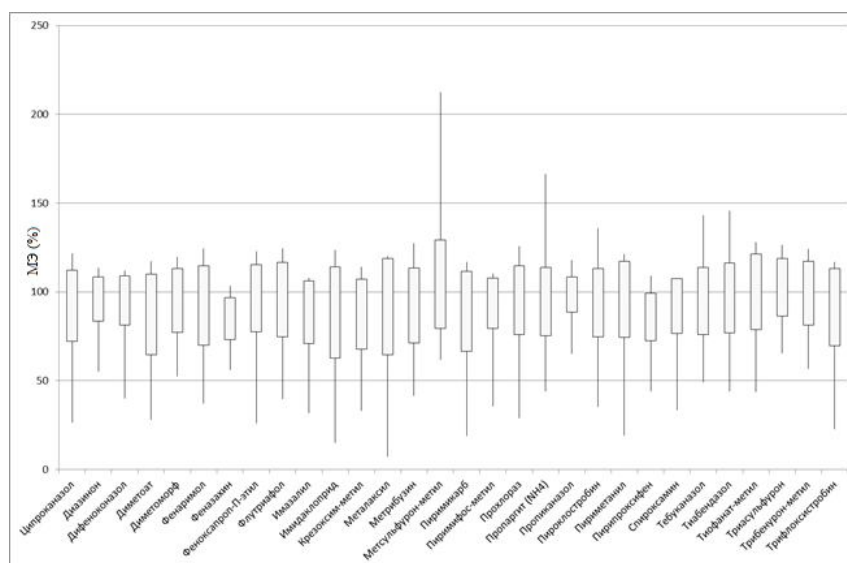


Рис. 3. Матричный эффект по каждому пестициду (распределение по всем типам матриц)

Было сделано предположение о том, что если к экстрактам добавить раствор с большим содержанием ионов, это позволит за счет общего подавления ионизации снизить матричный эффект. В экстракты было добавлено различное количество концентрированного формиатного буфера (2,5 М формиата аммония и 10% муравьиной кислоты). В качестве экстрактов брали смесь всех доступных матриц.

На рис. 4 показана зависимость среднего матричного отклонения от количества добавленного формиатного буфера к экстракту. Как видно, СМО минимально при 50% содержании, то есть при разведении экстракта буфером 1:1. При проведении подобных экспериментов с использованием деионизованной воды наблюдалась схожая картина, что связано, скорее всего, с тем, что при разведении водными растворами ацетонитрильных экстрактов некоторые компоненты матрицы выпадали в осадок, что можно было наблюдать не вооруженным взглядом. После выпадения осадка экстракты фильтровали через шприцевые мембранные фильтры с размером пор 0,2 мкм.

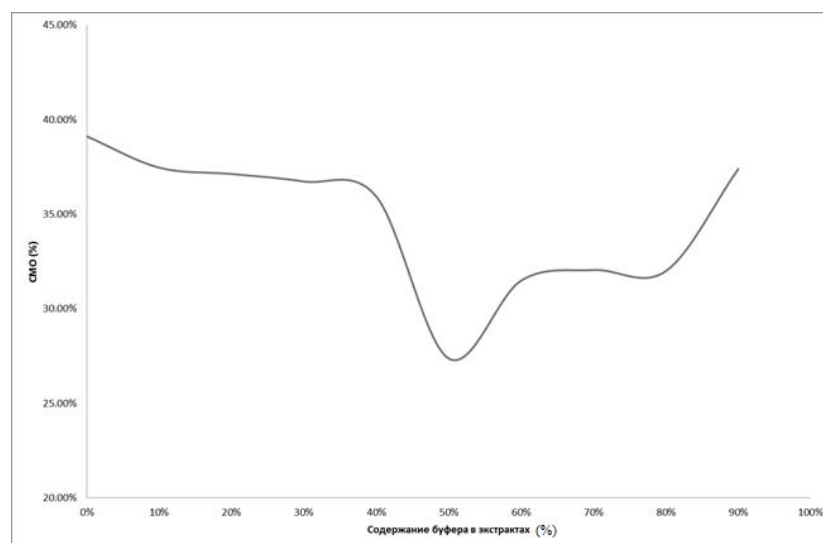


Рис. 4. Изменение среднего матричного отклонения от содержания буфера в экстракте

При более сильном разведении проб водой матричный эффект увеличивается, но также для разведения 1:1 остается значение СМО минимальным. Как видно из рис. 5, разведение водой одинаково влияет на различные типы матриц.

Устранить матричный эффект полностью или значительно снизить его влияние на количественное определение остаточных количеств пестицидов весьма непростая задача. В дальнейшем необходимо рассмотреть другие варианты пробоподготовки. Оптимизация настроек самого масс-спектрометра с целью снижения матричного влияния результатов не дала.

#### Список литературы:

1. Anastassiades M., Lehotay S. J., Stajnbaher D., Schenck F. J.. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce // J. AOAC Int. 86 2003. P. 412-416.
2. Lehotay S.J., Son K.A., Kwon H., Koesukwiwat U., Fu W., Mastovska K., Hoh E., Leepipatpiboon N. Comparison of QuEChERS sample preparation methods for the analysis of pesticide residues in fruits and vegetables // J. Chromatogr. A 2010. V. 1217. P. 2548-2560.
3. Lesueur C., Knittl P., Gartner M., Mentler A., Fuerhacker M. Analysis of 140 pesticides from conventional farming foodstuff samples after extraction with the modified QuEChERS method // Food Contr. 2008. V. 19. P. 906–914.
4. Wilkowska A., Biziuk M. Determination of pesticide residues in food matrices using the QuEChERS methodology // Food Chem. 2011. V. 125. P. 803–812.

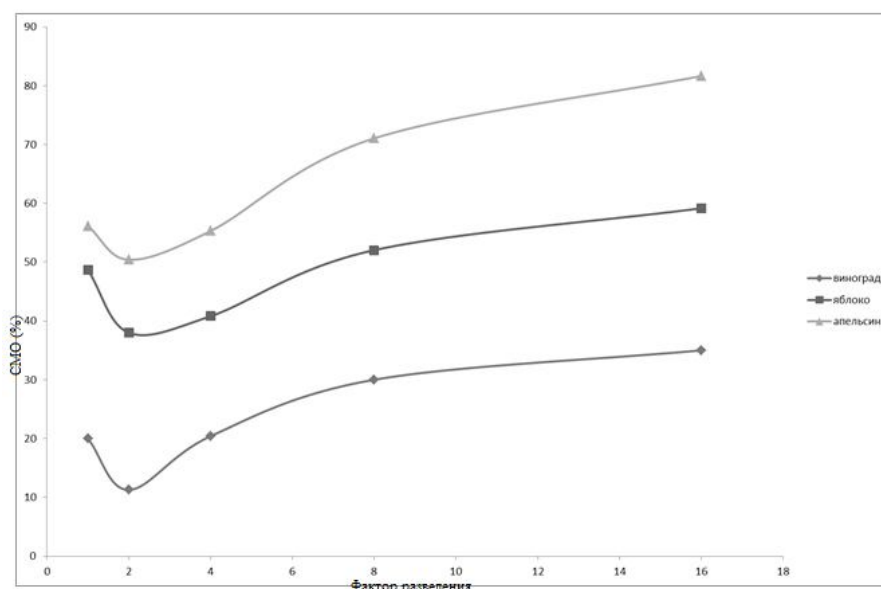


Рис. 5. Изменение среднего матричного отклонения от степени разбавления водой

5. Nguyen T.D., Yu J.E., Lee D.M., Lee G.H. A multiresidue method for the determination of 107 pesticides in cabbage and radish using QuEChERS sample preparation method and gas chromatography mass spectrometry // *Food Chem.* 2008. V.110. P. 207–213.

6. Koesukwiwat U., Sanguankaew K., Leepipatpiboon N. Rapid determination of phenoxy acid residues in rice by modified QuEChERS extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry // *Anal. Chim. Acta* 2008. V. 626. P. 10–20.

7. Koesukwiwat U., Lehotaya S. J., Miao S., Leepipatpiboon N. High throughput analysis of 150 pesticides in fruits and vegetables using QuEChERS and low-pressure gas chromatography–time-of-flight mass spectrometry // *J. Chromatogr. A* 2010. V.1217. P. 6692–6703.

8. Koesukwiwat U., Lehotay S.J., Mastovska K., Dorweiler K.J., Leepipatpiboon N. Extension of the QuEChERS method for pesticide residues in cereals to flaxseeds, peanuts, and doughs // *J. Agric. Food Chem.* 2010. V.58. P. 5950–5958.

9. Amadeo R. Fernandez-Alba, Juan F. Garcia-Reyes Large-scale multi-residue methods for pesticides and their degradation products in food by advanced LC-MS // *Tr. Anal. Chem.* 2008. т V. 27. P. 973-990.

10. Soler C., Pico Y. Recent trends in liquid chromatography-tandem mass spectrometry to determine pesticides and their metabolites in food // *Tr. Anal. Chem.* 2007. V. 26. P.103-115.

11. Thurman E. M., Ferrer I., Fernandez-Alba A. R. Matching unknown empirical formulas to chemical structure using LC/MS TOF accurate mass and database searching: example of unknown pesticides on tomato skins // *J. Chromatogr. A.* 2005. V.1067. P.127–134.

12. Mezcua M., Malato O., Garcia-Reyes J. F., Molina-Diaz A., Fernandez-Alba A. R. Accurate-Mass Databases for Comprehensive Screening of Pesticide Residues in Food by Fast Liquid Chromatography Time-of-Flight Mass Spectrometry // *Anal. Chem.* 2009. V.81. P.913–929.

13. Ferrer I., Thurman E. M., Fernandez-Alba A. R. Quantitation and Accurate Mass Analysis of Pesticides in Vegetables by LC/TOF-MS // *Anal. Chem.* 2005. V.77. P. 818-2825.

14. Lacina O., Urbanova J., Poustka J., Hajslova J. Identification/quantification of multiple pesticide residues in food plants by ultra-high-performance liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry // *J. Chromatogr. A.* 2010. V. 1217. P. 648–659.

15. Ferrer I., Garcia-Reyes J. F., Fernandez-Alba A. Identification and quantitation of pesticides in vegetables by liquid chromatography time-of-flight mass spectrometry // *Tr. Anal. Chem.* 2005. V.24. P. 671-682.

16. ФР.1.31.2010.07610 «Методика измерений остаточных количеств пестицидов в пробах овощей, фруктов, зерна и почв методом хромато-масс-спектрометрии». Россельхознадзор, утвержд. 12.07.2010.

17. B. K. Matuszewski, M. L. Constanzer, and C. M. Chavez-Eng Strategies for the Assessment of Matrix Effect in Quantitative Bioanalytical Methods Based on HPLC-MS/MS // *Anal. Chem.* 2003, V.75, P. 3019-3030.

### **Об авторах**

Андоралов Александр Михайлович - аспирант Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, главный специалист-заместитель начальника Испытательной лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения «Брянская межобластная ветеринарная лаборатория», *andoralov@gmail.com*.

Кузнецов Сергей Викторович – кандидат химических наук, заведующий кафедрой химии ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *passivoxid@mail.ru*.

Афонин Михаил Борисович – магистрант по направлению «Химия» ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *ggg-gik@mail.ru*.

## **MATRIX EFFECT IN ANALYSIS OF PESTICIDE RESIDUES IN FRUITS AND VEGETABLES BY HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY WITH QUADRUPOLE - TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY**

Andoralov<sup>1</sup> A.M., Kuznetsov<sup>2</sup> S.V., Afonin<sup>2</sup> M.B.

<sup>1</sup> - Vladimir State University

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

For modern food safety control are using techniques that allow to determinate a large number of components. So for determination of pesticide residues in fruits and vegetables commonly used methods of gas and liquid chromatography with time-of-flight mass-spectrometric detection. This system allows to carry out quantitative determination several hundreds of pesticides and their identification by the characteristic fragments of the mass spectrum. The main problem when using mass spectrometric detection is a matrix effect, which is caused by the influence of matrix components extracted with pesticides from the sample. In this work, attempts have been made to reduce the influence of the matrix in the analysis of pesticide residues by high performance liquid chromatography with time of flight mass spectrometry (HPLC / TOFMS).

**Keywords:** *liquid chromatography, mass spectrometry, time-of-flight, pesticides, matrix effect, residues, fruits, vegetables, ESI.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-09-17

### **References**

1. Anastassiades M., Lehotay S. J., Stajnbaher D., Schenck F. J.. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. // *J. AOAC Int.* 86 2003. P. 412-416.

2. Lehotay S.J., Son K.A., Kwon H., Koesukwiwat U., Fu W., Mastovska K., Hoh E., Leepipatiboon N. Comparison of QuEChERS sample preparation methods for the analysis of pesticide residues in fruits and vegetables // *J. Chromatogr. A* 2010. V. 1217. P. 2548-2560.

3. Lesueur C., Knittl P., Gartner M., Mentler A., Fuerhacker M. Analysis of 140 pesticides from conventional farming foodstuff samples after extraction with the modified QuEChERS method // *Food Contr.* 2008. V. 19. P. 906–914.

4. Wilkowska A., Biziuk M. Determination of pesticide residues in food matrices using the QuEChERS methodology // *Food Chem.* 2011. V. 125. P. 803–812.

5. Nguyen T.D., Yu J.E., Lee D.M., Lee G.H. A multiresidue method for the determination of 107 pesticides in cabbage and radish using QuEChERS sample preparation method and gas chromatography mass spectrometry // *Food Chem.* 2008. V.110. P. 207–213.
6. Koesukwiwat U, Sanguankaew K, Leepipatpiboon N. Rapid determination of phenoxy acid residues in rice by modified QuEChERS extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry // *Anal. Chim. Acta* 2008. V. 626. P. 10–20.
7. Koesukwiwat U., Lehotaya S. J., Miao S., Leepipatpiboon N. High throughput analysis of 150 pesticides in fruits and vegetables using QuEChERS and low-pressure gas chromatography–time-of-flight mass spectrometry // *J. Chromatogr. A* 2010. V.1217. P. 6692–6703.
8. Koesukwiwat U., Lehotay S.J., Mastovska K., Dorweiler K.J., Leepipatpiboon N. Extension of the QuEChERS method for pesticide residues in cereals to flaxseeds, peanuts, and doughs // *J. Agric. Food Chem.* 2010. V.58. P. 5950–5958.
9. Amadeo R. Fernandez-Alba, Juan F. Garcia-Reyes Large-scale multi-residue methods for pesticides and their degradation products in food by advanced LC-MS // *Tr. Anal. Chem.* 2008.т V. 27. P. 973-990.
10. Soler C., Pico Y. Recent trends in liquid chromatography-tandem mass spectrometry to determine pesticides and their metabolites in food // *Tr. Anal. Chem.* 2007. V. 26. P.103-115.
11. Thurman E. M., Ferrer I., Fernandez-Alba A. R. Matching unknown empirical formulas to chemical structure using LC/MS TOF accurate mass and database searching: example of unknown pesticides on tomato skins // *J. Chromatogr. A.* 2005. V.1067. P.127–134.
12. Mezcuca M., Malato O., Garcia-Reyes J. F., Molina-Diaz A., Fernandez-Alba A. R. Accurate-Mass Databases for Comprehensive Screening of Pesticide Residues in Food by Fast Liquid Chromatography Time-of-Flight Mass Spectrometry // *Anal. Chem.* 2009. V.81. P.913–929.
13. Ferrer I., Thurman E. M., Fernandez-Alba A. R. Quantitation and Accurate Mass Analysis of Pesticides in Vegetables by LC/TOF-MS // *Anal. Chem.* 2005. V.77. P. 818-2825.
14. Lacina O., Urbanova J., Poustka J., Hajslova J. Identification/quantification of multiple pesticide residues in food plants by ultra-high-performance liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry // *J. Chromatogr. A.* 2010. V. 1217. P. 648–659.
15. Ferrer I., Garcia-Reyes J. F., Fernandez-Alba A. Identification and quantitation of pesticides in vegetables by liquid chromatography time-of-flight mass spectrometry // *Tr. Anal. Chem.* 2005. V.24. P. 671-682.
16. FR.1.31.2010.07610 “Methods determination of pesticides residues in samples of vegetables, fruits, grain and soils by HPLC-MS/MS” Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, approved by vice president FGBU “Grain Quality Assessment Center” P. E. Puzyr’kov 12.07.2010.
17. Matuszewski B.K., Constanzer M.L., Chavez-Eng C.M. Strategies for the Assessment of Matrix Effect in Quantitative Bioanalytical Methods Based on HPLC-MS/MS // *Anal. Chem.* 2003, V.75, P. 3019-3030.

#### **Authors' information**

Alexander M. Andoralov – graduate student at Vladimir State University, Deputy chief at Bryansk Interregional Veterinary Laboratory, *andoralov@gmail.com*.

Sergey V. Kuznetsov - Candidate of Chemical Sciences, head of the Department at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *passivoxid@mail.ru*.

Mikhail B. Afonin - undergraduate at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *ggggik@mail.ru*.

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 621.9

## **ВЫБОР МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ ЧПУ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

В.В. Ерохин

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

В статье рассматривается влияние решения геометрической задачи ЧПУ на точность обработки заготовки посредством реализации определенного алгоритма интерполяции и значений дискретности перемещений рабочих органов станка с ЧПУ. Приводятся основные аспекты изучения влияния скорости подачи, закона управления и быстродействия привода на нестабильность контурной скорости обработки, а значит и на качество обрабатываемой поверхности детали. Рассматриваются основные методы управления контурной скоростью режущего инструмента с использованием различных видов интерполяций. Представлены рекомендации по использованию различных видов интерполяторов для обеспечения стабильности контурной скорости режущего инструмента или руки манипулятора (промышленного робота).

**Ключевые слова:** *числовое программное управление, качество обработки, интерполяция, технологическое оборудование.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-18-25

В машино- и приборостроении оборудование с ЧПУ решает основные четыре задачи управления устройствами ЧПУ [4-6]:

- 1) геометрическая задача – управление формообразованием деталей;
- 2) логическая задача – управление дискретной автоматикой станка;
- 3) терминальная задача – управление взаимодействиями окружающей среды с производственной средой (взаимодействие с оператором и управляющей ЭВМ);
- 4) технологическая задача – управление рабочим процессом станка.

Геометрическая задача определяет наибольшую составляющую в обеспечении точности обработки поверхностей заготовки по сравнению с другими задачами управления устройствами ЧПУ.

Для получения необходимого качества обрабатываемых поверхностей требуется обеспечить поддержание заданной контурной скорости с высокой точностью. Следящий привод подач обрабатывает перемещение, заданное УЧПУ, с определенной ошибкой, зависящей от ряда факторов, в том числе от скорости подачи, закона управления и быстродействия привода [1, 5, 6].

Геометрическая задача влияет на точность обработки заготовки посредством реализации определенного алгоритма интерполяции и значений дискретности перемещений рабочих органов станка с ЧПУ [7].

Интерполяция – это вычислительный процесс в устройстве ЧПУ, обеспечивающий переход от укрупненного описания заданного перемещения к оперативным командам в функции времени для исполнительных приводов. Интерполяция в процессе формообразования заготовки в современных устройствах ЧПУ может программно меняться, а, следовательно, влиять на показатели качества обрабатываемых поверхностей заготовки и производительность формообразования заготовки [3, 7].

Дискретность перемещений рабочих органов станка с ЧПУ определяется ценой деления шкалы датчика обратной связи по положению следящего привода. Она постоянна и не может быть изменена в процессе формообразования заготовки.

В машиностроении распространены следующие виды интерполяций: линейная и круговая. Линейная и круговая интерполяции могут быть реализованы по следующим принципам выдачи управляющих дискрет в приводы подачи [1, 3, 7]:

- равномерная;
- по ведущей и ведомой координатам;
- на постоянной несущей частоте.

Далее будем рассматривать только контурную (не позиционную) ЧПУ станка или промышленного робота.



Контурная ошибка при этом прямо пропорциональна скорости подачи и обратно пропорциональна добротности приводов подач, участвующих в формообразовании. При больших подачах ошибки в следящих системах ЧПУ, связанные с изменением управляющего воздействия, составляют значительную часть общей погрешности обработки. Уменьшение этих ошибок может быть обеспечено построением инвариантных или частично инвариантных по управлению систем. В реальных системах ЧПУ из-за ряда нелинейностей (насыщения усилителей, токоограничения и др.) не удается использовать форсирование в полной мере, хотя можно несколько улучшить динамические характеристики.

Уменьшение контурной ошибки достигается увеличением добротности, т.е. расширением полосы пропускания системы, или введением в управляющий приводом сигнал дополнительной составляющей, пропорциональной первой производной путевого задания (сигнал скоростной компенсации) [3]. Однако эти меры, уменьшая контурную ошибку, могут привести к увеличению колебательности и перерегулированию при переходных процессах. Кроме того, быстродействие приводов ограничено величиной допустимых ускорений исполнительного органа станка.

На рис. 1 приведены кривые зависимости между предельным значением скорости  $V$  и добротностью  $D$  при заданном значении ускорения  $a$ . В современном металлообрабатывающем оборудовании с ЧПУ допустимое ускорение составляет  $0,2 \dots 0,4 \text{ м/с}^2$  для высокоточного оборудования и  $0,8 \dots 1,5 \text{ м/с}^2$  для оборудования нормальной точности. При скоростях  $10 \dots 15 \text{ м/мин}$  и допустимом ускорении  $1 \text{ м/с}^2$  для реализации торможения без перерегулирования добротность не должна превышать  $6 \text{ с}^{-1}$ , что недопустимо, так как приводит к большой контурной ошибке.

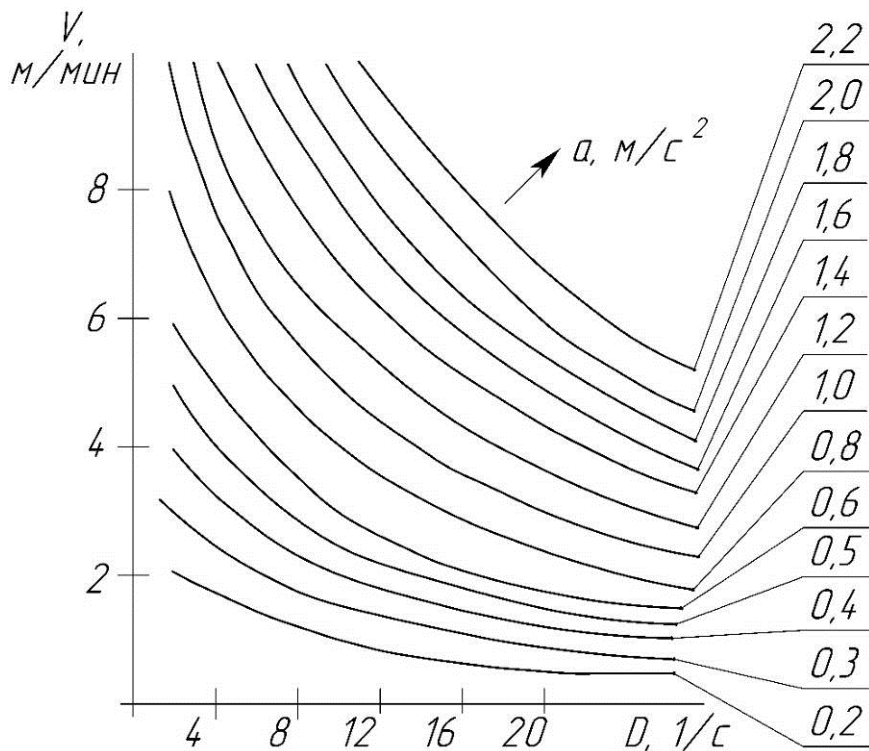


Рис. 1. Зависимость между скоростью  $V$  и добротностью  $D$

При использовании шагового привода с интерполяцией на постоянной несущей частоте, ошибки отработки дискрет не возникает [1, 4, 5,]. Однако при управлении необходимо, чтобы максимальные частоты командных импульсов и скачки этих частот (ускорение) не превышали допустимых для данного привода пределов. Исходя из зависимости (рис. 1) для следящих приводов и ограничений на ускорение для шаговых приводов, в УЧПУ необходимо формировать кривую задания скорости, т.е. при интерполяции задавать законы разгона и



торможения (РТ). Наиболее легко реализуется линейный закон РТ, с помощью которого устраняются ошибки, связанные с запаздыванием, и уменьшается время переходного процесса (по сравнению с экспоненциальным законом).

Требования к формированию характеристик разгона и торможения существенно различаются, так как разгон влияет только на производительность оборудования, а торможение также обеспечивает заданную точность. При торможении недопустимы скачки скорости и ускорения, а также перерегулирование, что приводит к потере точности из-за зарезов, раскрытия люфтов и зазоров.

Формирование законов РТ является одной из задач управления контурной скоростью и характерно для всех видов обработки, кроме нарезания резьбы резцом, что является особой задачей. При контурной обработке закон РТ должен формироваться путем изменения контурной подачи, исходя из минимального допустимого ускорения приводов станка, участвующих в формообразовании. При формировании закона РТ необходимо анализировать общую длину перемещения, заданную в кадре. Если путь, заданный в кадре, меньше пути торможения, то необходимо либо проводить разгон не до заданной скорости, либо в предыдущем кадре провести уменьшение скорости до значения, при котором путь торможения не превышает длины перемещения в данном кадре.

Тесно связана с задачей формирования закона РТ задача учета ускорения, наблюдающегося при отработке дуги окружности. Так как составляющие ускорения изменяются при движении, то можно ограничиться проверкой соответствия ускорения, получившегося из заданных в кадре параметров, и минимального из максимально допустимых ускорений приводов станка. Если получившееся ускорение больше допустимого, тогда необходимо уменьшить контурную подачу.

**Управление контурной скоростью при использовании шаговых методов интерполяции.** Шаговые методы интерполяции применяются в основном для управления шаговыми приводами или формирования задания для следящего привода с аппаратно-замкнутой обратной связью по положению. В обоих случаях не требуется влиять на характеристики привода.

Методы шаговой интерполяции дают равномерную контурную скорость при воспроизведении прямой. При воспроизведении дуги окружности равномерность подачи получается только для метода цифровых дифференциальных анализаторов (ЦДА). При использовании метода оценочной функции (ОФ) контурная скорость при отработке дуги окружности изменяется в  $\sqrt{2}$  раз для плоской и  $\sqrt{3}$  раз для пространственной обработки [2, 4, 5].

Применение шаговых программных интерполяторов ограничено максимально возможной скоростью подачи, которая, в свою очередь, ограничивается максимально возможной частотой прерываний. Применение шаговых интерполяторов, работающих по методу ОФ, позволяет получить скорость, примерно в 1,6 раза большую, чем применение интерполяторов ЦДА. Таким образом, выбор шагового метода интерполяции во многом зависит от требований, предъявляемых к системе: равномерности движения (точности поддержания контурной скорости) или максимальной скорости перемещения.

**Управление контурной скоростью при использовании методов ЦДА.** При этом методе значение контурной скорости определяется шагом интегрирования  $h$ , который является функцией линейного или углового параметра траектории. Таким образом, при использовании алгоритмов ЦДА автоматически обеспечивается постоянство контурной скорости для прямых и дуг окружностей, точность поддержания которой зависит от точности вычисления  $h$ . При этом неточность вычисления приводит к отклонению скорости от заданной. Однако в процессе отработки кадра управляющей программы скорость остается постоянной.

При отработке плоских кривых второго порядка (эллипса, гиперболы, параболы, т.е. кривых с переменным радиусом кривизны) значительно увеличивается нормальное ускорение на наиболее крутых участках профиля, и, следовательно, значение контурной скорости  $V$  должно выбираться таким, чтобы в местах с наименьшим радиусом кривизны нормальное ускорение не превышало максимально допустимого. Усложнения расчетов при интерполя-

ции плоских кривых по сравнению с интерполяцией окружности не происходит тогда, когда в качестве  $h$  используется угловой параметр. Однако в этом случае при движении с  $h = \text{const}$  более крутые участки проходятся с меньшей скоростью, а более пологие – с большей. При поддержании  $V = \text{const}$  приходится пересчитывать  $h$  в зависимости от радиуса кривизны, что приводит к увеличению процессорного времени и, самое главное, времени обработки профиля.

**Управление контурной скоростью при использовании комбинированных методов интерполяции** [1, 4, 6]. В этом управление контурной скоростью для описанных схем различно. При комбинации на уровне вычислений контурная скорость определяется базовым методом, т.е. в данном случае особенности применения комбинации методов не сказываются на контурной скорости.

При комбинации методов на уровне структуры интерполятора необходимо выделить различия для описанных методов. При использовании интерполяции с коррекцией постоянство контурной скорости в основном зависит от применяемого корректирующего алгоритма. Использование градиентного метода коррекции обеспечивает более высокую точность поддержания контурной скорости, чем релаксационного.

При использовании многоэтапных методов (интерполяция с микроинтерполяцией) значение контурной скорости определяется последним (точным) этапом, однако постоянство скорости на различных шагах грубой интерполяции зависит от выбранного параметра. При использовании параметра, линейно-связанного с временем, в интерполируемом законе наряду с геометрическими учитываются технологические функции, затрудненная оперативная коррекция которых требует переменного (программируемого) такта управления.

В интерполятор могут интегрироваться различные задачи. При интегрировании задачи построения эквидистанты и преобразования системы координат интерполируемая и заданная кривые не совпадают. Для всех контуров, кроме линейного, погрешность скорости на обрабатываемой эквидистантой траектории зависит от ее кривизны и размеров инструмента.

Технология обработки иногда требует соблюдения заданного закона изменения контурной скорости, который может быть аппроксимирован с использованием различных видов интерполяции, однако при традиционных методах ОФ трудоемкость интерполяционной задачи значительно увеличивается из-за последовательного выполнения вычислений подачи и координат. Менее трудоемким и более гибким решением является применение параметрической интерполяции (третьего порядка и более высоких).

Для обеспечения требуемых параметров качества изготовления деталей в зависимости от используемого технологического оборудования с ЧПУ приведем следующие рекомендации по использованию различных видов интерполяторов для обеспечения стабильности контурной скорости режущего инструмента или руки манипулятора (промышленного робота).

**Традиционное оборудование.** Сравнительно невысокие требования по точности и небольшие скорости обработки на обычных фрезерных станках позволяют применять любые методы линейной и круговой интерполяции.

Существенными особенностями токарных станков являются работа с подачами на оборот и поддержание постоянной скорости резания, что приводит к изменению контурной скорости в такте интерполяции. Поэтому нецелесообразно применять методы ОФ, трудоемкость которых резко увеличивается, и методы ЦДА, использование которых может привести к накоплению ошибки по радиусу. Однако даже более точные методы ЦДА не всегда обеспечивают соблюдение допусков при обработке дуг малого радиуса, характерных для токарной обработки, без уменьшения параметров технологических режимов. Требуемую точность в этом случае обеспечивают методы интерполяции с коррекцией. Увеличение доли многоцелевых токарных станков, способных выполнять контурное фрезерование при синхронизации вращения шпинделя с поступательным движением инструмента, привело к применению комбинированных методов интерполяции, использующих преобразование координат методами «цифра за цифрой».

Шлифовальные станки являются финишным оборудованием, что определяет повышенные требования к точности интерполяции и плавности интерполируемой траектории (от-

сутствие разрывов первой и второй производных), влияющей на качество обрабатываемой поверхности. Именно для систем ЧПУ шлифовальным оборудованием характерно значительное разнообразие видов интерполяции (эвольвентная, параболическая от второй до пятой степени, тригонометрическая и т.п.), используемых при контурном шлифовании и профилировании абразивных кругов. Эти виды интерполяции требуют применения соответствующих методов ЦДА, «цифра за цифрой», комбинированных многоэтапных для расчета сложных траекторий.

Оптимальная технология шлифования требует применения высоких скоростей рабочих подач (их реальное использование сдерживается качеством управления сервосистемами). Это предъявляет повышенные требования к быстродействию интерполяции. Поэтому наиболее успешно могут быть использованы многоэтапные методы с микроинтерполяцией, которые обладают высоким быстродействием, но уступают другим методам по объему математического обеспечения. Особенностью шлифования является низкая размерная стойкость инструмента, вызванная быстрым износом и необходимостью периодической правки шлифовальных кругов для поддержания режущей способности. Поэтому коррекция, необходимая для сложных траекторий движения или непрерывной правки круга при обработке линейно-круговых контуров, требует применения комбинированных методов с интегрированным эквидистантным и интерполяционным расчетом.

Особенности интерполяционных задач в системах управления электроэрозионными и другими станками, использующими физико-химические методы обработки, связаны с тем, что рабочие подачи, во-первых, ограничены скоростью физико-химического процесса, и, во-вторых, оказывают значительное влияние на точность и качество обработанной поверхности. С этим связаны невысокие требования по быстродействию методов интерполяции и достаточно жесткие ограничения на ошибку поддержания контурной скорости. В этом случае могут быть применены методы «цифра за цифрой», которые позволяют одновременно решить и ряд специфических задач формообразования (управление углом наклона проволоки, ее разворот по нормали к контуру, поддержание межэлектродного зазора и т.д.).

**Специальные станки для пространственной обработки.** К специальным станкам для пространственной обработки относятся станки, использующиеся для обработки по четырем и более координатам одновременно.

Для управления специальными станками обычно используются две концепции:

1) программируется основная зависимость параметров детали, которая в интерполяторе преобразуется в последовательность точек положения узлов станка в многокоординатном пространстве;

2) программируется последовательность опорных точек в многокоординатном пространстве и производится интерполяция между ними.

В случае первой концепции при использовании комбинированных методов интерполяции с интеграцией задачи преобразования одновременно разрешаются проблемы компактной записи управляющей информации и возможности осуществления коррекции управляющей программы как оператором, так и автоматически на размер инструмента. Однако повышенная трудоемкость интерполяции не всегда соответствует возможностям УЧПУ [1, 5]. Аналогичная задача разрешима и при кодовой интерполяции с применением методов «цифра за цифрой». При неортогональности осей и смещении полюса качания алгоритм расчета существенно усложнится, поэтому не может быть реализован в интерполяционной задаче на серийно выпускаемых УЧПУ.

Вычислительная производительность УЧПУ позволяет применять первую концепцию управления лишь при определенном уровне кинематической сложности специальных станков, превышение которого приводит к необходимости использования второй концепции. В этом случае подготовка управляющей программы ведется с использованием систем автоматического программирования на ЭВМ и траектории движения узлов станка представляются в виде параметрических кривых. При этом наиболее часто используется линейная зависимость. Это приводит к значительным объемам управляющей информации и скачкообразному

изменению координатных скоростей в опорных точках. Избежать этих недостатков позволяет применение параметрических кубических парабол для описания координатных перемещений, в которых в качестве параметра используется нормализованная (приведенная к диапазону изменения от 0 до 1) длина траектории. Такой выбор параметра позволяет легко решить проблемы управления контурной скоростью при многокоординатной обработке. При необходимости коррекции (при шлифовании пространственных деталей) могут быть применены бикубические параболы (функции двух параметров).

Перспективным представляется расчет параметрических кубических кривых в системе ЧПУ в фоновом режиме (за суммарное время, остающееся от интерполяционных и других оперативных расчетов при отработке предыдущего кадра управляющей программы). Этот способ совмещает достоинства первой (по объему управляющей программы и возможности ее коррекции) и второй (по невысокой трудоемкости интерполяции) концепций. Меньшая трудоемкость расчетов, чем при интерполяции-преобразовании, объясняется тем, что число участков траектории, описанной сопряженными кубическими параболой, по сравнению с кусочно-линейной аппроксимацией уменьшается в значительно большей степени, чем увеличивается время интерполяционного расчета. Этот способ может быть реализован с использованием многоэтапной интерполяции.

**Промышленные роботы.** При управлении промышленными роботами (ПР) в позиционных и контурных системах управления (СУ) также приходится решать интерполяционную задачу. Позиционные СУ обеспечивают квазинепрерывную траекторию. Это означает, что траектория является, по существу, непрерывной, а позиционирование возможно только в дискретных значениях непрерывной функции, т.е. контролируемые являются положения рабочего органа ПР только в опорных точках, а сама траектория движения рабочего органа между опорными точками является произвольной. Контурные СУ обеспечивают непрерывные траектории движения, т.е. возможность попадания захватного устройства в любую точку рабочей зоны ПР, причем контролируются не только положения в опорных точках, но и вся траектория между ними.

Обычно с позиционным управлением связывают интерполяцию в обобщенных координатах, а с контурным – в декартовых. Понятие обобщенных координат вводится для определения пространственного положения конфигурации ПР. Обобщенными координатами исполнительного механизма называются независимые переменные  $q_1, \dots, q_n$ , задание которых однозначно определяет конфигурацию механизма. Каждая обобщенная координата соответствует угловой координате для вращательной пары в конструкции ПР и линейной координате для поступательной пары. Тип перемещения в декартовых координатах естественен для них, т.е. ПР движется вдоль прямых линий и поворачивается вокруг пространственных осей. Относительно просто такая интерполяция реализуется в цилиндрических, сферических и других ортогональных координатах.

Отличие способов интерполяции между опорными точками при описании в декартовых и в обобщенных координатах состоит в том, что при описании в декартовых координатах интерполяция производится по естественной траектории (прямой), середина которой вполне определена, при этом закон изменения координат сочленений (обобщенных координат) достаточно сложен, а при описании в обобщенных координатах перемещение и, следовательно, интерполяция линейны относительно обобщенных координат. Для обоих случаев описания необходим периодический расчет обобщенных координат по декартовым координатам (решение кинематической задачи), но при работе в декартовых координатах он производится гораздо чаще и его трудоемкость приблизительно в 100 раз больше. Кроме того, недостатками работы в декартовых координатах являются нарушения управления при вырождении конфигурации ПР и сложность предсказания превышения допустимых скоростей и ускорений. Расчет в реальном масштабе времени обобщенных координат по декартовым координатам при интерполяции в декартовых координатах возможен лишь при сравнительно простой кинематике ПР и может быть осуществлен с использованием комбинированных методов по схеме интерполяция-преобразование. При невозможности оперативного счета тра-

ектории ее опорные точки определяются до интерполяции (планирование траектории). Для экономичного запоминания и хранения множества опорных точек часто применяют сплайн-функцию. При регулировании скорости и ускорения перемещения используются граничные условия сплайн-функции.

Контуры по отдельным координатам представляют собой кубическую сплайн-функцию, обеспечивающую компактную запись контура в памяти СУ и точность многокоординатного управления на большой скорости с использованием алгоритма вычисления гладкой кривой в реальном масштабе времени. Кубическая сплайн-интерполяция обеспечивает равенство первой и второй производных по пути (скорости и ускорения) на стыках участков.

Также можно использовать для описания перемещений трех кусочных функций. Первая сплайн-функция описывает ускорение до момента достижения максимальной скорости, т.е. участок разгона, вторая сплайн-функция – перемещение с максимальной скоростью и третья – замедление до момента останова. Преимуществами применения метода одной сплайн-функции являются простота вычислений и потребность хранения только одной группы сплайн-коэффициентов. Метод трех сплайн-функций приводит к более быстрому перемещению, особенно при больших изменениях положения. При трех сплайн-функций также применяются кубические сплайны.

При интерполяции в обобщенных координатах опорные точки можно рассчитывать, как заранее, так и в процессе перемещения. Применяются оба варианта, что объясняется небольшим числом точек на траектории. Однако линейная интерполяция между опорными точками в этом случае малопримемлема из-за отсутствия непрерывности скоростей и ускорений. Для предотвращения вибраций режущего инструмента производят сглаживание в районах опорных точек с использованием парабол четвертой степени или применяют сплайн-интерполяцию.

Задачи управления траекторией движения ПР имеют много общего с задачей управления формообразованием для специальных станков. Однако если расчет траектории движения для станков является основной задачей, то для ПР – лишь одной из многих оперативных задач управления. Повышенная трудоемкость управления ПР частично объясняется:

1) большой сложностью решения кинематической задачи при планировании траектории (кинематика ПР со многими степенями подвижности значительно сложнее кинематики многокоординатных станков);

2) необходимостью оперативного контроля динамических (допустимых скоростей, ускорений, усилий, моментов и т.п.) и статических (зон запрета, препятствий и т.п.) ограничений;

3) сложностью качественного управления приводами (перемещением звеньев с переменным моментом инерции и низкой жесткостью).

Чтобы решить указанные задачи необходимо использовать для управления ПР системы ЧПУ с большой вычислительной мощностью.

### **Список литературы**

1. Байков, В.Д. Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ / В.Д. Байков, С.Н. Вашкевич. – Л.: Машиностроение, 1986. – 106 с.
2. Байков, В.Д. Специализированные процессоры: Интеграционные алгоритмы и структуры / В.Д. Байков, В.Б. Смолов. – М.: Радио и связь, 1985. – 288 с.
3. Белов, М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук. – М.: Академия, 2006. – 368 с.
4. Ерохин, В.В. Системы автоматизированного управления производственным процессом / В.В. Ерохин, М.П. Топорков. – Брянск: БГТУ, 2004. – 99 с.
5. Ерохин, В.В. Системы управления производственным процессом / В.В. Ерохин, М.П. Топорков, Т.А. Моргаленко. – Брянск: БГТУ, 2009. – 158 с.
6. Ерохин, В.В. Автоматизированные системы проектирования и управления технологическим процессом / В.В. Ерохин, Е.А. Памфилов. – Брянск: БГИТА, 2011. – 368 с.

7. Сосонкин, В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос, 2005. – 296 с.

#### **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», *erohinvv@mail.ru*.

### **THE CHOICE OF METHODS OF IMPLEMENTATION OF THE GEOMETRIC CONTROL TASK CNC CONTROL IN PROCESS EQUIPMENT**

Erokhin V.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

The paper examines the impact of CNC solutions geometric problem on the accuracy of machining a workpiece by means of a defined-interpolation algorithm and the discrete movements Rabo working bodies CNC machine. The basic aspects of the study of influence of feed rate-laws governing the performance of the drive and the volatility contouring speed, and hence on the quality of the surface-treated with the details. The main methods of management contouring speed re-binder tool using different types of interpolations. Recommendations on IP-use of different types of interpolators to ensure the stability of the contour speed of the cutting tool or a manipulator arm (industrial robot).

**Keywords:** *CNC, machining quality, interpolation, process equipment.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-18-25

#### **References**

1. Baikov V.D., Vashkevich S.N. *Reshenie traektornikh zadach v mikroprocessornikh sistemakh ChPU* [Solution trajectory problems in microprocessor CNC system]. Leningrad, Mashinostroenie, 1986. 106 p.
2. Baikov V.D., Smolov V.B. *Spetsializirovannyye processory: Integratsionnyye algoritmy i struktury* [Specialty engines: Integration algorithms and structures]. Moscow, Radio i svyaz, 1985. 288 p.
3. Belov M.P., Zementov O.I., Kozyaruk A.E. *Inzhiniring elektroprivodov i sistem avtomatizatsii* [Engineering of electric drives and automation systems]. Moscow, Akademiya, 2006. – 368 p.
4. Erokhin V.V., Toporkov M.P. *Sistemy avtomatizirovannogo upravleniya proizvodstvennykh processom* [Automated control systems of production processes]. Bryansk, BSTU, 2004. 99 p.
5. Erokhin V.V., Toporkov M.P., Morgalenko T.A. *Sistemy upravleniya proizvodstvennykh processom* [Control systems production process]. Bryansk, BSTU, 2009. 158 p.
6. Erokhin V.V., Pamfilov E.A. *Avtomatizirovannyye sistemy proektirovaniya i upravleniya tekhnologicheskimi processami* [The automated systems of design and control of technological process]. Bryansk, BGITA, 2011. 368 p.
7. Sosonkin V.L., Martinov G.M. *Sistemy chislovogo programmnoy upravleniya* [Systems CNC]. Moscow, Logos, 2005. 296 p.

#### **Author' information**

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

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 62-82:681.581.5

## ПРЕДПРОЕКТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ МОБИЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Лагерев И.А.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

Разработана оптимизационная математическая модель и методика выбора оптимальных параметров манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, позволяющие повысить их эксплуатационные свойства и конкурентоспособность. Также разработана оригинальная структура комплексной целевой функции, аддитивно учитывающая влияние любого числа значимых показателей качества на формирование оптимального варианта проектируемой конструкции. Установлена целесообразность использования оптимизационных подходов к определению основных конструктивных размеров кинематической схемы и параметров привода гидрофицированной манипуляционной системы на предпроектной стадии – стадии разработки технического предложения на проектирование манипуляционной системы мобильной машины. При указанном подходе появляется возможность исходно заложить в подлежащую дальнейшему проектированию конструкцию оптимальные значения ее наиболее значимых количественных характеристик, определяющих реализацию максимально высоких значений показателей качества спроектированной манипуляционной системы. Для гидрофицированной манипуляционной системы мобильной машины целесообразно использовать такие показатели качества, как ее собственная масса и мощность насосной установки. Предпроектная оптимизация позволяет комплексно определить оптимальное сочетание достаточно большого числа базовых проектных параметров – характерных конструктивных размеров металлоконструкции манипуляционной системы (длин и габаритных размеров поперечных сечений звеньев, присоединительных размеров для гидродвигателей) и характеристик гидрпривода (рабочего давления и расхода рабочей жидкости).

**Ключевые слова:** мобильная транспортно-технологическая машина, манипуляционная система, многокритериальная оптимизация, целевая функция, ограничение, вес, давление, напряжение.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-26-45

Развитие подходов инженерной оптимизации применительно к процессу проектирования манипуляционных систем мобильных машин, их использование в качестве базового подхода при разработке новых и усовершенствовании имеющихся методик конструирования и расчета деталей, узлов, механизмов и металлоконструкций является в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений существенного повышения качества данного вида подъемно-транспортной техники и эффективным инструментом выявления резервов уже известных конструкций [1-3].

При этом важно учитывать, что для большинства подлежащих расчету конструктивных элементов манипуляционных систем мобильных машин значащими являются несколько (два и более) показателей качества, как правило, выражающих массогабаритные и энергетические характеристики оптимизируемых конструкций и систем. Результаты расчетов показывают [4], что проведение однокритериальной оптимизации конструкций манипуляционных систем мобильных машин при одинаковых исходных данных последовательно для различных показателей качества приводит к получению не совпадающих между собой оптимальных значений искомых управляемых параметров оптимизации. Поэтому задача оптимального проектирования конструктивных элементов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин должна ставиться и решаться как задача многокритериальной оптимизации на основе учета всех значимых показателей качества и степени их приоритетности для их надежного и энергоэффективного функционирования.

Для построения комплексных целевых функций в задачах многокритериальной оптимизации использовалась разработанная в [4] аддитивная функция

$$C(\{x\}, \{z\}) = \left\langle \sum_k w_k \left\{ 1 - \left[ \frac{C_k(\{x\}_k^{opt}, \{z\}_k^{opt})}{C_k(\{x\}, \{z\})} \right]^{S_{extr,k}} \right\}^2 \right\rangle^{0,5} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\{x\}, \{z\}$  – векторы управляемых и неуправляемых параметров задачи многокритериальной оптимизации;  $\{x\}_k^{opt}, \{z\}_k^{opt}$  – векторы управляемых и неуправляемых параметров в точке оптимума  $k$ -й целевой функции  $\Pi_k$  ( $k$ -го показателя качества) при однокритериальной оптимизации;  $\Pi_k(\{x\}_k^{opt}, \{z\}_k^{opt})$  – значение  $k$ -й целевой функции в оптимальной точке при однокритериальной оптимизации;  $s_{extr,k}$  – индикатор экстремальности  $k$ -го показателя качества (при поиске минимума показателя  $s_{extr,k} = 1$ , максимума –  $s_{extr,k} = -1$ ).

В общем случае структура векторов  $\{x\}_k$  и  $\{z\}_k$  задач однокритериальной оптимизации по числу входящих в них параметров и их номенклатуре может не совпадать как между собой, так и соответственно с векторами  $\{x\}$  и  $\{z\}$  задачи многокритериальной оптимизации, тогда как векторы  $\{x\}$  и  $\{z\}$  являются композицией соответствующих векторов  $\{x\}_k$  и  $\{z\}_k$ .

При использовании комплексной целевой функции вида (1) процесс оптимального проектирования технического объекта протекает в два этапа:

- на первом этапе выполняется однокритериальная оптимизация на основе условной минимизации целевых функций  $\Pi_k$  по всем  $k$  учитываемым показателям качества с нахождением значений векторов управляемых  $\{x\}_k^{opt}$  и неуправляемых  $\{z\}_k^{opt}$  параметров в точке оптимума  $k$ -й целевой функции  $\Pi_k$ , а также значений целевых функций в оптимальной точке  $\Pi_k(\{x\}_k^{opt}, \{z\}_k^{opt})$ ;

- на втором этапе выполняется многокритериальная оптимизация на основе условной минимизации целевой функции (1) с нахождением оптимальных векторов  $\{x\}^{opt}$  и  $\{z\}^{opt}$ .

Как того требует теория многокритериальной оптимизации [5, 6], отдельные слагаемые в выражении (1) являются безразмерными и нормированными величинами, значения которых в допустимом пространстве искомых векторов  $\{x\}$  лежат в интервале  $[0;1]$ . Геометрическое представление о комплексной целевой функции вида (1) дает рис. 1, на котором она выражается сверткой двух показателей качества  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , каждый из которых зависит от одного управляемого параметра  $x$ . Кривые 1 и 7 выражают собой функции  $\Pi_1(x)$  и  $\Pi_2(x)$  при однокритериальной оптимизации. При равных значениях весовых коэффициентов (в данном случае  $w_1 = w_2 = 0,5$ ), т.е. при равной проектной значимости показателей качества оптимум комплексной целевой функции оказывается расположенным приблизительно на равном расстоянии (по управляемому параметру  $x$ ) от оптимумов целевых функций  $\Pi_1(x)$  и  $\Pi_2(x)$  при однокритериальной оптимизации.

При этом значение  $\Pi(x)$  оказывается наибольшим. Если проектная значимость показателей качества неодинакова, то этот факт должен учитываться соответствующим отклонением весового коэффициента  $w_k$  в большую или меньшую сторону, однако всегда должно сохраняться соотношение  $\sum w_k = 1$ .

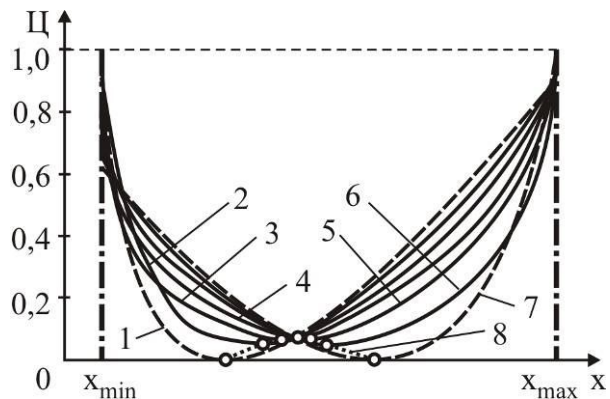


Рис. 1. Вид комплексной целевой функции (свертки двух показателей качества  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ ) при одном управляемом параметре  $x$  и разных сочетаниях весовых коэффициентов:  
 1 –  $w_1 = 1, w_2 = 0$ ; 2 –  $w_1 = 0,9, w_2 = 0,1$ ;  
 3 –  $w_1 = 0,7, w_2 = 0,3$ ; 4 –  $w_1 = 0,5, w_2 = 0,5$ ;  
 5 –  $w_1 = 0,3, w_2 = 0,7$ ; 6 –  $w_1 = 0,1, w_2 = 0,9$ ;  
 7 –  $w_1 = 0, w_2 = 1$ ; 8 – линия минимума  $\Pi$  при различных сочетаниях  $w_1$  и  $w_2$



По своему смыслу комплексная целевая функция вида (1) выражает меру близости расположения точки ее оптимума в пространстве переменных параметров  $\{x\}$  к расположению точек оптимума всех учитываемых однокритериальных целевых функций  $Ц_k$  в пространстве тех же параметров. Оптимальный вектор  $\{x\}^{opt}$  поэтому выражает собой такое расположение точки оптимума целевой функции (1), для которой характерна минимальная сумма расстояний до точек оптимума целевых функций  $Ц_k$ . Иными словами, содержащиеся в оптимальных векторах  $\{x\}^{opt}$  и  $\{z\}^{opt}$  параметры характеризуют такую конструкцию проектируемого технического объекта, которая в наибольшей степени отражает учитываемые его показатели качества и наилучшим образом обеспечивает их одновременное сочетание.

Вычислительная эффективность применения свертки нескольких показателей качества при многокритериальной оптимизации в виде комплексной целевой функции вида (1) обусловлена тем, что требуется проведения ряда однотипных расчетов для нескольких различных сочетаний весовых коэффициентов при неизменном вычислительном алгоритме. Это имеет существенное значение для разработки универсального программного обеспечения для автоматизации проектирования мобильных транспортно-технологических машин.

Как правило, задачи оптимизации конструктивных элементов подъемно-транспортной техники, включая и грузоподъемное манипуляционное оборудование, решаются на этапе разработки его технического, реже – эскизного проектов. Однако представляется целесообразным использование оптимизационных подходов уже на более ранней, предпроектной стадии – на стадии разработки технического предложения на проектирование манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины. На этой стадии, исходя из технического задания, установлен достаточной ограниченный набор конструктивных требований, в частности, вид кинематической схемы манипуляционной системы, характерные размеры рабочей зоны манипуляционной системы (минимальный  $R_{min}$  и максимальный  $R_{max}$  вылет грузоподъемной стрелы, крайние верхнее  $Y_{max}$  и нижнее  $Y_{min}$  положения конечной точки стрелы), номинальная грузоподъемность на максимальном вылете  $G_n$ , угловые и линейные скорости перемещения звеньев стрелы и др.

При указанном подходе можно исходно заложить в подлежащую дальнейшему проектированию конструкцию оптимальные значения ее наиболее значимых количественных характеристик, определяющих реализацию максимально высоких значений показателей качества спроектированной манипуляционной системы.

Применительно к гидрофицированной манипуляционной системе мобильной транспортно-технологической машины целесообразно ориентироваться на такие показатели качества, как ее собственная масса  $M_{ms}$  и мощность насосной установки  $N_n$ , которые необходимо минимизировать в процессе предпроектной оптимизации. В этом случае решается двуединая технико-экономическая задача: для спроектированной манипуляционной системы обеспечиваются как низкие эксплуатационных расходы за счет энергоэффективности привода, так и низкие производственные расходы за счет материалоемкости металлоконструкции. Оптимизация позволяет комплексно определить оптимальное сочетание достаточно большого числа базовых проектных параметров - характерных конструктивных размеров металлоконструкции манипуляционной системы (длин и габаритных размеров поперечных сечений звеньев, присоединительных размеров для гидродвигателей) и характеристик гидропривода (рабочего давления и расхода рабочей жидкости).

Рассматриваемая оптимизационная задача является многокритериальной. Ее математическую постановку рассмотрим на примере трехзвенной манипуляционной системы с поворотными звеньями (рис. 2). Такую кинематическую схему имеют, в частности, манипуляционные системы мобильных машин АСТ-4-А [7], Varco 295ML [8] и др.

Рабочая зона трехзвенной манипуляционной системы (рис. 2) выражается полярной сферической системой координат. На рис. 3 показано сечение рабочей зоны вертикальной плоскостью. Конфигурация грузоподъемной стрелы, соответствующая крайнему нижнему

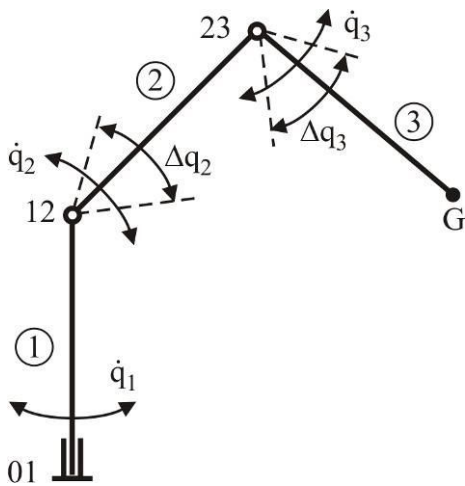


Рис. 2. Кинематическая схема трехзвенной манипуляционной системы

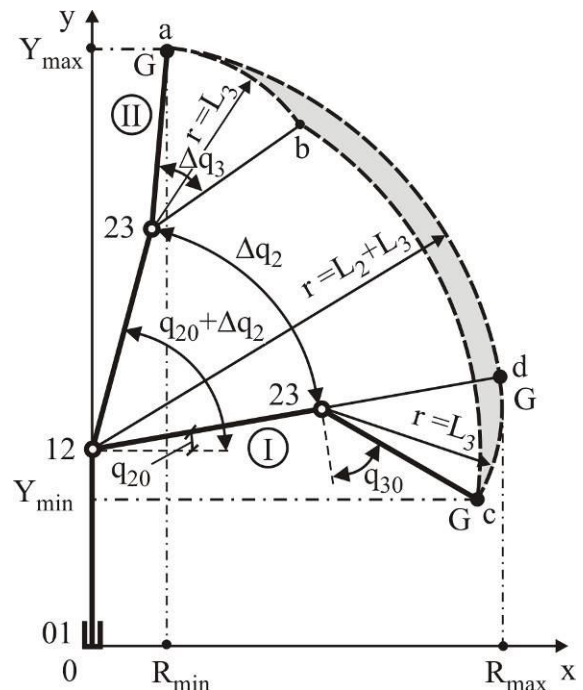


Рис. 3. Рабочая зона трехзвенной манипуляционной системы

положению характерной точки  $G$  манипуляционной системы (точки присоединения грузозахватного органа) характеризуется позицией I, а конфигурация, соответствующая крайнему верхнему положению – позицией II. Плоская фигура, ограниченная замкнутой кривой  $abcd$ , определяет геометрическое место нахождения точки  $G$  при любом возможном сочетании взаимного расположения смежных звеньев 2 и 3 грузоподъемной стрелы в процессе работы манипуляционной системы. Кривые  $ab$  и  $cd$  являются дугами окружности радиуса  $L_3$  с центром в шарнире 23, кривая  $bc$  - дугой окружности радиуса  $r_{bc} = \sqrt{L_2^2 + L_3^2 + L_2 L_3 \sin q_{30}}$  с центром в шарнире 12, кривая  $adc$  - дугой окружности радиуса  $r_{abc} = L_2 + L_3$  с центром в шарнире 12. Максимальный вылет характерной точки  $G$  стрелы составляет  $R_{\max} = (L_2 + L_3) \cos q_{20}$ , минимальный -  $R_{\min} = L_2 \cos(q_{20} + \Delta q_2) + L_3 \sin(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3)$ . Крайнее верхнее положение точки  $G$  относительно горизонтальной плоскости установки стрелы (шарнира 01) составляет  $Y_{\max} = L_1 + L_2 \sin(q_{20} + \Delta q_2) - \cos(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3)$ , крайнее нижнее положение -  $Y_{\min} = L_1 + L_2 \sin q_{20} - L_3 \cos(q_{20} + q_{30})$ . Анализ приведенных геометрических соотношений показывает, что обеспечение установленных в техническом задании на проектирование манипуляционной системы характерных размеров рабочей зоны грузоподъемной стрелы ( $R_{\max}, R_{\min}, Y_{\max}, Y_{\min}$ ) может быть выполнено при различных сочетаниях 7 конструктивных параметров – длин звеньев  $L_1, L_2, L_3$ , угловых координат начальных положений звеньев  $q_{20}, q_{30}$  и максимальных углов их поворота  $\Delta q_2, \Delta q_3$ .

Учитывая хорошо зарекомендовавшие себя на практике варианты конструктивного исполнения металлоконструкции поворотных звеньев гидрофицированных манипуляционных систем, приводящихся в движение с помощью силовых гидроцилиндров, имеется 4 возможных варианта компоновки грузоподъемной стрелы (рис. 4). Варьирование присоединительными размерами, определяющими места крепления гидроцилиндров к металлоконструкции звеньев, позволяет варьировать величиной внутренних силовых факторов в характерных сечениях звеньев (что оказывает влияние на размеры их поперечных сечений и суммарную массу  $M_{ms}$ ), а также необходимыми тяговыми усилиями и линейными скоростями движения гидроцилиндров (что оказывает влияние на величину рабочего давления  $p_n$ , расход рабочей

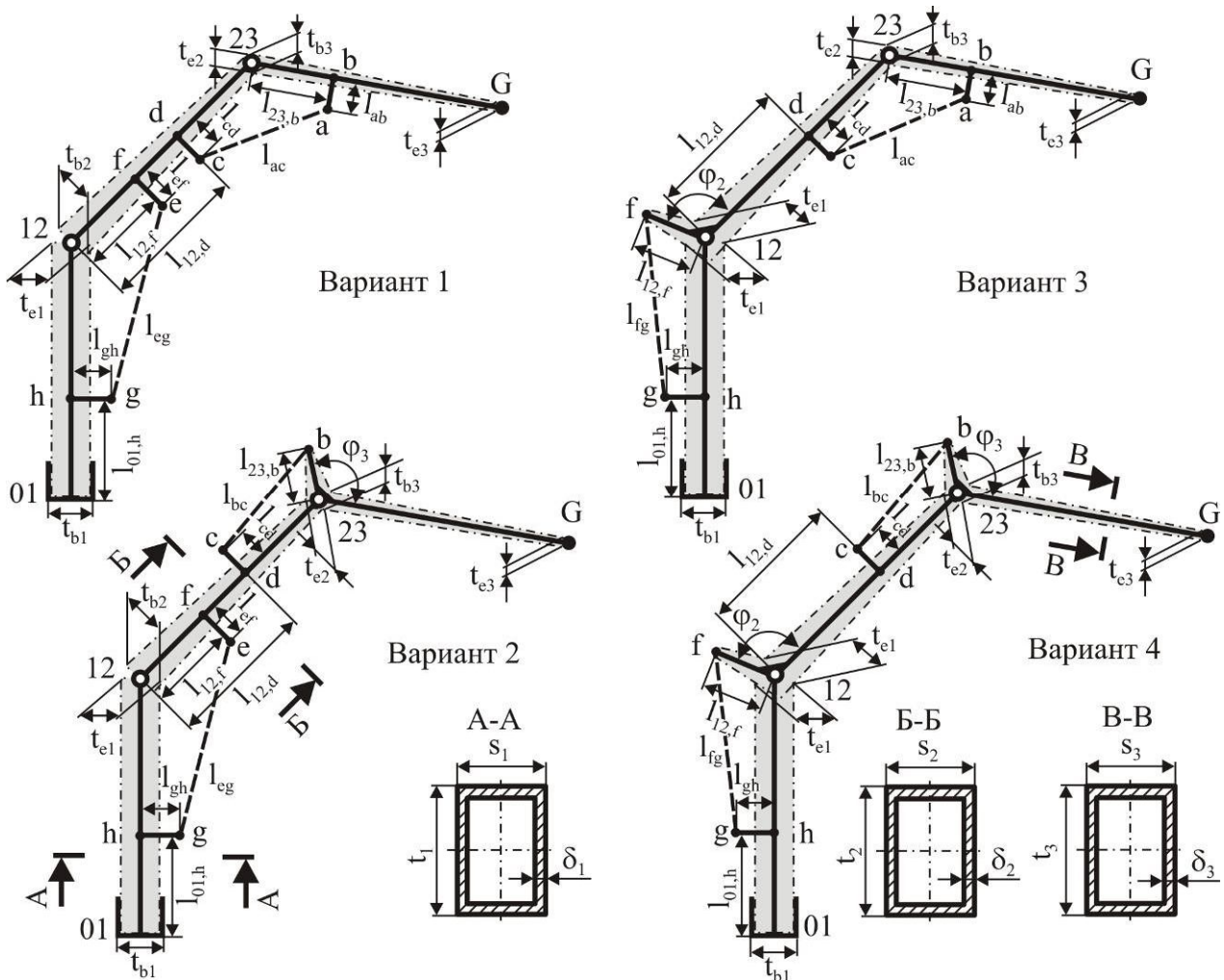


Рис. 4. Варианты конструктивного исполнения гидрофицированной трехзвенной манипуляционной системы

жидкости  $Q_n$  и мощность гидропривода  $N_n$ ). Анализ вариантов конструктивного исполнения трехзвенной манипуляционной системы показывает, что собственная масса металлоконструкции грузоподъемной стрелы  $M_{ms}$  и мощность насосной установки  $N_n$  определяется сочетанием следующих параметров: длин звеньев ( $L_1, L_2, L_3$ ), присоединительных размеров гидроцилиндров ( $l_{01,h}, l_{12,f}, l_{12,d}, l_{23,b}, l_{gh}, l_{ef}, l_{cd}, l_{ab}$ ), габаритных размеров поперечных сечений звеньев (высоты  $t_{b1}, t_{e1}, t_h, t_{b2}, t_{e2}, t_f, t_d, t_{b3}, t_{e3}, t_b$ ; ширины  $s_1, s_2, s_3$ ), толщин стенок звеньев ( $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ ), углов поворота рычагов ( $\varphi_2, \varphi_3$ ). В зависимости от конструктивного варианта число этих параметров составляет 25...27.

Максимальная мгновенная мощность при допустимом совместном движении звеньев 2 и 3, определяющая мощность насосной установки гидрофицированной манипуляционной системы, составляет

$$N_n = 0,25\pi p_n [D_{гц2}^2 v_{гц2,max}(\dot{q}_2) + D_{гц3}^2 v_{гц3,max}(\dot{q}_3)], \quad (2)$$

где  $D_{гци}$  - диаметр приводного гидроцилиндра  $i$ -го звена;  $v_{гци,max}(\dot{q}_i)$  - максимальная линейная скорость штока приводного гидроцилиндра  $i$ -го звена, обеспечивающая требуемую угловую скорость поворота  $\dot{q}_i$ .

Анализ зависимости (2) показывает, что мощность насосной установки определяется сочетанием трех параметров -  $p_n, D_{гц2}, D_{гц3}$ .

Перечисленные выше при анализе гидрофицированной манипуляционной системы параметры могут рассматриваться как управляемые параметры задачи оптимизации манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины, т.е. для  $i$ -го варианта ее конструктивного исполнения (рис. 4) подлежащий оптимизации вектор  $\{x\}_i$  будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \{x\}_1^T &= \{L_1 L_2 L_3 q_{20} q_{30} \Delta q_2 \Delta q_3 p_n D_{2y2} D_{2y3} s_1 s_2 s_3 \delta_1 \delta_2 \delta_3 l_{01,h} l_{gh} t_{b1} t_{e1} t_{b2} t_{e2} t_{b3} t_{e3} \\ & l_{12,f} l_{ef} l_{12,d} l_{cd} l_{23,b} l_{ab} t_h t_f t_d t_b\} = \{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} x_{11} x_{12} x_{13} x_{14} \\ & x_{15} x_{16} x_{17} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} x_{22} x_{23} x_{24} x_{25} x_{26} x_{27} x_{28} x_{29} x_{30} x_{31} x_{32} x_{33} x_{34}\}; \\ \{x\}_2^T &= \{L_1 L_2 L_3 q_{20} q_{30} \Delta q_2 \Delta q_3 p_n D_{2y2} D_{2y3} s_1 s_2 s_3 \delta_1 \delta_2 \delta_3 l_{01,h} l_{gh} t_{b1} t_{e1} t_{b2} t_{e2} t_{b3} t_{e3} \\ & l_{12,f} l_{ef} l_{12,d} l_{cd} l_{23,b} t_h t_f t_d \varphi_3\} = \{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} x_{11} x_{12} x_{13} x_{14} \\ & x_{15} x_{16} x_{17} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} x_{22} x_{23} x_{24} x_{25} x_{26} x_{27} x_{28} x_{29} x_{30} x_{31} x_{32} x_{33}\}; \\ \{x\}_3^T &= \{L_1 L_2 L_3 q_{20} q_{30} \Delta q_2 \Delta q_3 p_n D_{2y2} D_{2y3} s_1 s_2 s_3 \delta_1 \delta_2 \delta_3 l_{01,h} l_{gh} t_{b1} t_{e1} t_{b2} t_{e2} t_{b3} t_{e3} \\ & l_{12,f} l_{12,d} l_{cd} l_{23,b} l_{ab} t_h t_f t_d t_b\} = \{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} x_{11} x_{12} x_{13} x_{14} \\ & x_{15} x_{16} x_{17} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} x_{22} x_{23} x_{24} x_{25} x_{26} x_{27} x_{28} x_{29} x_{30} x_{31} x_{32} x_{33}\}; \\ \{x\}_4^T &= \{L_1 L_2 L_3 q_{20} q_{30} \Delta q_2 \Delta q_3 p_n D_{2y2} D_{2y3} s_1 s_2 s_3 \delta_1 \delta_2 \delta_3 l_{01,h} l_{gh} t_{b1} t_{e1} t_{b2} t_{e2} t_{b3} t_{e3} \\ & l_{12,f} l_{12,d} l_{cd} l_{23,b} t_h t_d \varphi_2 \varphi_3\} = \{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} x_{11} x_{12} x_{13} x_{14} \\ & x_{15} x_{16} x_{17} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} x_{22} x_{23} x_{24} x_{25} x_{26} x_{27} x_{28} x_{29} x_{30} x_{31} x_{32}\}. \end{aligned}$$

Показатель качества - собственная масса  $M_{ms}$  манипуляционной системы – определяется суммированием масс отдельных звеньев с учетом их конструктивного исполнения (с рычагом и без рычага) и для  $i$ -го варианта манипуляционной системы (рис. 4) выражается одной из соответствующих зависимостей

$$\begin{aligned} M_{ms1} &= M_{s1} + M_{s2} + M_{s3}; & M_{ms2} &= M_{s1} + M_{s2} + M_{s3l}; \\ M_{ms3} &= M_{s1} + M_{s2l} + M_{s3}; & M_{ms4} &= M_{s1} + M_{s2l} + M_{s3l}, \end{aligned} \quad (3)$$

Массы отдельных звеньев, входящие в (3), составляют:

- звено 1

$$M_{s1} = \rho L_1 \delta_1 (t_{b1} + t_{e1} + 2s_1 - 4\delta_1);$$

- звено 2 (без рычага)

$$\begin{aligned} M_{s2} &= \rho l_{12,f} \left\langle t_{b2} + t_f + (s_2 - 2\delta_2) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_f - t_{b2}) / l_{12,f}]^2} \right\} \right\rangle + \\ &+ \rho (l_{12,d} - l_{12,f}) \left\langle t_f + t_d + (s_2 - 2\delta_2) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_d - t_f) / (l_{12,d} - l_{12,f})]^2} \right\} \right\rangle + \\ &+ \rho (L_2 - l_{12,d}) \left\langle t_d + t_{e2} + (s_2 - 2\delta_2) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_{e2} - t_d) / (L_2 - l_{12,d})]^2} \right\} \right\rangle; \end{aligned}$$

- звено 2 (с рычагом)

$$\begin{aligned} M_{s2l} &= \rho l_{12,f} \left\{ 1, 5t_{b2} + (s_2 - 2\delta_2) \left[ 1 + \sqrt{1 + (t_{b2} / 2l_{12,f})^2} \right] \right\} + \\ &+ \rho l_{12,d} \left\langle t_{b2} + t_d + (s_2 - 2\delta_2) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_d - t_{b2}) / l_{12,d}]^2} \right\} \right\rangle + \\ &+ \rho (L_2 - l_{12,d}) \left\langle t_d + t_{e2} + (s_2 - 2\delta_2) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_{e2} - t_d) / (L_2 - l_{12,d})]^2} \right\} \right\rangle; \end{aligned}$$

- звено 3 (без рычага)

$$\begin{aligned} M_{s3} &= \rho l_{23,b} \left\langle t_{b3} + t_b + (s_3 - 2\delta_3) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_b - t_{b3}) / l_{23,b}]^2} \right\} \right\rangle + \\ &+ \rho (L_3 - l_{23,b}) \left\langle t_b + t_{e3} + (s_3 - 2\delta_3) \left\{ 1 + \sqrt{1 + [(t_{e3} - t_b) / (L_3 - l_{23,b})]^2} \right\} \right\rangle; \end{aligned}$$

- звено 3 (с рычагом)

$$M_{s3l} = \rho l_{23,b} \left\langle 1,5t_{b3} + (s_3 - 2\delta_3) \{1 + \sqrt{1 + (t_{b3} / 2l_{23,b})^2}\} \right\rangle + \\ + \rho L_3 \left\langle t_{b3} + t_{e3} + (s_3 - 2\delta_3) \{1 + \sqrt{1 + [(t_{e3} - t_{b3}) / L_3]^2}\} \right\rangle.$$

Значение показателя качества - мощности насосной установки  $N_n$  - зависит согласно (2) от максимальных линейных скоростей штоков приводных гидроцилиндров звеньев манипуляционной системы, обеспечивающих требуемые угловые скорости их поворота. Анализ приведенных в [9, 10] зависимостей связи между линейными и угловыми скоростями движения звеньев шарнирно-сочлененных стрел позволяет установить расчетные соотношения для оценки максимальных скоростей  $v_{ци, \max}(\dot{q}_i)$ :

- звено 2 (без рычага)

$$v_{ци2, \max}(\dot{q}_2) = \frac{l_{12,e} l_{12,g} \cos\{q_{20} - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}}{\sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e} l_{12,g} \sin\{q_{20} - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}}} \cdot \dot{q}_2;$$

- звено 2 (с рычагом)

$$v_{ци2, \max}(\dot{q}_2) = - \frac{l_{12,f} l_{12,g} \cos\{q_{2\max} + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}}{\sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f} l_{12,g} \sin\{q_{2\max} + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}}} \cdot \dot{q}_2;$$

- звено 3 (без рычага)

$$v_{ци3, \max}(\dot{q}_3) = \frac{l_{23,a} l_{23,c} \cos\{q_{30} - \arctg(l_{ab} / l_{23,b}) - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}}{\sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a} l_{23,c} \sin\{q_{30} - \arctg(l_{ab} / l_{23,b}) - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}}} \cdot \dot{q}_3;$$

- звено 3 (с рычагом)

$$v_{ци3, \max}(\dot{q}_3) = - \frac{l_{23,b} l_{23,c} \cos\{q_{3\max} + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}}{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b} l_{23,c} \sin\{q_{3\max} + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}}} \cdot \dot{q}_3,$$

где  $l_{12,e} = \sqrt{l_{12,f}^2 + l_{ef}^2}$ ;  $l_{12,g} = \sqrt{(L_1 - l_{01,h})^2 + l_{gh}^2}$ ;  $l_{23,c} = \sqrt{(L_2 - l_{12,d})^2 + l_{cd}^2}$ ;  $l_{23,a} = \sqrt{l_{23,b}^2 + l_{ab}^2}$ ;  $q_{2\max}$ ,  $q_{3\max}$  - углы поворота звеньев 2 и 3, при которых в диапазоне  $q_2 \in [0; \Delta q_2]$  и  $q_3 \in [0; \Delta q_3]$  имеют место минимумы функций соответственно

$$\frac{\cos\{q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}}{\sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f} l_{12,g} \sin\{q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}}}, \\ \frac{\cos\{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}}{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b} l_{23,c} \sin\{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}}}.$$

Необходимая величина хода штоков гидроцилиндров поворота секций 2 и 3 с учетом зависимостей [9, 10] составляет:

- звено 2 (без рычага)

$$\Delta l_{ци2} = \sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e} l_{12,g} \sin\{q_{20} - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}} - \\ - \sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e} l_{12,g} \sin\{q_{20} + \Delta q_2 - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}};$$

- звено 2 (с рычагом)

$$\Delta l_{ци2} = \sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f} l_{12,g} \sin\{q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}} - \\ - \sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f} l_{12,g} \sin\{q_{20} + \Delta q_2 + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}};$$

- звено 3 (без рычага)

$$\Delta l_{ци3} = \sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a} l_{23,c} \sin\{q_{30} - \arctg(l_{ab} / l_{23,b}) - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}} - \\ - \sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a} l_{23,c} \sin\{q_{30} + \Delta q_3 - \arctg(l_{ab} / l_{23,b}) - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}};$$

- звено 3 (с рычагом)

$$\Delta l_{243} = \sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin\{q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}} - \sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin\{q_{30} + \Delta q_3 + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}.$$

Тяговые усилия  $U_{242}$  и  $U_{243}$ , развиваемые гидродвигателями при повороте звеньев 2 и 3, зависят от положения звеньев в пространстве и поэтому их наибольшие значения  $U_{242}^{\max}$  и  $U_{243}^{\max}$  определяются путем нахождения максимума следующих зависимостей при варьировании координат  $q_2$  и  $q_3$  в допустимых интервалах изменения  $q_2 \in [0; \Delta q_2]$  и  $q_3 \in [0; \Delta q_3]$ :

- звено 2 (без рычага)

$$U_{242} = \frac{\zeta_{f2}}{l_{12,f} \sin \mu_2 + 2l_{ef} \cos \mu_2} \{G_n[L_2 \cos(q_2 + q_{20}) + L_3 \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30})] + \rho g \delta_2 L_2^2 [(t_{b2} + 2t_{e2})/3 + s_2 - 2\delta_2] \cos(q_2 + q_{20}) + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3) \sqrt{L_2^2 + L_3^2/4 + L_2 L_3 \sin(q_3 + q_{30})} \cos \gamma_2\};$$

- звено 2 (с рычагом)

$$U_{242} = -\zeta_{f2} \frac{\sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f}l_{12,g} \sin\{q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}}}{l_{12,f}l_{12,g} \cos\{q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}} \times \{G_n[L_2 \cos(q_2 + q_{20}) + L_3 \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30})] + \rho g \delta_2 L_2^2 [(t_{b2} + 2t_{e2})/3 + s_2 - 2\delta_2] \cos(q_2 + q_{20}) + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3) \sqrt{L_2^2 + L_3^2/4 + L_2 L_3 \sin(q_3 + q_{30})} \cos \gamma_2\};$$

- звено 3 (без рычага)

$$U_{243} = \zeta_{f3} \frac{\{G_n L_3 + \rho g \delta_3 [(t_b + s_3 - 2\delta_3 + t_{e3})L_3^2 + (t_{b3} - t_{e3})l_{23,b}^2]/2\} \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30})}{l_{23,d} \sin \mu_3 + 2l_{ab} \cos \mu_3};$$

- звено 3 (с рычагом)

$$U_{243} = -\zeta_{f3} \frac{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin\{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}}{l_{23,b}l_{23,c} \cos\{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}} \times L_3 \{G_n + \rho g \delta_3 L_3 [(t_{b3} + 2t_{e3})/3 + s_3 - 2\delta_3] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30})\},$$

где  $\rho$  - плотность материала металлоконструкции звеньев;  $g$  - ускорение свободного падения;

$$\gamma_2 = q_2 + q_{20} - \arccos \left[ \frac{2L_2 + L_3 \sin(q_3 + q_{30})}{2\sqrt{L_2^2 + L_3^2/4 + L_2 L_3 \sin(q_3 + q_{30})}} \right];$$

$$\mu_2 = \arctg(l_{12,f}/l_{ef}) - \pi/2 +$$

$$+ \arccos \left[ \frac{l_{12,e}l_{12,g} \sin\{q_2 + q_{20} - \arctg(l_{ef}/l_{12,f}) - \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}}{\sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e}l_{12,g} \sin\{q_2 + q_{20} - \arctg(l_{ef}/l_{12,f}) - \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}} \right];$$

$$\mu_3 = \arctg(l_{23,b}/l_{ab}) - \pi/2 +$$

$$+ \arccos \left[ \frac{l_{23,a}l_{23,c} \sin\{q_3 + q_{30} - \arctg(l_{ab}/l_{23,b}) - \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}{\sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a}l_{23,c} \sin\{q_3 + q_{30} - \arctg(l_{ab}/l_{23,b}) - \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}} \right].$$

Изгибающие моменты в вертикальной плоскости в характерных  $k$ -х сечениях грузоподъемной стрелы, возникающие при повороте звеньев, зависят от положения звеньев в пространстве и поэтому их наибольшие значения  $M_k^{\max}$  определяются путем нахождения мак-

сумма следующих зависимостей при варьировании координат  $q_2$  и  $q_3$  в допустимых интервалах изменения  $q_2 \in [0; \Delta q_2]$  и  $q_3 \in [0; \Delta q_3]$ :

- звено 1

$$M_{01} = 0,5\zeta_1 \rho g L_2^2 \delta_2 (t_{b2} + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \cos(q_2 + q_{20}) + \\ + \rho g [L_2 \cos(q_2 + q_{20}) + 0,5L_3 \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30})] L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3) + \\ + [L_2 \cos(q_2 + q_{20}) + L_3 \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30})] G_n;$$

если звено 2 без рычага

$$M_h = \zeta_{f1} U_{\text{зв2}} l_{gh} \cos \varepsilon_1 + \zeta_{f1} (L_1 - l_{01,h}) \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_{20}) + \\ + U_{\text{зв2}} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \mu_2 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \mu_2] + U_{\text{зв3}} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \phi_3 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \phi_3] \};$$

если звено 2 с рычагом

$$M_h = \zeta_{f1} \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_{20}) + \\ + U_{\text{зв2}} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \mu_2 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \mu_2 + \sin \phi_1] + \\ + U_{\text{зв3}} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \phi_3 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \phi_3] \} - \zeta_{f1} U_{\text{зв2}} l_{gh} \cos \phi_1;$$

- звено 2 (без рычага)

если звено 3 без рычага

$$M_d = \zeta_{f2} (L_2 - l_{12,d}) \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - \\ - U_{\text{зв3}} \sin \mu_3 \} \sin(q_3 + q_{30}) + 0,5 \rho g (L_2 - l_{12,d}) \delta_2 (t_d + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \cos(q_2 + q_{20}); \\ M_f = \zeta_{f2} (L_2 - l_{12,f}) \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - \\ - U_{\text{зв3}} \sin \mu_3 \} \sin(q_3 + q_{30}) + 0,5 \rho g (L_2 - l_{12,f}) \delta_2 (t_f + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \cos(q_2 + q_{20}) - \\ - \zeta_{f2} U_{\text{зв3}} [l_{cd} \cos \varepsilon_2 + (l_{12,d} - l_{12,f}) \sin \varepsilon_2];$$

если звено 3 с рычагом

$$M_d = \zeta_{f2} (L_2 - l_{12,d}) \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] + 0,5 \rho g (L_2 - l_{12,d}) \delta_2 (t_d + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) + \\ - U_{\text{зв3}} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})\]} }{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b} l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})\]}} \right) \right] + \\ + \rho g l_{23,b} \delta_3 (t_b + t_{b3} + 2s_3 - 4\delta_3) [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \cos(q_3 + q_{30} + \varphi_3) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \sin(q_3 + q_{30} + \varphi_3)] \} + U_{\text{зв3}} l_{cd} \cos \phi_3; \\ M_f = \zeta_{f2} (L_2 - l_{12,f}) \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] + 0,5 \rho g (L_2 - l_{12,f}) \delta_2 (t_f + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) + \\ - U_{\text{зв3}} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})\]} }{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b} l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})\]}} \right) \right] + \\ + \rho g l_{23,b} \delta_3 (t_b + t_{b3} + 2s_3 - 4\delta_3) [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \cos(q_3 + q_{30} + \varphi_3) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \sin(q_3 + q_{30} + \varphi_3)] \} + U_{\text{зв3}} l_{cd} \cos \phi_3;$$

- звено 2 (с рычагом)

если звено 3 без рычага

$$M_d = \zeta_{f2} (L_2 - l_{12,d}) \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - \\ - U_{\text{зв3}} \sin \mu_3 \} \sin(q_3 + q_{30}) + 0,5 \rho g (L_2 - l_{12,d}) \delta_2 (t_d + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \cos(q_2 + q_{20}); \\ M_{12} = \zeta_{f2} L_2 \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) -$$

$$-U_{z_{y3}} \sin \mu_3 \{ \sin(q_3 + q_{30}) + 0,5 \rho g L_2 \delta_2 (t_{b2} + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \cos(q_2 + q_{20}) \} - \\ - \zeta_{f2} U_{z_{y3}} [l_{cd} \cos \varepsilon_2 + l_{12,d} \sin \varepsilon_2];$$

если звено 3 с рычагом

$$M_d = \zeta_{f2} (L_2 - l_{12,d}) \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] + 0,5 \rho g (L_2 - l_{12,d}) \delta_2 (t_d + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) +$$

$$-U_{z_{y3}} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]} \right)}{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]}} \right) \right] +$$

$$+ \rho g l_{23,b} \delta_3 (t_b + t_{b3} + 2s_3 - 4\delta_3) [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \cos(q_3 + q_{30} + \varphi_3) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \sin(q_3 + q_{30} + \varphi_3)] \} + U_{z_{y3}} l_{cd} \cos \phi_3;$$

$$M_{12} = \zeta_{f2} L_2 \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] + 0,5 \rho g L_2 \delta_2 (t_{b2} + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) +$$

$$-U_{z_{y3}} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]} \right)}{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]}} \right) \right] +$$

$$+ \rho g l_{23,b} \delta_3 (t_b + t_{b3} + 2s_3 - 4\delta_3) [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \cos(q_3 + q_{30} + \varphi_3) + \\ + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30} + \varphi_3) \sin(q_3 + q_{30} + \varphi_3)] \} + U_{z_{y3}} l_{cd} \cos \phi_3;$$

- звено 3 (с рычагом)

$$M_{23} = \zeta_{f3} L_3 \{ G_n + \rho g L_3 \delta_3 [(t_{b3} + 2t_{e3}) / 3 + s_3 - 2\delta_3] \} \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30});$$

- звено 3 (без рычага)

$$M_b = \zeta_{f3} \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \times$$

$$\times \{ (L_3 - l_{23,b}) [G_n + \rho g \delta_3 (t_{b3} + s_3 - 2\delta_3) (L_3 + l_{23,b})] + 2 \rho g \delta_3 (t_{e3} - t_b) (L_3^2 + L_3 l_{23,b} + l_{23,b}^2) \},$$

где

$$\varepsilon_1 = \pi - (q_2 + q_{20}) - \arctg(l_{12,f} / l_{ef}) -$$

$$- \arccos \left( \frac{l_{12,e} + l_{12,g} \sin \{ q_2 + q_{20} - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h}) \]} \right)}{\sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e}l_{12,g} \sin \{ q_2 + q_{20} - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h}) \]}} \right);$$

$$\varepsilon_2 = \pi - (q_3 + q_{30}) - \arctg(l_{23,b} / l_{ab}) -$$

$$- \arccos \left( \frac{l_{23,a} + l_{12,c} \sin \{ q_3 + q_{30} - \arctg[l_{ab} / l_{23,b}] - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]} \right)}{\sqrt{l_{23,a}^2 + l_{12,c}^2 + 2l_{23,a}l_{12,c} \sin \{ q_3 + q_{30} - \arctg[l_{ab} / l_{23,b}] - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]}} \right);$$

$$\phi_3 = \arctg [(L_2 - l_{12,d}) / l_{cd}] - \frac{\pi}{2} +$$

$$+ \arccos \left( \frac{l_{23,c} + l_{23,b} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]} \right)}{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]}} \right).$$

Опыт проектирования звеньев манипуляционных систем мобильных машин показывает, что прочность таких конструкций обусловлена, главным образом, их изгибной прочностью и характеризуется величиной нормальных напряжений изгиба в поперечных сечениях по длине звена [10-13]. Однако поперечных сечений свободных концов звеньев, где изгибающие моменты близки к 0, прочность звеньев определяется действием поперечной силы и характеризуется величиной касательных напряжений. Для рассматриваемой трехзвенной манипуляционной системы (рис. 4) такими сечениями являются: *G* (для всех вариантов конструктивного исполнения манипуляционной системы) и дополнительно 12 и 23 (для вариан-



та 1), 12 и  $b$  (для варианта 2), 23 и  $f$  (для варианта 3),  $b$  и  $f$  (для варианта 4). Поперечные силы в вертикальной плоскости в указанных сечениях, возникающие при повороте звеньев, зависят от положения звеньев в пространстве и поэтому их наибольшие значения  $Q_k^{\max}$  определяются путем нахождения максимума следующих зависимостей при варьировании координат  $q_2$  и  $q_3$  в допустимых интервалах изменения  $q_2 \in [0; \Delta q_2]$  и  $q_3 \in [0; \Delta q_3]$ :

- звено 1

$$Q_{12} = \zeta_{f1} \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_{20}) + U_{\alpha 2} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \mu_2 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \mu_2] + U_{\alpha 3} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \phi_3 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \phi_3] \};$$

если звено 2 без рычага

$$Q_{12} = \zeta_{f1} \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_{20}) + U_{\alpha 2} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \mu_2 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \mu_2 + \sin \varepsilon_1] + U_{\alpha 3} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \phi_3 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \phi_3] \};$$

если звено 2 с рычагом

$$Q_{12} = \zeta_{f1} \{ [G_n + \rho g L_3 \delta_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_{20}) + U_{\alpha 2} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \mu_2 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \mu_2 + \sin \phi_1] + U_{\alpha 3} [\cos(q_2 + q_{20}) \cos \phi_3 - \sin(q_2 + q_{20}) \sin \phi_3] \};$$

- звено 2 (без рычага)

если звено 3 без рычага

$$Q_{12} = \zeta_{f2} \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - U_{\alpha 3} \sin \mu_3 \sin(q_3 + q_{30}) + \rho g L_2 \delta_2 (t_{b2} + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \cos(q_2 + q_{20}) - U_{\alpha 2} \sin \mu_2 - U_{\alpha 3} \sin \varepsilon_3 \};$$

$$Q_{23} = \zeta_{f3} \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - U_{\alpha 3} \sin \mu_3 \sin(q_3 + q_{30}) \};$$

если звено 3 с рычагом

$$Q_{12} = \zeta_{f2} \{ [G_n + \rho g L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] - U_{\alpha 2} \sin \mu_2 - U_{\alpha 3} \sin \phi_3 + \rho g L_2 \delta_2 (t_{b2} + t_{e2} + 2s_2 - 4\delta_2) \};$$

$$Q_{23} = \zeta_{f3} \{ [G_n + \rho g L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] + \rho g l_{23,b} \delta_3 (t_b + t_{b1} + 2s_3 - 4\delta_3) \} -$$

$$- \zeta_{f3} U_{\alpha 3} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]} }{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]}} \right) \right];$$

- звено 2 (с рычагом)

$$Q_f = Q_{12} = U_{\alpha 2} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{12,f} + l_{12,g} \sin \{ q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h}) \]} }{\sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f}l_{12,g} \sin \{ q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h}) \]}} \right) \right];$$

если звено 3 без рычага

$$Q_{23} = \zeta_{f3} \{ [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - U_{\alpha 3} \sin \mu_3 \sin(q_3 + q_{30}) \};$$

если звено 3 с рычагом

$$Q_{23} = \zeta_{f3} \{ [G_n + \rho g L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] [\cos(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \cos(q_3 + q_{30}) + \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) \sin(q_3 + q_{30})] + \rho g l_{23,b} \delta_3 (t_b + t_{b1} + 2s_3 - 4\delta_3) \} -$$

$$- \zeta_{f3} U_{\alpha 3} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]} }{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin \{ q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d}) \]}} \right) \right];$$

- звено 3 (без рычага)

$$Q_b = \zeta_{f3} [G_n + \rho g \delta_3 (L_3 - l_{23,b}) (t_b + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30});$$

$$Q_{23} = \zeta_{f3} [G_n + \rho g \delta_3 L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30}) - U_{\alpha 3} \sin \mu_3;$$

- звено 3 (с рычагом)

$$Q_b = U_{\varepsilon_3} \sin \left[ \arccos \left( \frac{l_{23,b} + l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}{\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}} \right) \right];$$

$$Q_{23} = \zeta_{f3} \{ [G_n + \rho g L_3 (t_{b3} + t_{e3} + 2s_3 - 4\delta_3)] \sin(q_2 + q_3 + q_{20} + q_{30});$$

где

$$\varepsilon_3 = \pi - (q_3 + q_{30}) - \arctg(l_{23,u}/l_{ab}) -$$

$$- \arccos \left( \frac{l_{23,a} + l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} - \arctg(l_{ab}/l_{23,b}) - \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}{\sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a}l_{23,c} \sin \{q_3 + q_{30} - \arctg(l_{ab}/l_{23,b}) - \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}}} \right);$$

$$\phi_1 = \arctg[(L_1 - l_{01,h})/l_{gh}] - \frac{\pi}{2} +$$

$$+ \arccos \left( \frac{l_{12,g} + l_{12,f} \sin \{q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}}{\sqrt{l_{12,g}^2 + l_{12,f}^2 + 2l_{12,g}l_{12,f} \sin \{q_2 + q_{20} + \varphi_2 + \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}}} \right).$$

Звено 1 манипуляционной системы выполняет роль стойки, воспринимающей при эксплуатации мобильной транспортно-технологической машины вертикально направленные нагрузки – вес груза (включая вес грузозахватного устройства), собственный вес звеньев и инерционных нагрузок. Продольная сжимающая нагрузка в характерных сечениях стойки определяется зависимостями

$$N_{01} = \zeta_{f1} [G_n + \rho g \sum_{j=1}^{j=3} L_j \delta_j (t_{bj} + t_{ej} + 2s_j - 4\delta_j)];$$

$$N_{12} = \zeta_{f1} [G_n + \rho g \sum_{j=2}^{j=3} L_j \delta_j (t_{bj} + t_{ej} + 2s_j - 4\delta_j)].$$

Целевая функция для проведения предпроектной двухкритериальной оптимизации  $i$ -го варианта конструктивного исполнения гидрофицированной манипуляционной системы, базирующаяся на целевой функции со структурой типа (1), выражается зависимостью:

$$C_i(\{x\}_i, \{z\}_i) = \sqrt{w_1 \left[ 1 - \frac{C_{M_i}(\{x\}_{M_i}^{opt}, \{z\}_{M_i}^{opt})}{C_{M_i}(\{x\}_i, \{z\}_i)} \right]^2 + w_2 \left[ 1 - \frac{C_{N_i}(\{x\}_{N_i}^{opt}, \{z\}_{N_i}^{opt})}{C_{N_i}(\{x\}_i, \{z\}_i)} \right]^2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $C_{M_i}, C_{N_i}$  - целевые функции задачи однокритериальной оптимизации показателей качества  $M_{ms}$  и  $N_n$  соответственно;  $\{x\}_{M_i}^{opt} (\{x\}_{N_i}^{opt}), \{z\}_k^{opt} (\{z\}_{N_i}^{opt})$  – векторы управляемых и неуправляемых параметров в точке оптимума показателя качества  $M_{ms}$  ( $N_n$ ) при однокритериальной оптимизации.

Нахождение минимума целевой функции (4), а также векторов  $\{x\}_i^{opt}$  и  $\{z\}_i^{opt}$  в точке ее оптимума должно выполняться с учетом системы ограничений неравенствами, в общем виде выражающими:

- условия компоновки звеньев;
- условия компоновки гидроцилиндров звеньев;
- допустимое сочетание габаритных размеров поперечных сечений звеньев;
- условия обеспечения требуемых размеров рабочей зоны манипуляционной системы;
- возможность подбора объемного насоса, выпускаемого промышленностью;
- возможность подбора стандартизованного гидроцилиндра для подъемно-транспортной техники;
- условия изгибной прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы;
- условия прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы при действии поперечной силы;
- условия прочности характерных сечений звена 1 при действии продольной силы;

- условие обеспечение устойчивости звена 1 при действии продольной сжимающей нагрузки с внецентренным изгибом.

Конкретное сочетание перечисленных условий и их математическое выражение определяются конкретным вариантом конструктивного исполнения трехзвенной манипуляционной системы (рис. 4). Ниже приведены системы ограничений применительно ко всем возможным вариантам.

*Вариант № 1 конструктивного исполнения манипуляционной системы (рис. 4).*

Общие условия компоновки звеньев:

$$\begin{aligned} L_1 - l_{01,h} \geq 0; \quad L_2 - l_{12,d} \geq 0; \quad l_{12,d} - l_{12,f} \geq 0; \quad L_3 - l_{23,b} \geq 0; \quad l_{ab} - 0,7t_b \geq 0; \quad l_{cd} - 0,7t_d \geq 0; \\ l_{ef} - 0,7t_f \geq 0; \quad l_{gh} - 0,7t_h \geq 0; \quad t_f - t_{b2} - (t_{e2} - t_{b2})l_{12,f} / L_2 \geq 0; \quad t_b - t_{b3} - (t_{e3} - t_{b3})l_{23,b} / L_3 \geq 0; \\ t_h - t_{b1} - (t_{e1} - t_{b1})l_{01,h} / L_1 \geq 0; \quad t_d - t_{b2} - (t_{e2} - t_{b2})l_{12,d} / L_2 \geq 0; \quad t_{e1} - t_{b2} \geq 0; \quad t_{e2} - t_{b3} \geq 0; \\ t_{b1} - t_{e1} \geq 0; \quad t_{b2} - t_{e2} \geq 0; \quad t_{b3} - t_{e3} \geq 0; \quad q_{20} - \pi/3 \geq 0; \quad \pi/6 - q_{20} \geq 0; \quad q_{30} - \pi/3 \geq 0; \\ \pi/6 - q_{30} \geq 0; \quad \pi/2 - q_{20} - \Delta q_2 \geq 0; \quad \pi/2 - q_{30} - \Delta q_3 \geq 0. \end{aligned}$$

Условия компоновки гидроцилиндров звеньев:

$$\begin{aligned} \sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e}l_{12,g} \sin\{q_{20} - \arctg(l_{ef} / l_{12,f}) - \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}} - \Delta l_{cy2} \geq 0; \\ \sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a}l_{23,c} \sin\{q_{30} - \arctg(l_{ab} / l_{23,b}) - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}} - \Delta l_{cy3} \geq 0. \end{aligned}$$

Допустимое сочетание габаритных размеров поперечных сечений звеньев:

$$\begin{aligned} s_1 / t_{b1} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1 / t_{b1} \geq 0; \quad s_1 / t_{e1} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1 / t_{e1} \geq 0; \\ s_2 / t_{b2} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2 / t_{b2} \geq 0; \quad s_2 / t_{e2} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2 / t_{e2} \geq 0; \\ s_3 / t_{b3} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3 / t_{b3} \geq 0; \quad s_3 / t_{e3} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3 / t_{e3} \geq 0; \\ s_1 / t_h - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1 / t_h \geq 0; \quad s_2 / t_f - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2 / t_f \geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_2 / t_d \geq 0; \quad s_2 / t_d - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3 / t_b \geq 0; \quad s_3 / t_b - \xi_s^{\min} \geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_1 / s_2; \quad s_2 / s_1 - \xi_s^{\min}; \quad \xi_s^{\max} - s_2 / s_3; \quad s_3 / s_2 - \xi_s^{\min}; \\ s_1 - 3\delta_1 \geq 0; \quad s_2 - 3\delta_2 \geq 0; \quad s_3 - 3\delta_3 \geq 0. \end{aligned}$$

Условия обеспечения требуемых размеров рабочей зоны манипуляционной системы:

$$\begin{aligned} (L_2 + L_3) \cos q_{20} - R_{\max} \geq 0; \quad Y_{\min} - L_1 - L_2 \sin q_{20} + L_3 \cos(q_{20} + q_{30}) \geq 0; \\ R_{\min} - L_2 \cos(q_{20} + \Delta q_2) - L_3 \sin(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) \geq 0; \\ L_1 + L_2 \sin(q_{20} + \Delta q_2) - \cos(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) - Y_{\max} \geq 0. \end{aligned}$$

Возможность подбора объемного насоса, выпускаемого промышленностью:

$$p_n - p_{n,\min} \geq 0; \quad p_{n,\max} - p_n \geq 0; \quad Q_{n,\max} - \pi(D_{cy2}^2 v_{cy2,\max} + D_{cy3}^2 v_{cy3,\max}) / 4 \geq 0.$$

Возможность подбора стандартизованного гидроцилиндра для подъемно-транспортной техники:

$$\begin{aligned} p_{cy,\max} - p_n \geq 0; \quad D_{cy,\max} - D_{cy2} \geq 0; \quad D_{cy,\max} - D_{cy3} \geq 0; \quad \Delta L_{cy,\max} - \Delta l_{cy2} \geq 0; \\ \Delta L_{cy,\max} - \Delta l_{cy3} \geq 0; \quad V_{cy,\max} - v_{cy2,\max}(\dot{q}_2) \geq 0; \quad V_{cy,\max} - v_{cy3,\max}(\dot{q}_3) \geq 0; \\ U_{cy,\max} - U_{cy2}^{\max} \geq 0; \quad U_{cy,\max} - U_{cy3}^{\max} \geq 0. \end{aligned}$$

Условия изгибной прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы:

$$\begin{aligned} [\sigma] - 6t_{b1}M_{01}^{\max} / [s_1 t_{b1}^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_{b1} - 2\delta_1)^3]; \quad [\sigma] - 6t_h M_h^{\max} / [s_1 t_h^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_h - 2\delta_1)^3]; \\ [\sigma] - 6t_b M_b^{\max} / [s_3 t_b^3 - (s_3 - 2\delta_3)(t_b - 2\delta_3)^3]; \quad [\sigma] - 6t_d M_d^{\max} / [s_2 t_d^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_d - 2\delta_2)^3]; \\ [\sigma] - 6t_f M_f^{\max} / [s_2 t_f^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_f - 2\delta_2)^3]. \end{aligned}$$

Условия прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы при действии поперечной силы:

$$\begin{aligned} [\tau] - 0,75\zeta_{f3}G_n / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] &\geq 0; & [\tau] - 0,75Q_b^{\max} / [\delta_3(t_b + s_3 - 2\delta_3)] &\geq 0; \\ [\tau] - 0,75Q_{23}^{\max} / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] &\geq 0; & [\tau] - 0,75Q_{23}^{\max} / [\delta_2(t_{e2} + s_2 - 2\delta_2)] &\geq 0; \\ [\tau] - 0,75Q_f^{\max} / [\delta_2(t_f + s_2 - 2\delta_2)] &\geq 0; & [\tau] - 0,75Q_{12}^{\max} / [\delta_2(t_{b2} + s_2 - 2\delta_2)] &\geq 0; \\ & & [\tau] - 0,75Q_{12}^{\max} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)] &\geq 0. \end{aligned}$$

Условия прочности характерных сечений звена 1 при действии продольной силы:

$$[\sigma] - 0,5N_{01} / [\delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1)]; \quad [\sigma] - 0,5N_{12} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)].$$

Условие обеспечения устойчивости звена 1 при действии продольной сжимающей нагрузки с внецентренным изгибом:

$$2\varphi_e[\sigma]\delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1) - N_{01} \geq 0.$$

В приведенных выше зависимостях используются следующие обозначения:  $\xi_s^{\min}, \xi_s^{\max}$

- минимальное и максимальное отношение ширины и высоты поперечного сечения звена;  $\xi_s^{\min}, \xi_s^{\max}$  - минимальное и максимальное отношение ширины поперечного сечения смежных звеньев;  $p_{n,\min} (p_{n,\max}), Q_{n,\max}$  - минимальное (максимальное) давление на выходе и максимальная объемная подача насосов, выпускаемых промышленностью;  $D_{cy,\max}, \Delta L_{cy,\max}, U_{cy,\max}, V_{cy,\max}$  - максимальные диаметр, ход, тяговое усилие и скорость штока стандартизованных гидроцилиндров;  $\zeta_{fj}$  - коэффициент перегрузки для  $j$ -го звена, учитывающий влияние дополнительной нагрузки от сил инерции, ветрового воздействия, веса гидроцилиндров и ребер жесткости звеньев и др.;  $[\sigma], [\tau]$  - допустимые нормальные и касательные напряжения в материале металлоконструкции звеньев;  $\varphi_e$  - коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом.

*Вариант № 2 конструктивного исполнения манипуляционной системы (рис. 4).*

Общие условия компоновки звеньев:

$$\begin{aligned} L_1 - l_{01,h} &\geq 0; & L_2 - l_{12,d} &\geq 0; & l_{12,d} - l_{12,f} &\geq 0; & l_{12,d} - l_{12,f} &\geq 0; & L_3/3 - l_{23,b} &\geq 0; \\ l_{23,b} - 0,7t_{b3} &\geq 0; & t_{b3} - t_b &\geq 0; & t_b - t_{e3}/3 &\geq 0; & l_{ef} - 0,7t_f &\geq 0; & t_f - t_{b2} - (t_{e2} - t_{b2})l_{12,f}/L_2 &\geq 0; \\ l_{cd} - 0,7t_d &\geq 0; & l_{gh} - 0,7t_h &\geq 0; & t_h - t_{b1} - (t_{e1} - t_{b1})l_{01,h}/L_1 &\geq 0; & t_d - t_{b2} - (t_{e2} - t_{b2})l_{12,d}/L_2 &\geq 0; \\ t_{e1} - t_{b2} &\geq 0; & t_{e2} - t_{b3} &\geq 0; & t_{b1} - t_{e1} &\geq 0; & t_{b2} - t_{e2} &\geq 0; & t_{b3} - t_{e3} &\geq 0; & q_{20} - \pi/3 &\geq 0; \\ \pi/6 - q_{20} &\geq 0; & q_{30} - \pi/3 &\geq 0; & \pi/6 - q_{30} &\geq 0; & \pi/2 - q_{20} - \Delta q_2 &\geq 0; & \pi/2 - q_{30} - \Delta q_3 &\geq 0; \\ \varphi_3 - \pi/4 &\geq 0; & 5\pi/6 - \varphi_3 &\geq 0. \end{aligned}$$

Условия компоновки гидроцилиндров звеньев:

$$\begin{aligned} \sqrt{l_{12,e}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,e}l_{12,g} \sin\{q_{20} - \arctg(l_{ef}/l_{12,f}) - \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}} - \Delta l_{cy2} &\geq 0; \\ \sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin\{q_{30} + \Delta q_3 + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}} - \Delta l_{cy3} &\geq 0. \end{aligned}$$

Допустимое сочетание габаритных размеров поперечных сечений звеньев:

$$\begin{aligned} s_1/t_{b1} - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_1/t_{b1} &\geq 0; & s_1/t_{e1} - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_1/t_{e1} &\geq 0; & s_2/t_{b2} - \xi_s^{\min} &\geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_2/t_{b2} &\geq 0; & s_2/t_{e2} - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_2/t_{e2} &\geq 0; & s_3/t_{b3} - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_3/t_{b3} &\geq 0; \\ s_3/t_{e3} - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_3/t_{e3} &\geq 0; & s_1/t_h - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_1/t_h &\geq 0; & s_2/t_f - \xi_s^{\min} &\geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_2/t_f &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_2/t_d &\geq 0; & s_2/t_d - \xi_s^{\min} &\geq 0; & \xi_s^{\max} - s_3/t_b &\geq 0; & s_3/t_b - \xi_s^{\min} &\geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_1/s_2; & s_2/s_1 - \xi_s^{\min}; & \xi_s^{\max} - s_2/s_3; & s_3/s_2 - \xi_s^{\min}; & & & & & & \\ s_1 - 3\delta_1 &\geq 0; & s_2 - 3\delta_2 &\geq 0; & s_3 - 3\delta_3 &\geq 0. \end{aligned}$$

Условия обеспечения требуемых размеров рабочей зоны манипуляционной системы:

$$(L_2 + L_3) \cos q_{20} - R_{\max} \geq 0; \quad Y_{\min} - L_1 - L_2 \sin q_{20} + L_3 \cos(q_{20} + q_{30}) \geq 0;$$

$$R_{\min} - L_2 \cos(q_{20} + \Delta q_2) - L_3 \sin(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) \geq 0;$$

$$L_1 + L_2 \sin(q_{20} + \Delta q_2) - \cos(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) - Y_{\max} \geq 0.$$

Возможность подбора объемного насоса, выпускаемого промышленностью:

$$p_n - p_{n,\min} \geq 0; \quad p_{n,\max} - p_n \geq 0; \quad Q_{n,\max} - \pi(D_{\text{ц}2}^2 v_{\text{ц}2,\max} + D_{\text{ц}3}^2 v_{\text{ц}3,\max}) / 4 \geq 0.$$

Возможность подбора стандартизованного гидроцилиндра для подъемно-транспортной техники:

$$p_{\text{ц}2,\max} - p_n \geq 0; \quad D_{\text{ц}2,\max} - D_{\text{ц}2} \geq 0; \quad D_{\text{ц}2,\max} - D_{\text{ц}3} \geq 0; \quad \Delta L_{\text{ц}2,\max} - \Delta L_{\text{ц}2} \geq 0;$$

$$\Delta L_{\text{ц}2,\max} - \Delta L_{\text{ц}3} \geq 0; \quad V_{\text{ц}2,\max} - v_{\text{ц}2,\max}(\dot{q}_2) \geq 0; \quad V_{\text{ц}2,\max} - v_{\text{ц}3,\max}(\dot{q}_3) \geq 0;$$

$$U_{\text{ц}2,\max} - U_{\text{ц}2}^{\max} \geq 0; \quad U_{\text{ц}2,\max} - U_{\text{ц}3}^{\max} \geq 0.$$

Условия изгибной прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы:

$$[\sigma] - 6t_{b1}M_{01}^{\max} / [s_1 t_{b1}^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_{b1} - 2\delta_1)^3]; \quad [\sigma] - 6t_h M_h^{\max} / [s_1 t_h^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_h - 2\delta_1)^3];$$

$$[\sigma] - 6t_d M_d^{\max} / [s_2 t_d^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_d - 2\delta_2)^3]; \quad [\sigma] - 6t_f M_f^{\max} / [s_2 t_f^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_f - 2\delta_2)^3];$$

$$[\sigma] - 6t_{b3} M_{23}^{\max} / [s_3 t_{b3}^3 - (s_3 - 2\delta_3)(t_{b3} - 2\delta_3)^3] \geq 0.$$

Условия прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы при действии поперечной силы:

$$[\tau] - 0,75\zeta_{f3} G_n / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75Q_b^{\max} / [\delta_3(t_b + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0;$$

$$[\tau] - 0,75Q_{23}^{\max} / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75Q_{23}^{\max} / [\delta_2(t_{e2} + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0;$$

$$[\tau] - 0,75Q_f^{\max} / [\delta_2(t_f + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75Q_{12}^{\max} / [\delta_2(t_{b2} + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0;$$

$$[\tau] - 0,75Q_{12}^{\max} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)] \geq 0.$$

Условия прочности характерных сечений звена 1 при действии продольной силы:

$$[\sigma] - 0,5N_{01} / [\delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1)]; \quad [\sigma] - 0,5N_{12} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)].$$

Условие обеспечения устойчивости звена 1 при действии продольной сжимающей нагрузки с внецентренным изгибом:

$$2\varphi_e[\sigma]\delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1) - N_{01} \geq 0.$$

Вариант № 3 конструктивного исполнения манипуляционной системы (рис. 4).

Общие условия компоновки звеньев:

$$L_1 - l_{01,h} \geq 0; \quad L_2 - l_{12,d} \geq 0; \quad l_{cd} - 0,7t_d \geq 0; \quad l_{gh} - 0,7t_h \geq 0; \quad L_3 - l_{23,b} \geq 0; \quad l_{ab} - 0,7t_b \geq 0;$$

$$t_b - t_{b3} - (t_{e3} - t_{b3})l_{23,b} / L_3 \geq 0; \quad L_2 / 3 - l_{12,f} \geq 0; \quad l_{12,f} - 0,7t_{b2} \geq 0; \quad t_{b2} - t_f \geq 0;$$

$$t_f - t_{e2} / 3 \geq 0; \quad t_h - t_{b1} - (t_{e1} - t_{b1})l_{01,h} / L_1 \geq 0; \quad t_d - t_{b2} - (t_{e2} - t_{b2})l_{12,d} / L_2 \geq 0;$$

$$t_{e1} - t_{b2} \geq 0; \quad t_{e2} - t_{b3} \geq 0; \quad t_{b1} - t_{e1} \geq 0; \quad t_{b2} - t_{e2} \geq 0; \quad t_{b3} - t_{e3} \geq 0; \quad q_{20} - \pi / 3 \geq 0;$$

$$\pi / 6 - q_{20} \geq 0; \quad q_{30} - \pi / 3 \geq 0; \quad \pi / 6 - q_{30} \geq 0; \quad \pi / 2 - q_{20} - \Delta q_2 \geq 0; \quad \pi / 2 - q_{30} - \Delta q_3 \geq 0;$$

$$\varphi_2 - \pi / 4 \geq 0; \quad 5\pi / 6 - \varphi_2 \geq 0.$$

Условия компоновки гидроцилиндров звеньев:

$$\sqrt{l_{23,a}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,a}l_{23,c} \sin\{q_{30} - \arctg(l_{ab} / l_{23,b}) - \arctg[l_{cd} / (L_2 - l_{12,d})]\}} - \Delta L_{\text{ц}3} \geq 0;$$

$$\sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f}l_{12,g} \sin\{q_{20} + \Delta q_2 + \varphi_2 + \arctg[l_{gh} / (L_1 - l_{01,h})]\}} - \Delta L_{\text{ц}2} \geq 0.$$

Допустимое сочетание габаритных размеров поперечных сечений звеньев:

$$s_1 / t_{b1} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1 / t_{b1} \geq 0; \quad s_1 / t_{e1} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1 / t_{e1} \geq 0; \quad s_2 / t_{b2} - \xi_s^{\min} \geq 0;$$

$$\xi_s^{\max} - s_2 / t_{b2} \geq 0; \quad s_2 / t_{e2} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2 / t_{e2} \geq 0; \quad s_3 / t_{b3} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3 / t_{b3} \geq 0;$$

$$s_3 / t_{e3} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3 / t_{e3} \geq 0; \quad s_1 / t_h - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1 / t_h \geq 0; \quad s_2 / t_f - \xi_s^{\min} \geq 0;$$

$$\xi_s^{\max} - s_2 / t_f \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2 / t_d \geq 0; \quad s_2 / t_d - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3 / t_b \geq 0; \quad s_3 / t_b - \xi_s^{\min} \geq 0;$$

$$\zeta_s^{\max} - s_1/s_2; \quad s_2/s_1 - \zeta_s^{\min}; \quad \zeta_s^{\max} - s_2/s_3; \quad s_3/s_2 - \zeta_s^{\min};$$

$$s_1 - 3\delta_1 \geq 0; \quad s_2 - 3\delta_2 \geq 0; \quad s_3 - 3\delta_3 \geq 0.$$

Условия обеспечения требуемых размеров рабочей зоны манипуляционной системы:

$$(L_2 + L_3) \cos q_{20} - R_{\max} \geq 0; \quad Y_{\min} - L_1 - L_2 \sin q_{20} + L_3 \cos(q_{20} + q_{30}) \geq 0;$$

$$R_{\min} - L_2 \cos(q_{20} + \Delta q_2) - L_3 \sin(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) \geq 0;$$

$$L_1 + L_2 \sin(q_{20} + \Delta q_2) - \cos(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) - Y_{\max} \geq 0.$$

Возможность подбора объемного насоса, выпускаемого промышленностью:

$$p_n - p_{n,\min} \geq 0; \quad p_{n,\max} - p_n \geq 0; \quad Q_{n,\max} - \pi(D_{2y2}^2 v_{2y2,\max} + D_{2y3}^2 v_{2y3,\max})/4 \geq 0.$$

Возможность подбора стандартизованного гидроцилиндра для подъемно-транспортной техники:

$$p_{2y,\max} - p_n \geq 0; \quad D_{2y,\max} - D_{2y2} \geq 0; \quad D_{2y,\max} - D_{2y3} \geq 0; \quad \Delta L_{2y,\max} - \Delta l_{2y2} \geq 0;$$

$$\Delta L_{2y,\max} - \Delta l_{2y3} \geq 0; \quad V_{2y,\max} - v_{2y2,\max}(\dot{q}_2) \geq 0; \quad V_{2y,\max} - v_{2y3,\max}(\dot{q}_3) \geq 0;$$

$$U_{2y,\max} - U_{2y2}^{\max} \geq 0; \quad U_{2y,\max} - U_{2y3}^{\max} \geq 0.$$

Условия изгибной прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы:

$$[\sigma] - 6t_{b1} M_{01}^{\max} / [s_1 t_{b1}^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_{b1} - 2\delta_1)^3]; \quad [\sigma] - 6t_h M_h^{\max} / [s_1 t_h^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_h - 2\delta_1)^3];$$

$$[\sigma] - 6t_b M_b^{\max} / [s_3 t_b^3 - (s_3 - 2\delta_3)(t_b - 2\delta_3)^3]; \quad [\sigma] - 6t_d M_d^{\max} / [s_2 t_d^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_d - 2\delta_2)^3];$$

$$[\sigma] - 6t_{b2} M_{12}^{\max} / [s_2 t_{b2}^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_{b2} - 2\delta_2)^3].$$

Условия прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы при действии поперечной силы:

$$[\tau] - 0,75 \zeta_{f3} G_n / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75 Q_b^{\max} / [\delta_3(t_b + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0;$$

$$[\tau] - 0,75 Q_{23}^{\max} / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75 Q_{23}^{\max} / [\delta_2(t_{e2} + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0;$$

$$[\tau] - 0,75 Q_f^{\max} / [\delta_2(t_f + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75 Q_{12}^{\max} / [\delta_2(t_{b2} + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0;$$

$$[\tau] - 0,75 Q_{12}^{\max} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)] \geq 0.$$

Условия прочности характерных сечений звена 1 при действии продольной силы:

$$[\sigma] - 0,5 N_{01} / [\delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1)]; \quad [\sigma] - 0,5 N_{12} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)].$$

Условие обеспечения устойчивости звена 1 при действии продольной сжимающей нагрузки с внецентренным изгибом:

$$2\varphi_e [\sigma] \delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1) - N_{01} \geq 0.$$

Вариант № 4 конструктивного исполнения манипуляционной системы (рис. 4).

Общие условия компоновки звеньев:

$$L_1 - l_{01,h} \geq 0; \quad L_2 - l_{12,d} \geq 0; \quad l_{cd} - 0,7t_d \geq 0; \quad l_{gh} - 0,7t_h \geq 0; \quad L_2/3 - l_{12,f} \geq 0;$$

$$l_{12,f} - 0,7t_{b2} \geq 0; \quad L_3/3 - l_{23,b} \geq 0; \quad l_{23,b} - 0,7t_{b3} \geq 0; \quad t_{b2} - t_f \geq 0; \quad t_f - t_{e2}/3 \geq 0;$$

$$t_{b3} - t_b \geq 0; \quad t_b - t_{e3}/3 \geq 0; \quad t_h - t_{b1} - (t_{e1} - t_{b1})l_{01,h}/L_1 \geq 0; \quad t_d - t_{b2} - (t_{e2} - t_{b2})l_{12,d}/L_2 \geq 0;$$

$$t_{e1} - t_{b2} \geq 0; \quad t_{e2} - t_{b3} \geq 0; \quad t_{b1} - t_{e1} \geq 0; \quad t_{b2} - t_{e2} \geq 0; \quad t_{b3} - t_{e3} \geq 0; \quad q_{20} - \pi/3 \geq 0;$$

$$\pi/6 - q_{20} \geq 0; \quad q_{30} - \pi/3 \geq 0; \quad \pi/6 - q_{30} \geq 0; \quad \pi/2 - q_{20} - \Delta q_2 \geq 0; \quad \pi/2 - q_{30} - \Delta q_3 \geq 0;$$

$$L_2/3 - l_{12,f} \geq 0; \quad l_{12,f} - 0,7t_{b2} \geq 0; \quad L_3/3 - l_{23,b} \geq 0; \quad l_{23,b} - 0,7t_{b3} \geq 0; \quad t_{b2} - t_f \geq 0;$$

$$t_f - t_{e2}/3 \geq 0; \quad t_{b3} - t_b \geq 0; \quad t_b - t_{e3}/3 \geq 0; \quad \varphi_2 - \pi/4 \geq 0; \quad 5\pi/6 - \varphi_2 \geq 0; \quad \varphi_3 - \pi/4 \geq 0;$$

$$5\pi/6 - \varphi_3 \geq 0.$$

Условия компоновки гидроцилиндров звеньев;

$$\sqrt{l_{12,f}^2 + l_{12,g}^2 + 2l_{12,f}l_{12,g} \sin\{q_{20} + \Delta q_2 + \varphi_2 + \arctg[l_{gh}/(L_1 - l_{01,h})]\}} - \Delta l_{2y2} \geq 0;$$

$$\sqrt{l_{23,b}^2 + l_{23,c}^2 + 2l_{23,b}l_{23,c} \sin\{q_{30} + \Delta q_3 + \varphi_3 + \arctg[l_{cd}/(L_2 - l_{12,d})]\}} - \Delta l_{2y3} \geq 0.$$

Допустимое сочетание габаритных размеров поперечных сечений звеньев:

$$\begin{aligned} s_1/t_{b1} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1/t_{b1} \geq 0; \quad s_1/t_{e1} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1/t_{e1} \geq 0; \quad s_2/t_{b2} - \xi_s^{\min} \geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_2/t_{b2} \geq 0; \quad s_2/t_{e2} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2/t_{e2} \geq 0; \quad s_3/t_{b3} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3/t_{b3} \geq 0; \\ s_3/t_{e3} - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3/t_{e3} \geq 0; \quad s_1/t_h - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_1/t_h \geq 0; \quad s_2/t_f - \xi_s^{\min} \geq 0; \\ \xi_s^{\max} - s_2/t_f \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_2/t_d \geq 0; \quad s_2/t_d - \xi_s^{\min} \geq 0; \quad \xi_s^{\max} - s_3/t_b \geq 0; \quad s_3/t_b - \xi_s^{\min} \geq 0; \\ \zeta_s^{\max} - s_1/s_2; \quad s_2/s_1 - \zeta_s^{\min}; \quad \zeta_s^{\max} - s_2/s_3; \quad s_3/s_2 - \zeta_s^{\min}; \\ s_1 - 3\delta_1 \geq 0; \quad s_2 - 3\delta_2 \geq 0; \quad s_3 - 3\delta_3 \geq 0. \end{aligned}$$

Условия обеспечения требуемых размеров рабочей зоны манипуляционной системы:

$$\begin{aligned} (L_2 + L_3) \cos q_{20} - R_{\max} \geq 0; \quad Y_{\min} - L_1 - L_2 \sin q_{20} + L_3 \cos(q_{20} + q_{30}) \geq 0; \\ R_{\min} - L_2 \cos(q_{20} + \Delta q_2) - L_3 \sin(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) \geq 0; \\ L_1 + L_2 \sin(q_{20} + \Delta q_2) - \cos(q_{20} + q_{30} + \Delta q_2 + \Delta q_3) - Y_{\max} \geq 0. \end{aligned}$$

Возможность подбора объемного насоса, выпускаемого промышленностью:

$$p_H - p_{H,\min} \geq 0; \quad p_{H,\max} - p_H \geq 0; \quad Q_{H,\max} - \pi(D_{cy2}^2 v_{cy2,\max} + D_{cy3}^2 v_{cy3,\max})/4 \geq 0.$$

Возможность подбора стандартизованного гидроцилиндра для подъемно-транспортной техники:

$$\begin{aligned} p_{cy,\max} - p_H \geq 0; \quad D_{cy,\max} - D_{cy2} \geq 0; \quad D_{cy,\max} - D_{cy3} \geq 0; \quad \Delta L_{cy,\max} - \Delta L_{cy2} \geq 0; \\ \Delta L_{cy,\max} - \Delta L_{cy3} \geq 0; \quad V_{cy,\max} - v_{cy2,\max}(\dot{q}_2) \geq 0; \quad V_{cy,\max} - v_{cy3,\max}(\dot{q}_3) \geq 0; \\ U_{cy,\max} - U_{cy2}^{\max} \geq 0; \quad U_{cy,\max} - U_{cy3}^{\max} \geq 0. \end{aligned}$$

Условия изгибной прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы:

$$\begin{aligned} [\sigma] - 6t_{b1} M_{01}^{\max} / [s_1 t_{b1}^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_{b1} - 2\delta_1)^3]; \quad [\sigma] - 6t_h M_h^{\max} / [s_1 t_h^3 - (s_1 - 2\delta_1)(t_h - 2\delta_1)^3]; \\ [\sigma] - 6t_{b3} M_{23}^{\max} / [s_3 t_{b3}^3 - (s_3 - 2\delta_3)(t_{b3} - 2\delta_3)^3] \geq 0; \quad [\sigma] - 6t_d M_d^{\max} / [s_2 t_d^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_d - 2\delta_2)^3]; \\ [\sigma] - 6t_{b2} M_{12}^{\max} / [s_2 t_{b2}^3 - (s_2 - 2\delta_2)(t_{b2} - 2\delta_2)^3]; \quad [\sigma] - 6t_{b3} M_{23}^{\max} / [s_3 t_{b3}^3 - (s_3 - 2\delta_3)(t_{b3} - 2\delta_3)^3]. \end{aligned}$$

Условия прочности характерных сечений звеньев манипуляционной системы при действии поперечной силы:

$$\begin{aligned} [\tau] - 0,75 \zeta_{f3} G_n / [\delta_3(t_{e3} + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75 Q_b^{\max} / [\delta_3(t_b + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \\ [\tau] - 0,75 Q_{23}^{\max} / [\delta_3(t_{e2} + s_3 - 2\delta_3)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75 Q_{23}^{\max} / [\delta_2(t_{e2} + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0; \\ [\tau] - 0,75 Q_f^{\max} / [\delta_2(t_f + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0; \quad [\tau] - 0,75 Q_{12}^{\max} / [\delta_2(t_{b2} + s_2 - 2\delta_2)] \geq 0; \\ [\tau] - 0,75 Q_{12}^{\max} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)] \geq 0. \end{aligned}$$

Условия прочности характерных сечений звена 1 при действии продольной силы:

$$[\sigma] - 0,5 N_{01} / [\delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1)]; \quad [\sigma] - 0,5 N_{12} / [\delta_1(t_{e1} + s_1 - 2\delta_1)].$$

Условие обеспечения устойчивости звена 1 при действии продольной сжимающей нагрузки с внецентренным изгибом:

$$2\varphi_e [\sigma] \delta_1(t_{b1} + s_1 - 2\delta_1) - N_{01} \geq 0.$$

Задачи однокритериальной оптимизации показателей качества  $M_{ms}$  и  $N_n$  для  $i$ -го варианта исполнения гидрофицированной манипуляционной системы, результаты решения которых необходимы для формирования целевой функции многокритериальной оптимизации вида (4), представляют собой минимизацию следующих целевых функций на основе соотношений (2) и (3):

$$Ц_{Mi}(\{x\}_{Mi}, \{z\}_{Mi}) \equiv M_{msi}(\{x\}_{Mi}, \{z\}_{Mi}) \rightarrow \min \quad (5)$$

$$Ц_{Ni}(\{x\}_{Ni}, \{z\}_{Ni}) \equiv N_{hi}(\{x\}_{Ni}, \{z\}_{Ni}) \rightarrow \min \quad (6)$$

и нахождения в точке их оптимума векторов управляемых параметров  $\{x\}_{Mi}^{opt}$  и  $\{x\}_{Ni}^{opt}$ . Структура векторов  $\{x\}_{Mi}$ ,  $\{x\}_{Ni}$  и системы ограничений, используемых при минимизации данных целевых функций, совпадают со структурой вектора управляемых параметров при многокритериальной оптимизации  $\{x\}_i$  и системами ограничений, представленными выше.

### **Список литературы**

1. Кобзев, А.П. Оптимальное проектирование тяжелых козловых кранов / А.П. Кобзев. – Саратов: СГУ, 1991. – 160 с.
2. Лагерев, Э.А. Научные проблемы проектирования гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин / Э.А. Лагерев // Достижения вузовской науки. – 2015. - № 14. – С. 101-106.
3. Лагерев, И.А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. - Брянск: БГТУ, 2013. - 228 с.
4. Лагерев, И.А. Проектирование поворотных гидродвигателей для манипуляционных систем мобильных машин на основе многокритериальной оптимизации / И.А. Лагерев, Е.А. Шатунова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 4. – С. 34-51. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-34-51.
5. Беляков, В.В. Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов. – Н. Новгород: НГТУ. – 2001. – 271 с.
6. Хорошев, А.Н. Введение в управление проектированием механических систем. - Белгород, 1999. - 372 с.
7. 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. 7-10.
8. Лагерев, А.В. Динамико-прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев. – Брянск: БГУ, 2015. – 186 с.
9. Лагерев, И.А. Динамический анализ трехзвенного гидравлического крана-манипулятора / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – №3. – С. 9-16.
10. Лагерев, И.А. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 196 с.
11. Казак, С.А. Курсовое проектирование грузоподъемных машин / С.А. Казак, В.Е. Дусье, Е.С. Кузнецов [и др.]; под ред. С.А. Казака. – М.: Высш. шк., 1989. – 319 с.
12. Вершинский, А.В. Строительная механика и металлические конструкции / А.В. Вершинский, М.М. Гохберг, В.П. Семенов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
13. Справочник по кранам: в 2-х т. Т. 1 / под ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, 1987. – 536 с.
14. Васильев, Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф.П. Васильев. – М.: Наука, 1980. – 518 с.
15. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн. 1. - М.: Мир, 1986. – 349 с.

### **Сведения об авторе**

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



## PRE-DESIGN OPTIMIZATION OF THE MANIPULATION SYSTEM WITH HYDRAULIC DRIVE FOR MOBILE TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINE

Lagerev I.A.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

In the article has developed an optimization mathematical model and methodology of selection of optimal parameters of manipulation of systems of transport and technological machines, which allows to increase their service performance and competitiveness. Also developed the original structure of a comprehensive objective function taking into account the additive effect of any number of important indicators of quality in the formation of the optimal variant of the designed construction. Established the feasibility of using optimization approaches to definition of the basic dimensions of the kinematic scheme and parameters of the drive for the hydraulic manipulation system at the preliminary stage – the stage of development of the technical proposal for the design of the mobile machine. The approach enables the source to lay the subject to further design of the optimal values of the most important quantitative characteristics that determine the realization of the highest values of quality designed manipulation systems. For manipulation systems of hydraulic mobile machine appropriate to use such indicators of quality as its own weight and the capacity of the pumping installation. Pre-design optimization allows to comprehensively determine the optimum combination of a sufficiently large number of basic design parameters – the characteristic dimensions of metal constructions of manipulation systems (lengths, dimensions, cross sections, links, and mounting dimensions for hydraulic drives) and characteristics of the hydraulic equipment (working pressure and flow rate of the working fluid).

**Keywords:** *transport-technological mobile machine, manipulator, multicriterial optimization, objective function, restriction, weight, pressure, stress*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-26-45

### References

1. Kobzev A.P. *Optimalnoe proektirovanie tyazhelykh kozlovykh kranov* [Optimal design of heavy gantry cranes]. Satatov, SGU, 1991. 160 p.
2. 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.
3. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Optimalnoe proektirovanie podyemno-transportnykh mashin* [Optimal design of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 228 p.
4. Lagerev I.A., Shatunova E.A. Design of turning hydraulic engines for manipulators of mobile machines on the basis of multicriterial optimization. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 4, pp. 34-51. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-34-51.
5. Belyakov V.V., Bushueva M.E., Sagunov V.I. *Mnogokriterialnaya optimizatsiya v zadachakh podvizhnosti, konkurentosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnykh tekhnicheskikh system* [Multicriterial optimization in problems of mobility, the competitiveness of automotive engineering and diagnostics of complex technical systems]. N.Novgorod, NGTU, 2001. 271 p.
6. Khoroshev A.N. *Vvedenie v upravlenie proektirovaniem mekhanicheskikh system* [Introduction to control of mechanical systems design]. Belgorod, 1999. 372 p.
7. 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.
8. Lagerev A.V., Milto A.A., Lagerev I.A. *Dinamiko-prochnostnoy analiz gidravlicheskikh krano-manipulyatornykh ustanovok mobilnykh mashin* [Dynamic and mechanical analysis of hydraulic crane-manipulating installations of mobile machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 186 p.
9. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Dynamic analysis of a hydraulic three-tier crane-manipulator, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.3, pp. 9-16.

10. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Dinamika tryekhzhvennykh gidravlicheskiikh kranov-manipulatorov* [Dynamics three-tier hydraulic crane-manipulators]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2012. 196 p.

11. Kazak S.A., Duse V.E., Kuznetsov E.S. *Kursovoe proektirovanie gruzopodemnykh mashin* [Course design of lifting machines]. Moscow, Vysshaya Shkola, 1989. 319 p.

12. 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.

13. *Spravochnik po kranam. Tom 2* [Handbook on cranes. Vol. 2]. Leningrad, Mashinostroenie, 1987. 536 p.

14. Vasilev F.P. *Chislennyye metody resheniya ekstremalnykh zadach* [Numerical methods for solving extremal problems]. Moscow, Nauka, 1980. 518 p.

15. Reklaitis G.V., Ravindran A., Ragsdell K.M. *Engineering optimization. Methods and applications*. John Wiley & Sons, Inc., 1983.

#### **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).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 539.3

**МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ БРУСА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ**

Шляхов С.М., Гаврилов Д.Ю.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

Статья посвящена задаче рационального распределения пористости по сечению бруса при чистом изгибе. Решение такой задачи позволит обеспечить необходимую несущую способность при снижении материалоемкости конструкции. Целью исследования является подобрать рациональный закон распределения пористости по прямоугольному сечению бруса при технических ограничениях производства.

**Ключевые слова:** пористость, чистый изгиб, прямоугольник, рациональность, брус, нормальные напряжения, модуль Юнга.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-46-51

Рассмотрим чистый изгиб бруса, выполненного из материала (стали) пористой структуры с переменной по сечению пористостью. Интерес к рассмотрению задачи с постановкой именно такого вопроса обуславливается предположением о теоретической возможности варьирования механических свойств нагружаемой конструкции исходя из возникающих в сечениях напряжений. Известно, что механические характеристики материала (модуль Юнга  $E$  и предел текучести  $\sigma_T$ ) являются функциями пористости материала [1, 2]. Практические результаты показывают, что при повышении уровня пористости  $p$  значение модуля Юнга  $E$  снижается, а при снижении уровня пористости – повышается. Аналогичная зависимость просматривается и при анализе пары - предел текучести  $\sigma_T$  - пористость  $p$ .

Ограничимся случаем упругого деформирования, полагая, что максимальные напряжения в брус  $\sigma_{max}$  не превышают предела текучести материала  $\sigma_T$ . На основе экспериментальных данных для пористой стали, приведенных в табл. 1, зависимости  $E(p)$  и  $\sigma_T(p)$  могут быть представлены полиномом.

Таблица 1  
Экспериментальные зависимости значений нормальных напряжений и модуля Юнга от пористости

Пористость	$\sigma_T$ , МПа	Пористость	$E$ , МПа
0	200	0	210000
0,12	116	0,1	160000
0,21	95	0,2	110000
0,31	59	0,3	80000
0,37	43	0,4	50000
0,43	32	0,5	20000

Сглаживая заданную функцию методом наименьших квадратов (МНК) получим полиномы:

$$E = a_1 + a_2 p + a_3 p^2, \tag{1}$$

$$\sigma_T = b_1 + b_2 p + b_3 p^2. \tag{2}$$

Конечным результатом МНК будут являться значения соответствия  $\sigma_T$ ,  $E$  пористости в границах от 0 до 0,4.

На рис.1, а,б приведены графики функций (1) и (2) соответственно, при значениях коэффициентов (МПа), приведенных в табл.2 в интервале  $0 \leq p \leq 0,4$ .

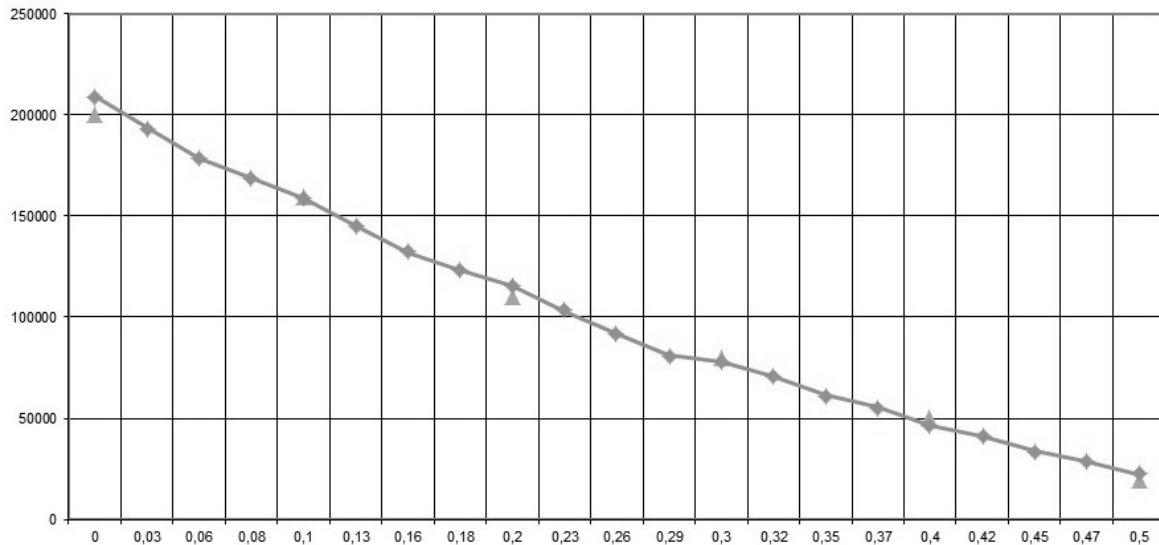
Таблица 2

Значения коэффициентов полиномов, полученных методом наименьших квадратов

Коэффициент	Значение коэффициента	Коэффициент	Значение коэффициента
$a_1$	209285,7143	$b_1$	196,0368975
$a_2$	-535000	$b_2$	-645,9644653
$a_3$	321428,5714	$b_3$	627,5555095

а)

$E, МПа$



б)

$\sigma_T, МПа$

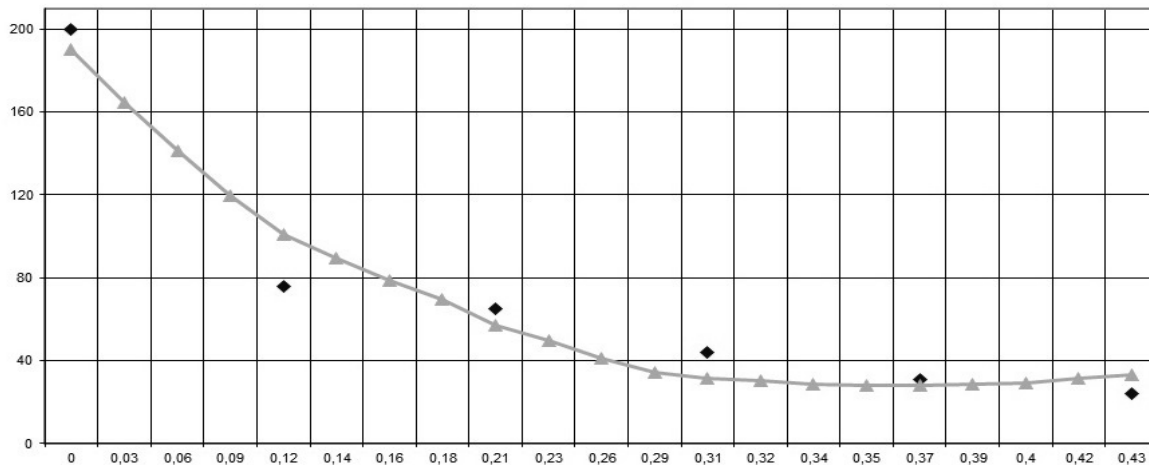


Рис.1. Графики зависимости значений модуля Юнга и нормальных напряжений от пористости: а –  $E$ ; б -  $\sigma_T$

Положим теперь, что пористость  $p$  переменна по высоте бруса.

$$P = P(y), 0 \leq y \leq h/2$$

Тогда  $E = E(y)$  т.е. модуль Юнга есть функция координаты  $y$  (рис.2).

Задача изгиба, таким образом, сводится к изгибу бруса, выполненного из неоднородного материала с переменной по сечению упругой характеристикой  $E = E(y)$  и переменным пределом текучести  $\sigma_T = \sigma_T(y)$ .

Обозначим изгибающий момент на бруске через  $M$ , а высоту сечения –  $h$ . При чистом изгибе бруса работает гипотеза плоских сечений, т.е. сечения после деформаций остаются плоскими и нормальными к оси бруса.

Соответственно закону Гука при изгибе определим закон изменения напряжений по высоте сечения:

$$\sigma = E\varepsilon. \quad (3)$$

Величина максимальных деформаций  $\varepsilon$  постоянна для данного сечения, а значение  $E = E(y_i)$  зависит от расстояния от оси сечения  $y_j$ . При этом имеем ограничение

$$\sigma \leq \sigma_T(y). \quad (4)$$

Величина изгибающего момента в сечении определится по формуле

$$M \approx 2 \cdot \sum_{j=1}^n \sigma_j b_j \delta y_j = 2 \sum_{j=1}^n E_j \varepsilon_j b_j \delta y_j \quad (5)$$

Целью исследования является подобрать такой закон распределения модуля Юнга  $E$  и, следовательно, пористости  $p$  по сечению бруса, чтобы получить максимально возможный изгибающий момент при ограничениях на напряжение  $\sigma \leq \sigma_T$  и на пористость

$$p_{\min} \leq p \leq p_{\max}, \quad (6)$$

задаваемых техническими возможностями производства.

Данная постановка является сложной задачей линейного программирования, для решения которой используем приближенный подход. Суть приближенного решения заключается в следующем.

Разбиваем все сечение бруса по высоте сечения на  $n$  элементов с наружными высотами  $y_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) с шагом

$$\delta = \frac{h}{2n},$$

где  $h$  – высота бруса (рис.2).

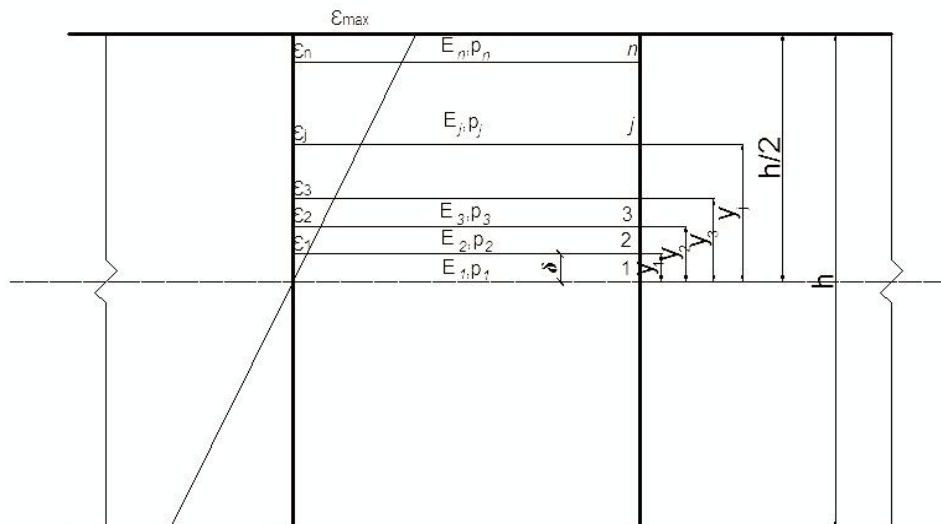


Рис.2. Схема разбиения поперечного сечения на элементы

Соответственно получим

$$y_1 = \Delta h; \quad y_j = y_{j-1} + \delta, \quad j = 2, 3, \dots, n.$$

Максимальные напряжения в слоях будут равны

$$\sigma_j = E_j \varepsilon_j \leq \sigma_{Tj}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Для решения задачи применим метод последовательных приближений.

Зададимся вначале нулевой пористостью и максимальной деформацией  $\varepsilon_{\max}$ . По формуле (7) найдем значение нормальных напряжений для каждого элемента поперечного сечения. По диаграмме (рис.1, б) находим предельное значение пористости, соответствующее полученному значению нормальных напряжений, полагая  $\sigma_j = \sigma_T$ . Найденное значение пористости следует согласовать с условием (6). Примем в нашем случае  $p_{\min} = 0$ ,  $p_{\max} = 0,4$ , т.е. в случае выхода искомого значения  $p$  за пределы наложенных ограничений следует принять граничное его значение.

Определяем величину изгибающего момента по формуле

$$M = 2 \cdot \sum_{j=1}^n \sigma_j h_j b_j y_j. \quad (8)$$

По полученному значению пористости на каждом слое сечения по формуле (1) найдем  $E = E_j$  и повторяем расчет.

Будем циклично продолжать описанные выше действия до тех пор, пока не выполнится условие

$$\left| \frac{M_{i+1} - M_i}{M_{i+1}} \right| \cdot 100\% < 1\%.$$

В качестве примера примем  $h = 20$  см,  $n = 20$ ,  $\varepsilon_{\max} = 0,000952381$ ,  $b = 10$  см. Получим значение пористости для каждого элементарного слоя и определяем момент.

Результаты всех приближений сведем в табл.3.

Таблица 3

Сводные значения вычисленных значений изгибающих моментов на каждом приближении

№ приближения	Значение изгибающего момента, кНм	Значение $\left  \frac{M_{i+1} - M_i}{M_{i+1}} \right  \cdot 100, \%$
	5,7205	
1	4,6802	18,19
2	4,1285	11,79
3	3,8071	7,79
4	3,5668	6,31
5	3,4283	3,88
6	3,3410	2,54
7	3,2339	3,20
8	3,2201	0,43

При оценке полученных результатов, мы видим, что достигли необходимого результата на 8-м приближении.

Окончательно функции рационального распределения  $p(y)$  и  $\sigma(y)$  отражены на эпюрах (рис. 3).

Таким образом, описанный метод решения является достаточно точным и объективным методом решения задачи. Варьируя значение  $\varepsilon_{\max}$ , получим функциональную зависимость  $M_{изг}(\varepsilon_{\max}, p)$ , из которой найдем расчетное значение  $\varepsilon_{\max}$ , соответствующее требуемому изгибающему моменту.

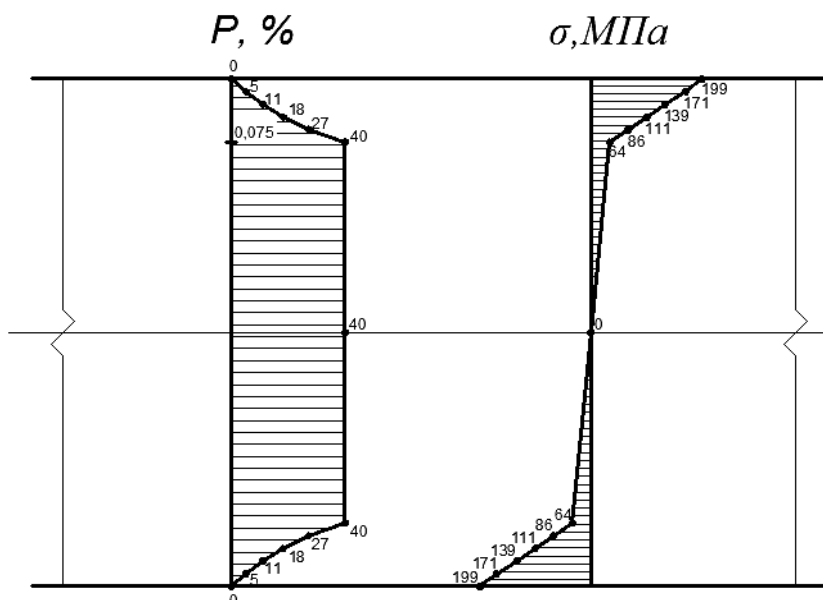


Рис. 3. Эпюры распределения пористости и соответствующих значений нормальных напряжений по поперечному сечению бруса

### Список литературы

1. Кашталян, Ю.А. Характеристики упругих материалов при высоких температурах / Ю.А. Кашталян. – Киев: Наукова думка, 1970. – 112 с.
2. Белов, С.В. Пористые металлы в машиностроении / С.В. Белов. – М: Машиностроение, 1981. – 247 с.

### Об авторах

Шляхов Станислав Михайлович - доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Гаврилов Данила Юрьевич - аспирант кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., [gavrilovdy@rambler.ru](mailto:gavrilovdy@rambler.ru).

## METHOD OF CONSECUTIVE APPROXIMATIONS IN THE PROBLEM OF RATIONAL DISTRIBUTION OF POROSITY AT THE PURE BEND OF THE BAR OF RECTANGULAR SECTION

Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu.

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russian Federation

This article is devoted to a task of rational distribution of porosity on bar section in case of a net bend. The solution of such task will allow to provide the necessary bearing capability in case of decrease in a material capacity of a design. A research purpose is to pick up the rational distribution law of porosity for the rectangular section of a bar in case of technical restrictions of production.

**Keywords:** porosity, net bend, rectangle, rationality, bar, normal tension, Jung's module.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-46-51

### References

1. Kashtalyan Yu.A. *Kharakteristiki uprugikh materialov pri vysokikh temperaturakh* [The characteristics of elastic materials at high temperatures]. Kiev, Naukova dumka, 1970. 112 p.
2. Belov S.V. *Poristye metally v mashinostroenii* [Porous metals in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie, 1981. 247 p.

### Authors' information

Stanislav M. Shlyakhov - doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin.

Danila Yu. Gavrilov – graduate student at Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, [gavrilovdy@rambler.ru](mailto:gavrilovdy@rambler.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017





УДК 621.86

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ЛЕНТОЧНОГО ПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА НА ЕГО РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ**

Гончаров К.А., Гришин А.В.

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

Описано устройство экспериментального стенда для исследования влияния конструкции промежуточного ленточного привода ленточного конвейера на его рабочие процессы. Обоснована необходимость разработки стенда, а также проведения с его помощью ряда экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** *экспериментальный стенд, промежуточный ленточный привод, ленточный конвейер.*

**DOI:** <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-01-52-59>

Применение промежуточных ленточных приводов ленточных конвейеров является чаще всего единственным возможным техническим решением при необходимости беспрышного транспортирования сыпучих грузов на значительные расстояния конвейерным транспортом. Изучению процессов поведения подобных приводов в общей структуре систем приводов ленточных конвейеров посвящено значительное число работ [1–8]. При этом стоит отметить преимущественно теоретическую направленность указанных исследований.

Анализируя приведенные источники, можно сделать вывод о незначительном количестве проведенных натуральных экспериментов по изучению промежуточных ленточных приводов ленточных конвейеров, самый масштабный из которых описан в работах [3, 4]. Однако, даже в этом случае можно выделить недостаток, не снижающий качество и значимость указанного эксперимента – малая вариативность изменяемых конструктивных параметров промежуточных приводов, ограниченная непосредственно конструкцией всей конвейерной установки (высокая трудоемкость замены лент, роликкоопор и т.д. для расширения спектра изучаемых параметров). В связи с этим можно отметить, что в настоящее время актуальными являются исследования влияния на тяговую способность промежуточного ленточного привода таких факторов как относительное боковое смещение грузонесущей и тяговой лент, неравномерность распределения груза на участке привода, относительное поведение грузонесущей и тяговой лент в зависимости от их ширины, конструкции, взаимного положения.

Недостаточная изученность описанных вопросов часто приводит к ситуации, в которой предприятия, производящие магистральные ленточные конвейеры, применяют неоднократно апробированные схемы систем приводов с промежуточными ленточными приводами [9] вне зависимости от индивидуальных особенностей каждого процесса транспортирования случайного сыпучего груза, что приводит к дополнительным расходам при проектировании машины или к отказу от применения промежуточных ленточных приводов как таковых в целом [10].

Ряд проводимых экспериментальных исследований, касающихся изучения параметров промежуточных ленточных приводов ленточных конвейеров [11], носит весьма условный характер, определяющий довольно ограниченную область возможного применения результатов экспериментов, в связи со статической постановкой процессов их проведения без учета реально действующего при работе ленточного привода (совместном движении лент со значительными скоростями) механизма передачи тягового усилия с образованием зон относительного покоя и скольжения между грузонесущей и тяговой лентами.

Отдельно стоит затронуть вопрос управления промежуточным ленточным приводом в общей системе приводов конвейерной установки. Вектор управляемых параметров таких приводов имеет большую размерность по сравнению с наиболее изученными на данный момент двухбарабанными приводами ленточных конвейеров [12]. Для устойчивой работы промежуточных ленточных приводов помимо управления механическими характеристиками двигателей дополнительно необходимо управлять натяжением тяговых лент непосредствен-

но в тяговых контурах, а также контролировать процесс бокового схода ленты на участках промежуточных приводов, особенно в случаях, когда применяются тяговые ленты большей ширины, нежели грузонесущие.

При этом теоретическое прогнозирование поведения промежуточных приводов можно производить по методике, предложенной в [7], с учетом основного массива описанных выше факторов, включая возможное отклонение величин скольжений электродвигателей от номинальных значений. Однако, даже такая степень точности теоретического описания поведения ленточного привода, положенная в основу создания системы управления, не дает полной картины его работы. Вопросы влияния относительного поперечного смещения лент, их бокового схода, углов наклона боковых роликов и других конструктивных особенностей на тяговую способность и поведение промежуточного ленточного привода необходимо изучать экспериментально.

Предлагаемая в данной работе конструкция экспериментального стенда для исследования рабочих процессов в промежуточном ленточном приводе позволяет с достаточной степенью точности провести изучение влияния на эти процессы указанных выше факторов.

Конструкция экспериментального стенда представлена на рис. 1.

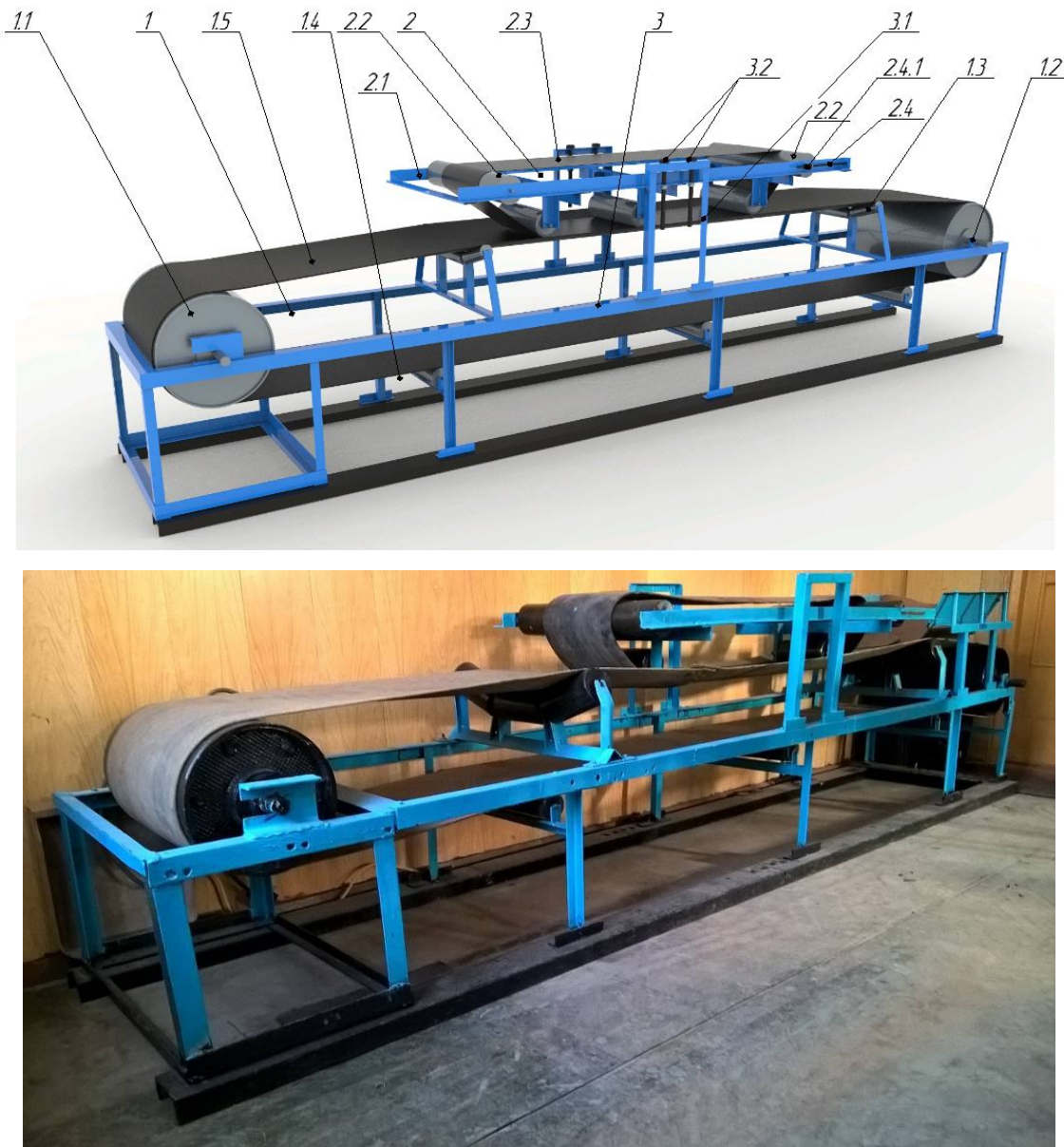


Рис. 1. Конструкция экспериментального стенда

Стенд включает два замкнутых контура 1 и 2. Контур 1 является приводным и моделирует работу промежуточного ленточного привода. Контур 2 является ведомым, при этом его нижняя ветвь в разных вариациях взаимодействует с верхней ветвью контура 1, моделируя работу верхней ветви грузонесущей ленты конвейера.

Тяговый контур 1 включает приводную станцию 1.1, выполненную в виде мотор-барабана, винтовое натяжное устройство 1.2, верхние 1.3 и нижние 1.4 роликоопоры, замкнутую ленту 1.5, выполняющую роль тяговой. Все элементы тягового контура 1 смонтированы на ставе 3.

Став 3 является несущей металлической конструкцией всего стенда и предусматривает наличие кронштейнов 3.1, с помощью которых на стенд устанавливается замкнутый ведомый контур 2. Кронштейн 3.1 оборудован двусторонним винтовым устройством 3.2, позволяющим осуществлять вертикальное перемещение замкнутого контура 2, что необходимо для реализации различных механизмов контакта лент контуров при проведении исследования. Двустороннее исполнение винтового устройства 3.2 позволяет создавать относительно небольшие углы наклона ведомого контура 2 в плане с различной степенью прижатия лент. Такое техническое решение создает возможность проведения исследования влияния на тяговую способность промежуточного ленточного привода возможного бокового смещения лент друг относительно друга, а также взаимодействия лент различной жесткости на продольных участках их перегиба, формируемых желобчатыми роликоопорами.

Ведомый контур 2 (рис. 2) состоит из става 2.1, закрепленных на нем обводных роликов 2.2, ведомой ленты 2.3, винтового натяжного устройства 2.4 и трех дополнительных промежуточных роликов, непосредственно прижимающих ленты друг к другу, имитируя полезную нагрузку от веса перемещаемого груза на участке промежуточного привода.

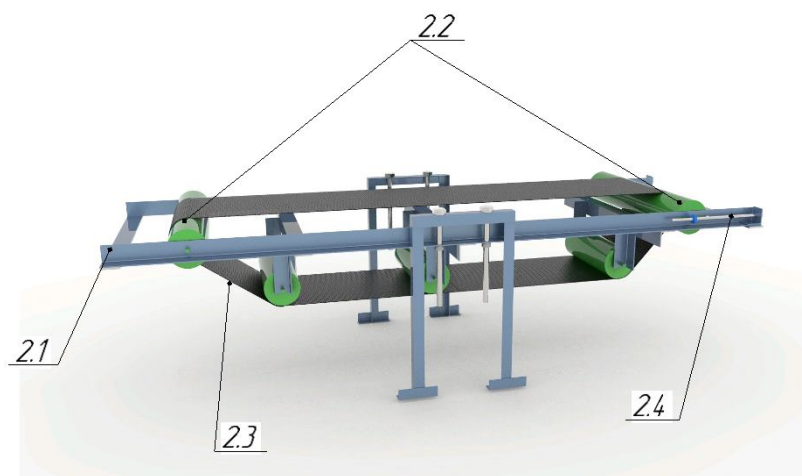


Рис. 2. Конструкция ведомого контура экспериментального стенда

Став 2.1 ведомого контура подразумевает возможность наращивания его длины. Указанная возможность при проведении исследования позволяет получить более полную картину взаимодействия тяговой и грузонесущей лент с учетом попадания в зону этого взаимодействия безопорных участков и участков с установленными роликоопорами.

Винтовые натяжные устройства контуров 1.2 и 2.4 оснащены тарированными на определенное усилие пружинными указателями натяжения лент 1.2.1 и 2.4.1.

В характерных точках контуров 1 и 2 устанавливаются счетчики оборотов, позволяющие по завершении определенного периода работы стенда с помощью полученной информации вычислить реализованные скорости лент в этих точках. В качестве характерных точек учитываются:

- точки начала и конца зоны контакта лент по центральной продольной оси става 3;
- точки начала и конца зоны контакта лент по центральным осям симметрии наклонных роликов желобчатых роликоопор;

– точка перехода зоны относительного покоя в зону относительного скольжения лент (определяется последовательным смещением счетчиков оборотов вдоль зоны контакта лент).

Описанная выше конструкция стенда предполагает проведение следующих экспериментальных исследований:

1. Определение зон относительного покоя и скольжения лент при их центральном расположении в зависимости от величины действующей полезной нагрузки на безопорном и комплексном участках контакта лент при дифференциации величин натяжений, создаваемых натяжными устройствами в контурах 1 и 2. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 для данного исследования представлено на рис. 3.

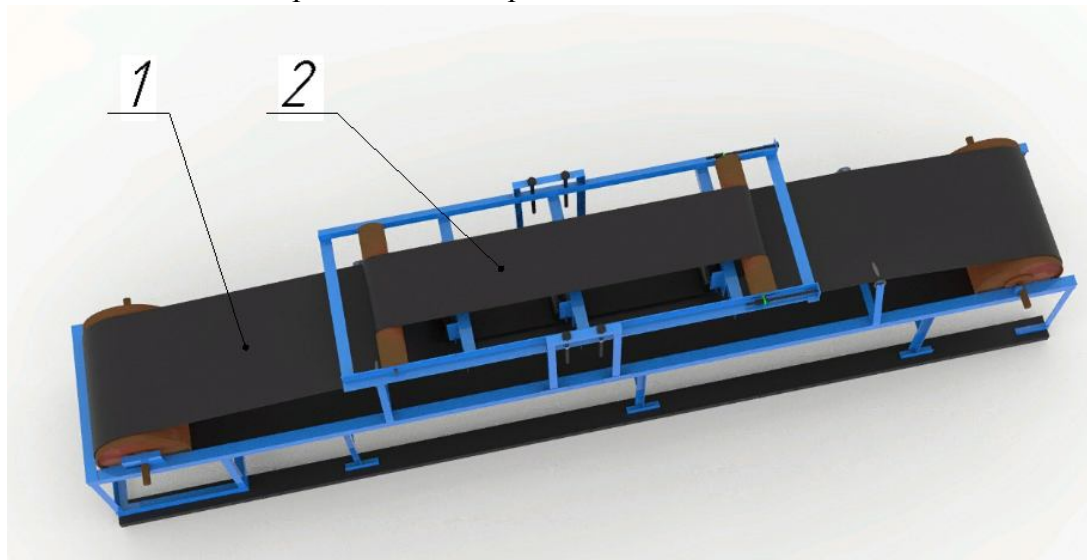


Рис. 3. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 при центральном расположении лент

2. Определение зон относительного покоя и скольжения лент при полном боковом смещении грузонесущей ленты с образованием зоны неполного контакта в районе продольного изгиба тяговой ленты, сформированного желобчатыми роlikоопорами, на безопорном и комплексном участках контакта при дифференциации величин натяжений, создаваемых натяжными устройствами в контурах 1 и 2. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 для данного исследования представлено на рис. 4.

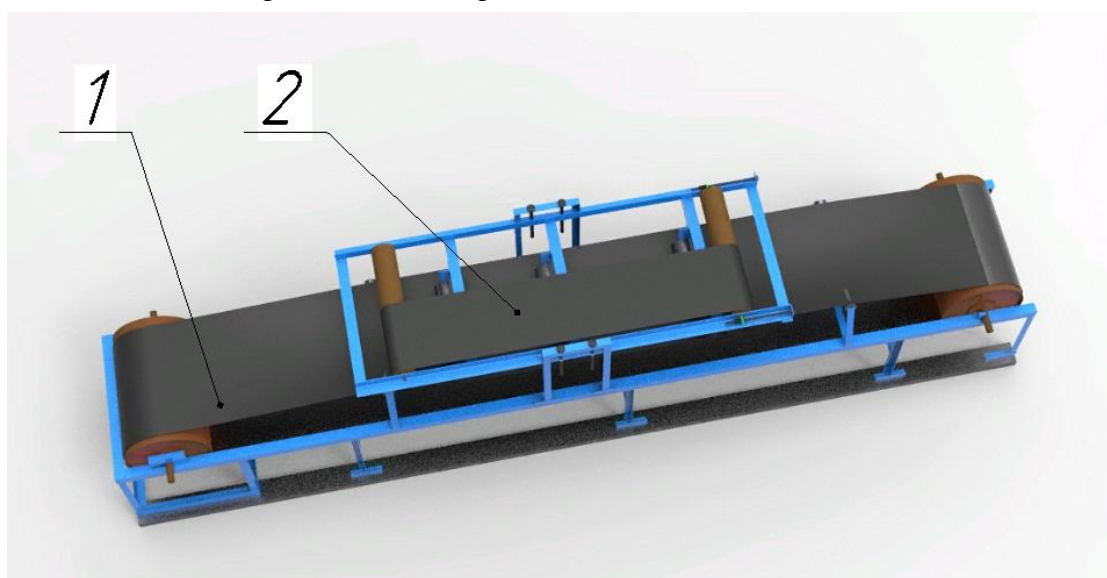


Рис. 4. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 при полном боковом смещении грузонесущей ленты



3. Определение зон относительного покоя и скольжения лент при боковом одностороннем смещении грузонесущей ленты относительно тяговой на безопорном и комплексном участках контакта при дифференциации величин натяжений, создаваемых натяжными устройствами в контурах 1 и 2. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 для данного исследования представлено на рис. 5.

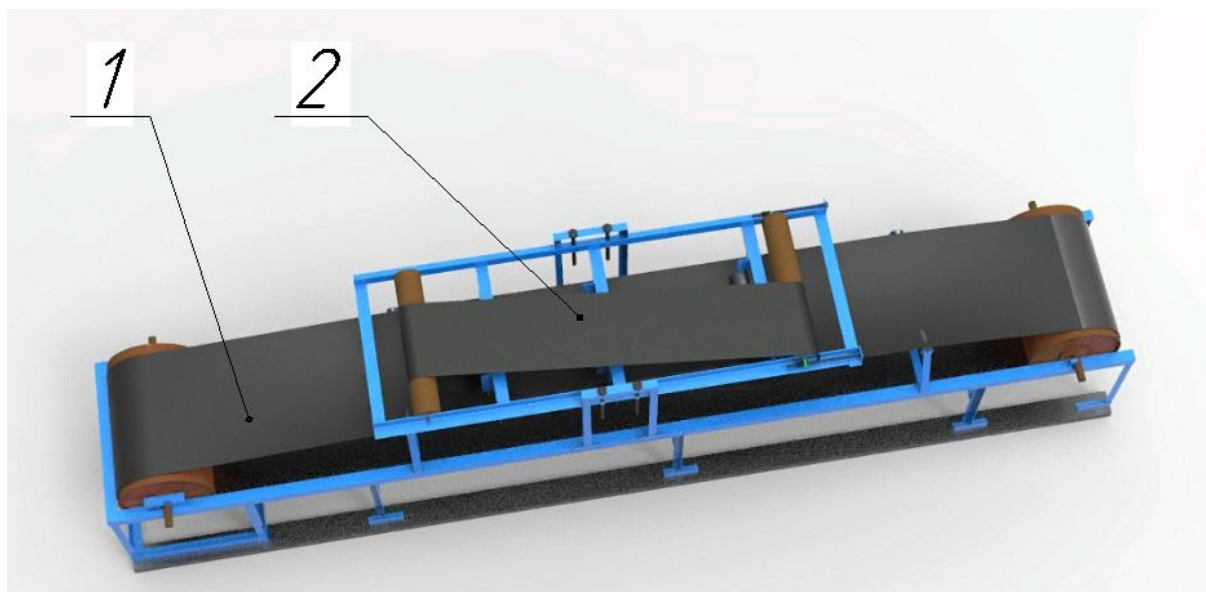


Рис. 5. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 при боковом одностороннем смещении грузонесущей ленты относительно тяговой

4. Определение зон относительного покоя и скольжения лент при боковом двустороннем смещении грузонесущей ленты относительно тяговой на безопорном и комплексном участках контакта при дифференциации величин натяжений, создаваемых натяжными устройствами в контурах 1 и 2. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 для данного исследования представлено на рис. 6.

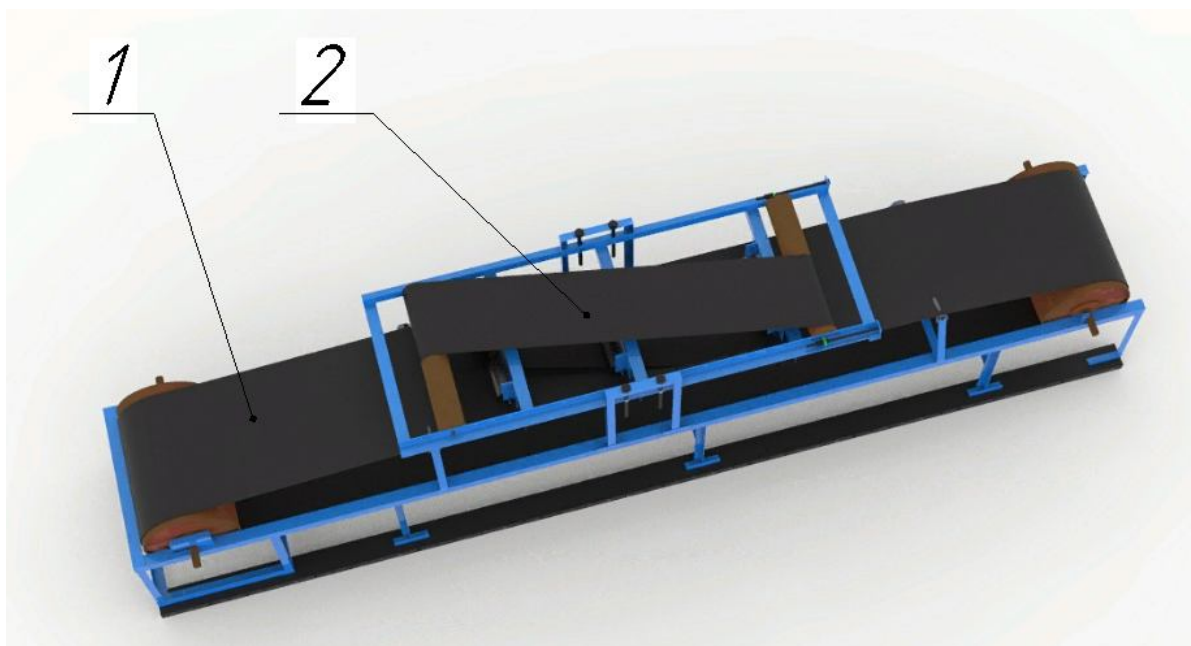


Рис. 6. Исходное взаимное расположение контуров 1 и 2 при боковом двустороннем смещении грузонесущей ленты относительно тяговой

Последовательность выполнения указанных исследований можно свести к общей схеме (рис. 7).

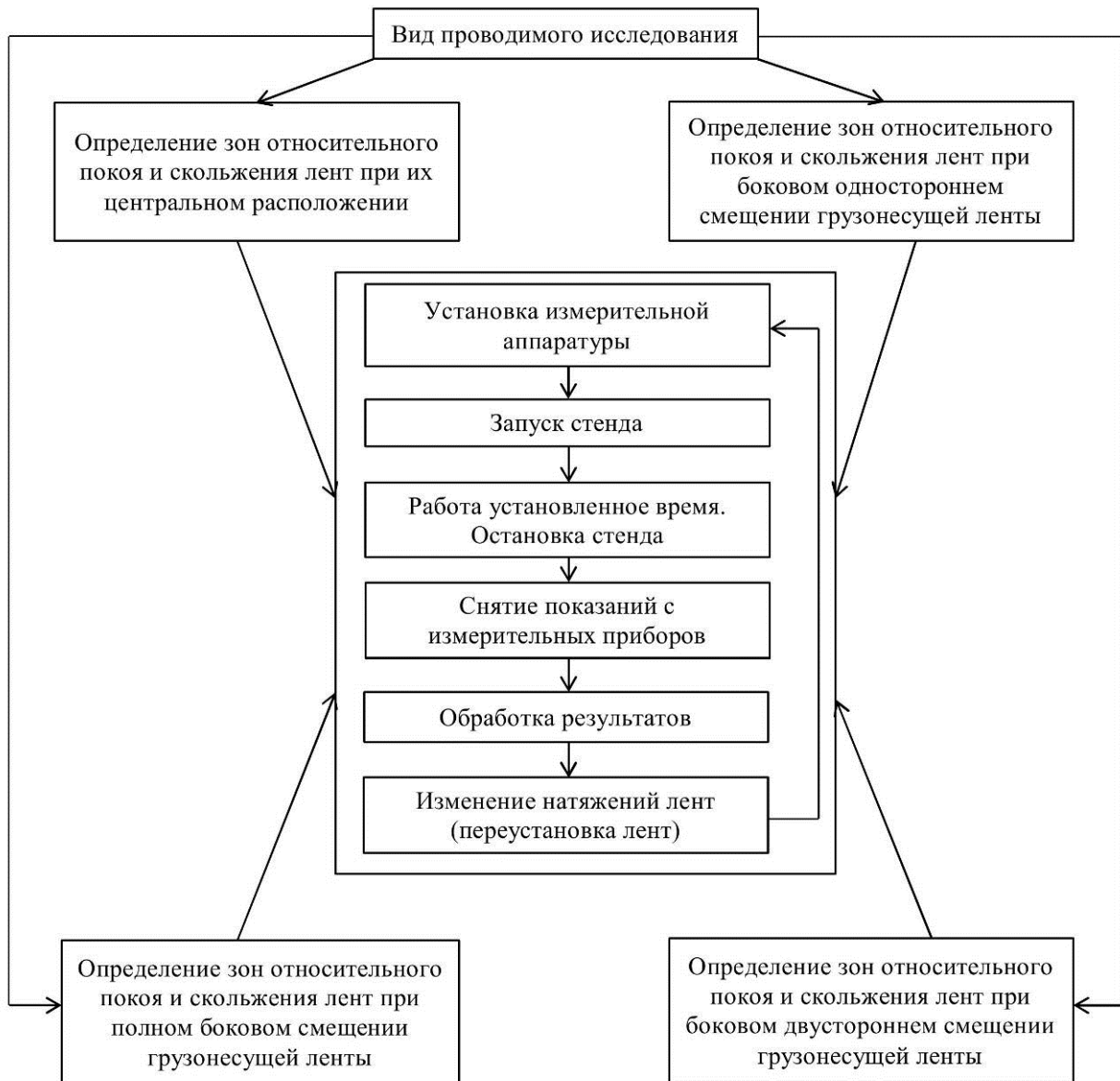


Рис. 7. Общая схема проведения экспериментальных исследований

Проведение описанных исследований позволит произвести уточнение математических моделей взаимодействия грузонесущей и тяговой лент на участках промежуточных ленточных приводов и, соответственно, методик тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров, а также обосновать рациональные конструктивные параметры промежуточных ленточных приводов в целях нейтрализации негативных эффектов, образующихся в зависимости от различных условий взаимодействия грузонесущей и тяговой лент.

#### Список литературы

1. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко [и др.]. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 543 с.
2. Тарасов, Ю.Д. Промежуточные приводы ленточных конвейеров / Ю.Д. Тарасов, Д.А. Юнгмейстер, В.А. Авдеев. – М.: Недра, 1996. – 157с.

3. Дьячков, В.К. Результаты исследования линейных фрикционных приводов многоприводного ленточного конвейера / В.К. Дьячков // Машины непрерывного транспорта: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПТМАШ, 1971. – Вып. 2. – №11. – С. 33-51.
4. Барабанов, В.Б. Результаты второго этапа эксплуатационных испытаний промышленного образца многоприводного ленточного конвейера / В.Б. Барабанов // Машины непрерывного транспорта: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПТМАШ, 1971. – Вып. 2. – №11. – С. 52-58.
5. Дьячков, В.К. Многоприводные ленточные конвейеры большой протяженности: сб. научных трудов / В.К. Дьячков. – М.: ВНИИПТМАШ, 1974. – Вып. 2. – №11. – 33 с.
6. Реутов, А.А. Анализ совместной работы концевой и промежуточной приводов ленточного конвейера / А.А. Реутов, К.А. Гончаров // Вестник БГТУ. - 2010. – №2. – С. 42–45.
7. Гончаров, К.А. Определение зон относительного скольжения и покоя грузонесущей и тяговой лент при использовании промежуточных приводов ленточных конвейеров / К.А. Гончаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2015. – №2. – С.31–37.
8. Гончаров, К.А. Обоснование методики выбора рациональных вариантов систем приводов ленточных конвейеров на основе метода анализа иерархий / К.А. Гончаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2016. – №2. – С. 66-70.
9. Колояров, В.К. Результаты и перспективы применения промежуточных приводов на шахтных ленточных конвейерах / В.К. Колояров, В.А. Куцанкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2009. – №12. – Т.10. – С. 38–43.
10. Alspaugh, M.A. The Evolution of Intermediate Driven Belt Conveyor Technology / M.A. Alspaugh // Bulk solids handling. – 2003. - Vol. 23. – No. 3. – P. 77–84.
11. Труфанова, И.С. Обоснование рациональных параметров промежуточных линейных приводов с прижимными элементами для ленточных конвейеров: дис... канд. техн. наук: 05.05.06. – Санкт-Петербург, 2014. – 151 с.
12. Дмитриева, В.В. Поддержание величины тягового фактора ленточного конвейера с двухдвигательным приводом/ В.В. Дмитриева, Куанг Пьей, Вин Зо // Современные наукоемкие технологии. - 2015. – №10. – С. 20–28.

### **Об авторах**

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

Гришин Александр Валентинович – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *ptm\_bstu@mail.ru*.

## **EXPERIMENTAL TEST BENCH FOR THE STUDY OF IMPACT OF INTERMEDIATE BELT DRIVE CONSTRUCTION OF BELT CONVEYOR ON ITS OPERATION**

Goncharov K.A., Grishin A.V.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

This article describes the structure of experimental test bench for the study of impact of intermediate belt drive construction of belt conveyor on its operation. There is a justification for test bench designing and conducting a variety of tests using this test bench.

**Key words:** *experimental test bench, intermediate belt drive, belt conveyor.*

**DOI:** <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-01-52-59>

### References

1. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy* [Actual theory of belt conveyors in mining]. Moscow, MSMU publishing company, 2005. 543 p.
2. Tarasov Ju.D., Jungmeister D.A., Avdeev V.A. *Promezhutochnye privody lentochnykh konveyerov* [Intermediate drives of belt conveyors]. Moscow, Nedra, 1996. 157 p.
3. Diachkov V.K. Rezultaty issledovaniy lineinykh friktsionnykh privodov mnogoprivodnogo lentochnogo konveyera. *Sbornik nauchnykh trudov "Mashiny nepreryvnogo transporta"*. Moscow, VNIPTMASH, 1971, Vol.2, No.11, pp. 33-51.
4. Barabanov V.B. Rezultaty vtorogo etapa expluatacionnykh ispytaniy promyshlennogo obrazca mnogoprivodnogo lentochnogo konveyera. *Sbornik nauchnykh trudov "Mashiny nepreryvnogo transporta"*. Moscow, VNIPTMASH, 1971, Vol.2, No.11, pp. 52–58.
5. Diachkov V.K. Mnogoprivodnye lentochnye konveyery bolshoy protyazhennosti. *Sbornik nauchnykh trudov*. Moscow, VNIPTMASH, 1974, Vol.2, No.11. 33 p.
6. Reutov A.A., Goncharov K.A. Analysis of mutual work of belt conveyer's head and intermediate drives. *Vestnik BGTU*, 2010, No.2, pp. 42–45.
7. Goncharov K.A. Determination of relative immobile and sliding areas between carrying and tractive belts in using of belt conveyer intermediate drives. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 66-70.
8. Goncharov K.A. Substantiation of selection method of preferred alternative of belt conveyer drive systems on the basis of the analytic hierarchy process. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 31-37.
9. Koloyarov V.K., Kucankin V.A. Results and perspectives of using the booster drive on mining belt conveyors. *Mining informational and analytical bulletin*, 2009, Vol.10, No.12, pp. 38-43.
10. Alspaugh M.A. The Evolution of Intermediate Driven Belt Conveyer Technology. *Bulk solids handling*, 2003, Vol. 23, No.3, pp. 77–84.
11. Trufanova I.S. Justification of rational parameters of intermediate line drives with pressure elements for belt conveyors. Cand. Diss. (Engineering). St. Petersburg, 2014.
12. Dmitrieva V.V., Kaung Pyae Aung, Win Zaw Htay. Maintaing traction factor value of belt conveyer with two-engine drive. *Technical sciences*, 2015, No.10, pp. 20-28.

### Authors' information

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, associate Professor, head of the Department "Handling machinery and equipment" at BSTU, Bryansk, Russia, [ptm\\_bstu@mail.ru](mailto:ptm_bstu@mail.ru).

Alexander V. Grishin – postgraduate student of the Department "Handling machinery and equipment" at BSTU, Bryansk, Russia, [ptm\\_bstu@mail.ru](mailto:ptm_bstu@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017





УДК 621.86

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОМПОНОВОЧНАЯ СХЕМА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ КРАНА МОСТОВОГО ТИПА

Гончаров К.А., Денисов И.А.

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

Предложена универсальная компоновочная схема металлической конструкции грузовой тележки крана мостового типа. Проведён численный анализ предложенной схемы металлоконструкции на примере грузовой тележки мостового крана грузоподъемностью 20 т с использованием метода конечных элементов.

**Ключевые слова:** мостовой кран, грузовая тележка, универсальная схема компоновки, метод конечных элементов.

**DOI:** <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-01-60-66>

Металлоконструкция грузовой тележки крана мостового типа представляет собой сложную пространственную статически неопределимую раму, воспринимающую нагрузки, действующие со стороны механизмов подъёма и передвижения, перемещаемого груза, ходового пути и тупиковых упоров. Разнообразие прикладываемых к тележке сил и схем их воздействия определяет сложный режим нагружения её металлоконструкции [6].

В работе [5] был проведен анализ конструкций и методов проектирования существующих опорных тележек, по результатам которого были сделаны следующие общие выводы:

1. Регламентированные на данный момент нормативные методики расчёта рам грузовых тележек не обладают достаточной точностью и не полностью отражают реальные условия нагружения металлоконструкции тележки, что приводит к значительному завышению возникающих в ней напряжений.

2. Не существует научно обоснованных нормативных методов для определения максимально допустимой деформации отдельных элементов и всей рамы в зависимости от конструкции, назначения, условий эксплуатации тележки, характеристик установленных механизмов и схем применяемых полиспадов. При этом в большинстве случаев именно условие жесткости является определяющим при расчёте металлоконструкции грузовой тележки.

3. Отсутствуют чёткие рекомендации по применению того или иного типа профиля в различных элементах рамы в зависимости от конструкции тележки и характера её нагружения внешними силами.

4. Разнообразие металлоконструкций грузовых тележек также затрудняет построение их общей универсальной расчётной модели.

5. Уровень напряжений в несущих элементах большинства рам тележек весьма низок и имеются значительные резервы для уменьшения материалоёмкости без ущерба для несущей способности. При этом из-за несовершенства конструкции в отдельно взятых узлах рамы могут развиваться усталостные трещины.

Совершенствование технических решений крановых тележек непосредственно связано как с развитием методов их расчёта, так и с разработкой новых подходов к их конструированию. В настоящей работе предлагается универсальная компоновочная схема металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа.

Предлагаемая схема (рис. 1, а) включает в себя раму 1, которая опирается на колёсные блоки 2. Механизм подъёма груза 3 устанавливается на раме сверху. Механизм подъёма может выполняться модульным или из совмещенных по функциональному назначению узлов. Верхние блоки полиспада механизма подъёма 4 выносятся сверху на раму тележки или могут размещаться в центральном отсеке Х-образной рамы (рис. 2, б). Мотор-редукторы 5 механизма передвижения крепятся непосредственно к колёсным блокам 2.

Принципиальная новизна предлагаемой универсальной компоновочной схемы заключается в исполнении металлоконструкции рамы (рис. 1, б). Основу рамы составляют главные несущие элементы 1, формирующие её Х-образный профиль. Главные несущие элементы

соединяются друг с другом шарнирно (рис. 2) в центральном узле 4 и дополнительно стягиваются связующими звеньями 2 и 3.

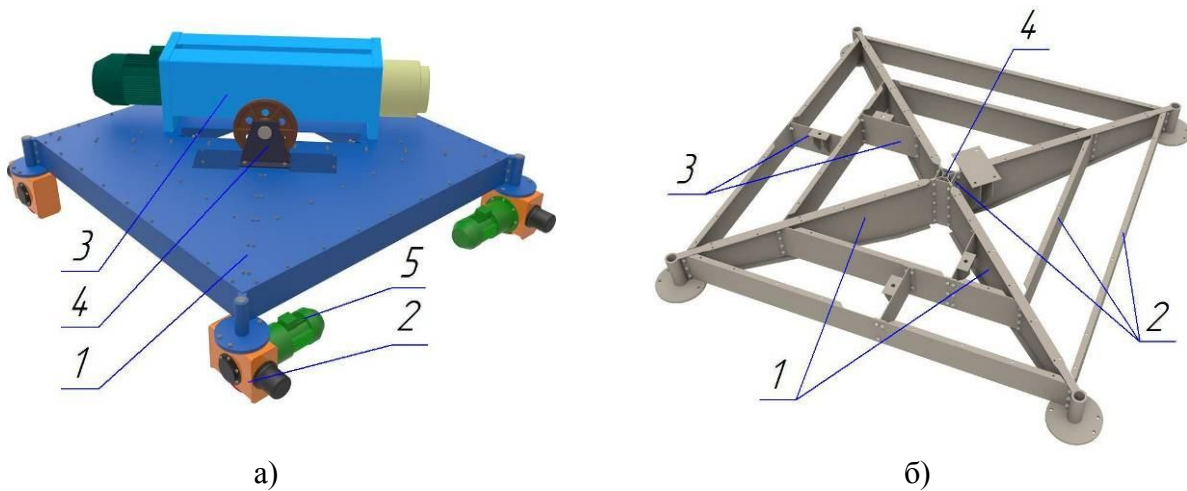


Рис. 1. Конструкция грузовой опорной тележки крана мостового типа:  
а – общий вид тележки; б – металлоконструкция тележки

Наращиванием или уменьшением числа связующих хордовых звеньев 2 формируется конструкция рамы тележки необходимой жесткости в зависимости от количества размещаемых на тележке механизмов подъема и схем их компоновки. Радиальные связующие звенья 3 служат для увеличения местной устойчивости и прочности металлоконструкции тележки в местах крепления механизмов.

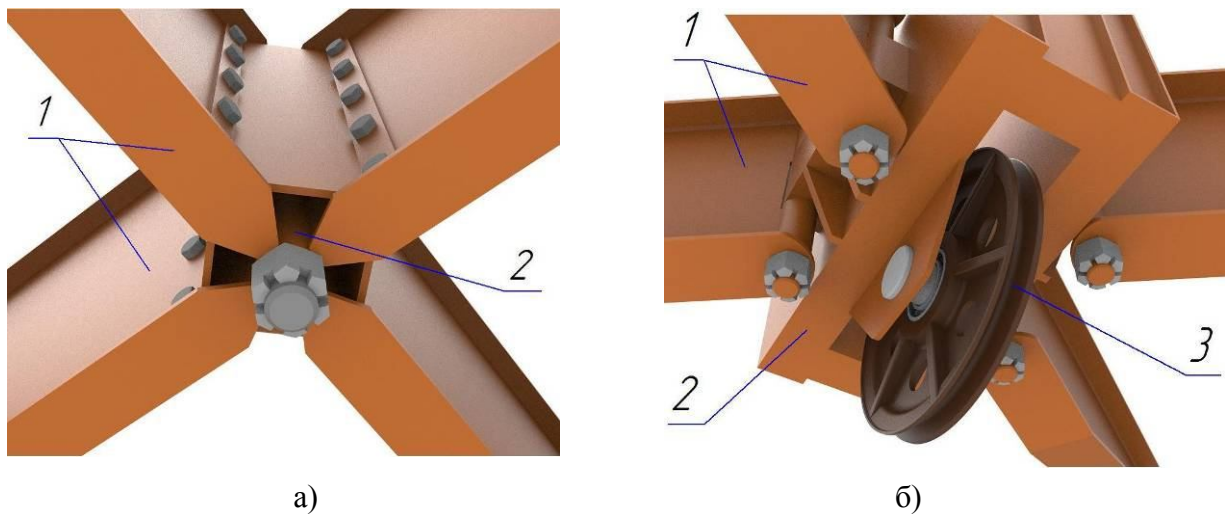


Рис. 2. Схемы центрального узла:  
а – схема без центрального отсека; б – схема с центральным отсеком

Возможны различные варианты исполнения предложенной металлоконструкции тележки, отличающиеся способом соединения элементов рамы тележки и схемой центрального узла (отсека) рамы (рис. 2).

Способ соединения элементов рамы тележки (разъемное или неразъемное соединение) определяется при проектировании в зависимости от требуемых дополнительных эксплуатационных показателей конструкции. В случае существования вероятности реконструкции тележки после определенного периода эксплуатации крана целесообразно использовать разъемные соединения, которые при необходимости позволят дополнительно усилить раму, либо изменить её габаритные параметры – базу и колею (при установке на другой кран). При этом стоит отметить, что применение разъемных соединений дополнительно упрощает

транспортировку и монтаж рамы. В последнем случае главные несущие элементы, соединенные в центральном узле при помощи одного или нескольких шарниров (рис. 2), выставляются на заданные параметры колеи и базы тележки, а затем стягиваются несколькими уровнями хордовых связующих звеньев.

Предлагаемая X-образная конструкция рамы тележки позволяет реализовывать следующие схемы расположения механизмов подъема:

- 1) ось барабана механизма подъема 1 расположена перпендикулярно оси главного несущего элемента 2 (рис. 3, а);
- 2) ось барабана механизма подъема параллельна базе или колее тележки (рис. 3, б).

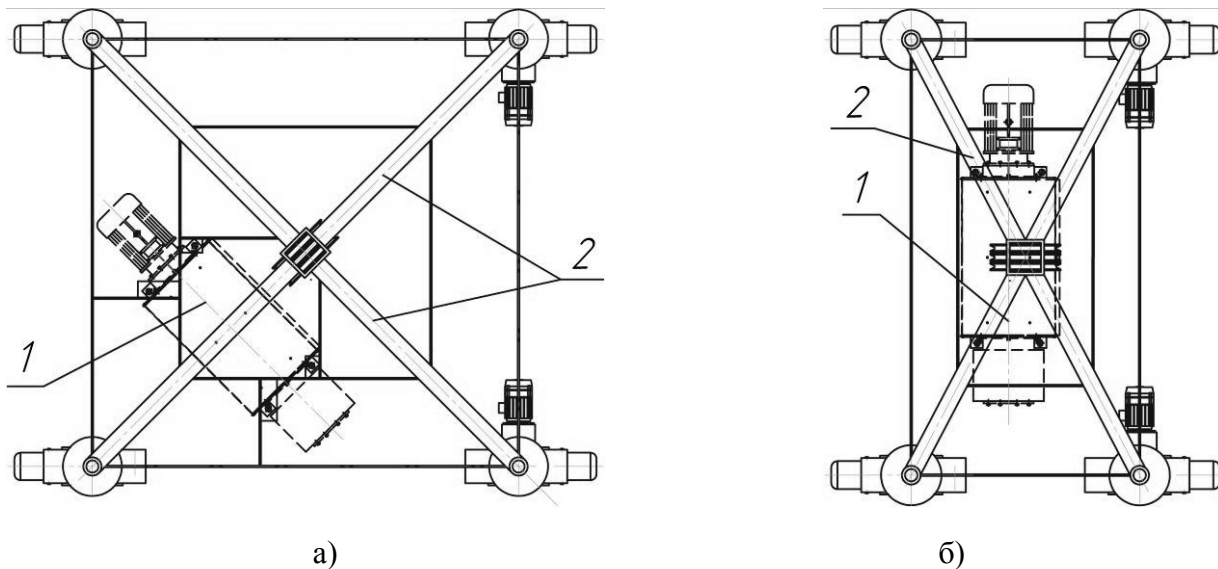


Рис. 3. Варианты расположения механизма подъема:

- а – ось барабана перпендикулярна оси главного несущего элемента;
- б – ось барабана образует с осями главных несущих элементов некий угол

Для общего анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкции тележки, а также предварительного обоснования её прочностных и жесткостных характеристик был произведен расчёт рамы тележки (рис. 1, б) методом конечных элементов с помощью программного пакета ANSYS.

При проведении расчёта использовалась модель с жёсткими неразъёмными соединениями отдельных частей (сварная металлоконструкция). Главные несущие элементы выполнены в виде двутавровых балок переменного сечения, а связующие звенья – в виде двусторонних Г-образных пластин, полки которых служат для опоры и закрепления механизма подъема и другого оборудования. Толщина стенки главных несущих элементов рамы 8 мм, толщина полок, а так же пластин связующих элементов 5 мм, толщина настила тележки 4 мм. Размер колеи тележки совпадает с размером базы и равен 2200 мм.

Материал конструкции задан в виде линейно упругой изотропной модели с характеристиками, свойственными для углеродистых качественных и низколегированных конструкционных сталей.

При генерации сетки была использована возможность моделирования контактных взаимодействий детали. Такой подход позволяет обойти условие точного совпадения всех узлов сетки, что значительно упрощает расчёт конструкций со сложной геометрией, исключая трудоёмкий процесс сшивки сетки в месте контакта различных поверхностей [1]. Размер элементов сетки варьируется в зависимости от узла конструкции и уменьшается в местах сопряжения несущих элементов для уточнения распределения нагрузок и напряжений. Общий вид конечно-элементной сетки показан на рис. 4.

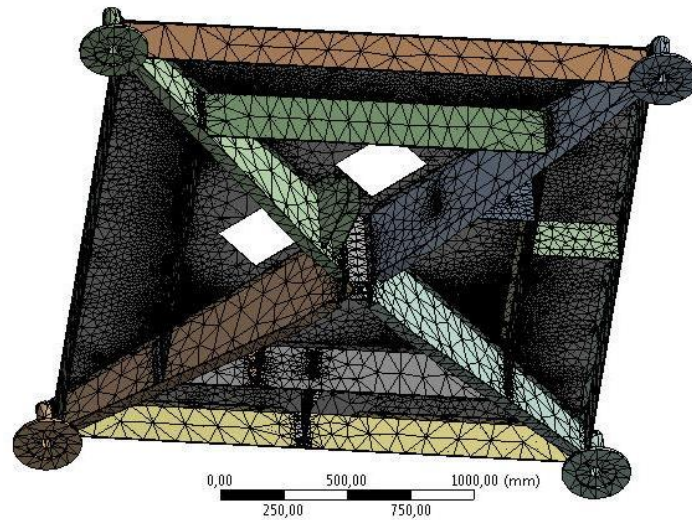


Рис. 4. Общий вид конечно-элементной сетки

По аналогии с металлоконструкцией мостового крана в процессе ограничения степеней свободы рассматриваемой модели требовалось избежать искусственного завышения жёсткости рамы. Поэтому при наложении ограничений были учтены рекомендации, изложенные в [2, 3, 7]. Так в точке А (рис. 5) перемещения ограничены вдоль всех координатных осей, в точке В вдоль осей X и Y, в точке С вдоль осей Z и Y, в точке D только вдоль оси Y. Грузоподъёмность крановой тележки составляет 20 тонн, используется сдвоенный полиспагт кратностью 2. Действующие силы приложены в точках F, G, H к поверхностям, соответствующим опорам механизма подъёма и верхним блокам. Значения действующих усилий определены с учётом коэффициентов перегрузки для нагрузок от веса механизма подъёма  $\gamma_{n2} = 1,2$  и веса груза  $\gamma_{n3} = 1,1$ , а так же коэффициента толчков  $k_m = 1,1$  [4]. Кроме того в расчёте учтена нагрузка от собственного веса рамы, главный вектор которой проходит через точку E.

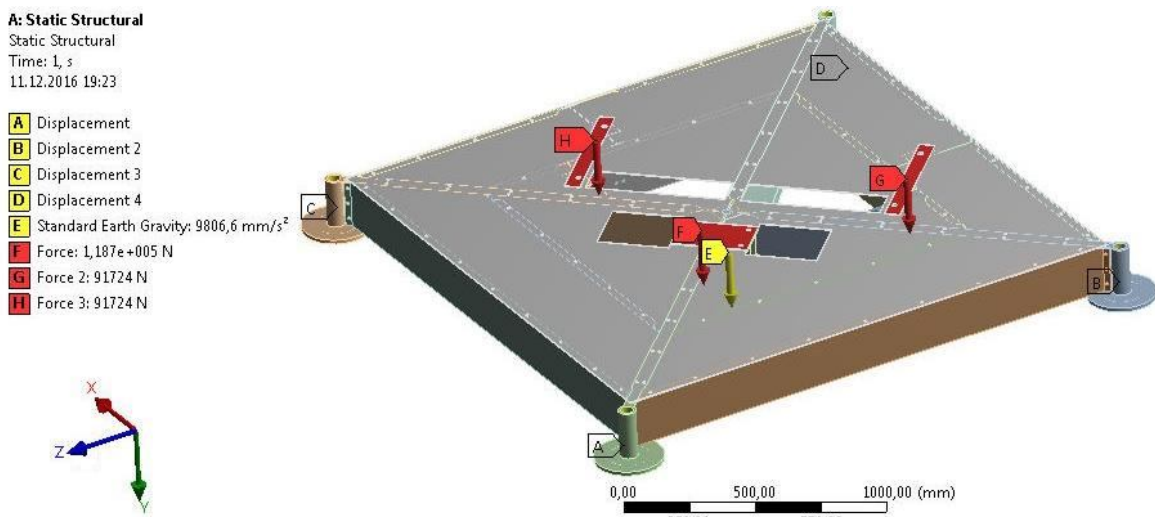


Рис. 5. Расчётная схема металлоконструкции грузовой тележки

Картина распределения напряжений в элементах металлоконструкции грузовой тележки, полученная в результате расчёта, показана на рис. 6. Картина распределения деформаций элементов грузовой тележки от действия приложенной нагрузки – на рис. 7.

Результаты расчётов показывают, что в большинстве сечений элементов грузовой тележки действующие напряжения не превышают 149 МПа. Наиболее нагруженными связую-



щими звеньями является пластины, расположенные под опорами механизма подъёма, где напряжения достигают 202 МПа. На главных несущих элементах присутствуют два участка концентрации значительных местных напряжений. Первый из них из них располагается на нижней полке главного несущего элемента у центрального узла. Напряжения в данной области составляют 242 МПа. Максимальные напряжения в металлоконструкции тележки действуют в месте крепления тележки к колёсным блокам. Они носят локальный характер и достигают 335 МПа в нижней полке главного несущего элемента и 324 МПа в верхней полке.

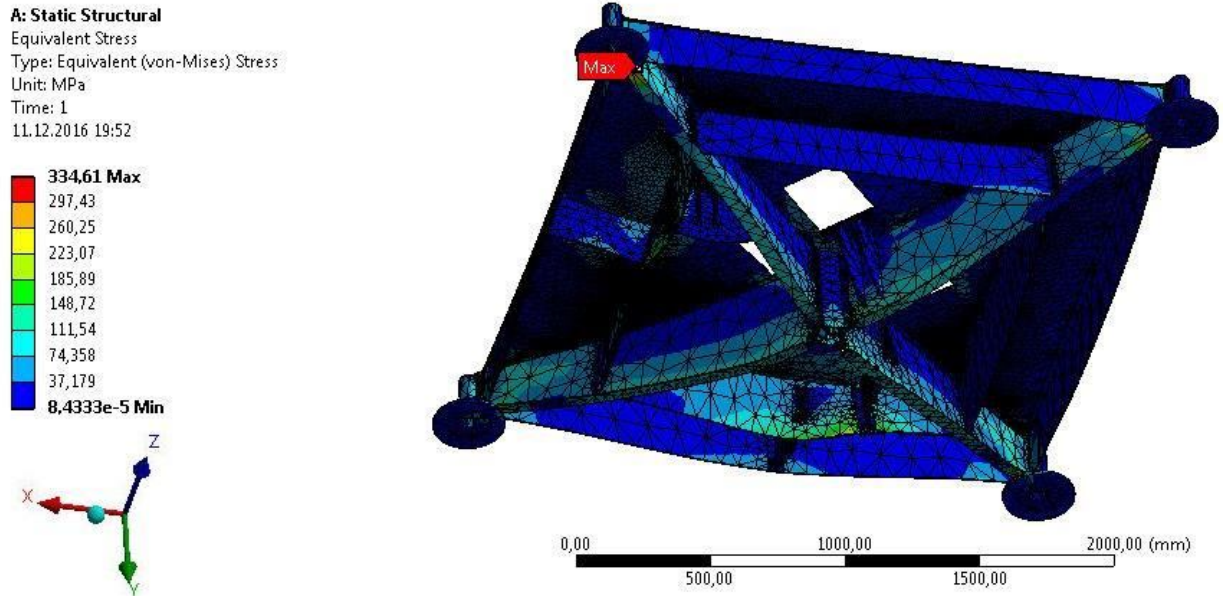


Рис. 6. Картина распределения напряжений в элементах металлоконструкции грузовой тележки

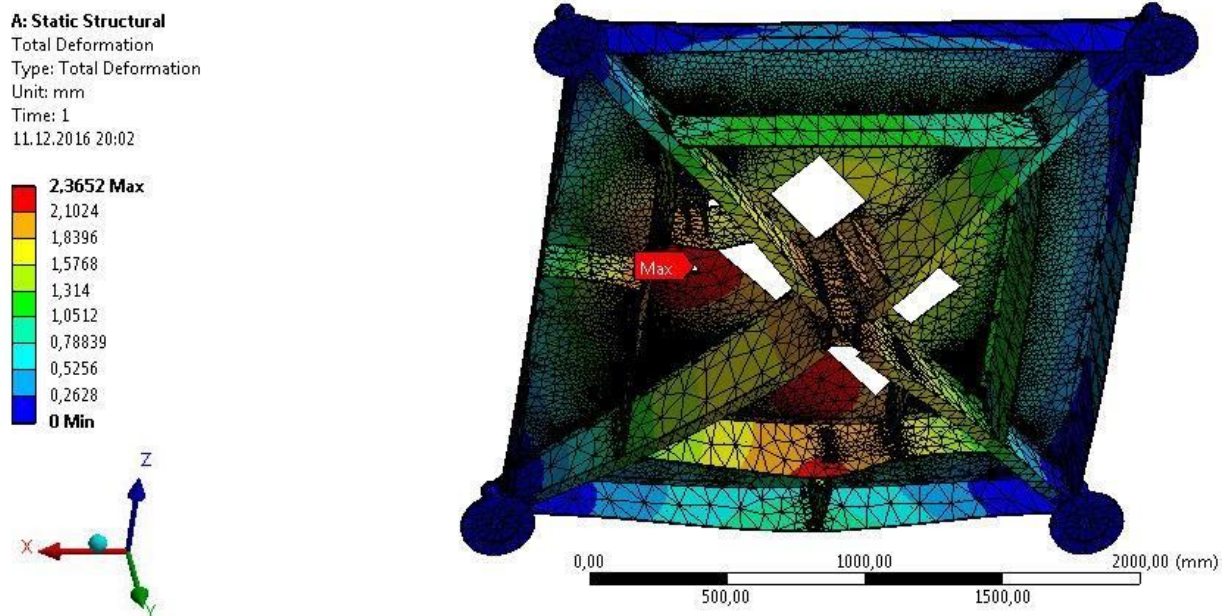


Рис. 7. Картина деформаций элементов грузовой тележки от действия приложенной нагрузки

Максимальные деформации наблюдаются в связующих звеньях и настиле в месте установки механизма подъёма, не превышая значения 2,4 мм.

Проведенный общий анализ напряжённо-деформированного состояния металлоконструкции позволяет сделать следующие выводы:

1. Прочность обеспечена в большинстве сечений элементов металлоконструкции тележки. Максимальные напряжения носят местный характер и снижаются конструктивной доработкой соответствующих узлов.

2. При разработке тележек подобной конструкции следует избегать проектных решений, которые могут привести к возникновению крутящих моментов в элементах рамы.

3. Жесткость металлоконструкции тележки обеспечивается.

При этом стоит отметить ряд следующих обстоятельств:

1. Предложенная конструкция тележки имеет улучшенные массовые характеристики, по сравнению с тележками балочной конструкции. Проведенный анализ показал, что описанная в данной работе металлоконструкция тележки весит на 900 кг меньше своего аналога схожей грузоподъемности производства Харьковского завода ПТО им. Ленина, обладающего следующими характеристиками: грузоподъемность 20 тонн, режим работы 4М, масса сварных конструкций тележки 2170 кг.

2. Представленная схема тележки обладает универсальностью применительно к мостовым кранам и может быть оборудована механизмами любого типа без существенного изменения конструкции, что создает предпосылки для разработки ряда типовых металлических конструкций опорных тележек мостовых кранов общего назначения.

### **Список литературы**

1. Бруйка, В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адвянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

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

3. Вершинский, А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов / А.В. Вершинский, И.А. Лагереv, А.Н. Шубин, А.В. Лагереv. – Брянск: РИО БГУ, 2015. – 210 с.

4. Гончаров, К.А. Метод предельных состояний при проектировании металлоконструкций подъемно-транспортных машин / К.А. Гончаров. – Брянск: БГТУ, 2015. – 91 с.

5. Денисов И.А. Конструкции и методы проектирования опорных грузовых тележек кранов мостового типа / И.А. Денисов, Д.А. Простаков // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы всерос. науч.-практ. конф. / под ред. К.А. Гончарова. – Брянск: БГТУ, 2016. – 60 с.

6. Лагереv, И.А. Анализ динамической нагруженности мостового крана общего назначения / И.А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - №1. – С. 49-54.

7. Титов, Н.А. Нелинейные конечноэлементные расчеты в задачах прочности подъемно-транспортных машин / Н.А. Титов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2012. - №2. – С. 51-58.

### **Об авторах**

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

Денисов Илья Александрович – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *ilia.denisow@yandex.ru*.

## MULTIPURPOSE LAYOUT DRAWING OF METALWARE OF BRIDGE CRANE LOAD TROLLEY

Goncharov K.A., Denisov I.A.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

Multipurpose layout drawing of metalware of bridge crane load trolley is proposed. The numerical analysis of proposed layout drawing is conducted using the example of bridge crane load trolley with capacity of 20 t. This analysis is carried out using the finite element method.

**Keywords:** bridge crane, load trolley, multipurpose layout drawing, finite element method.

**DOI:** <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-01-60-66>

### References

1. Bruyaka A.V., Fokin V.G., Soldusova E.A., Glazunova N.A., Advyanov I.E. *Inzhenernyyu analiz v ANSYS Workbench* [Engineering analysis in ANSYS Workbench]. Samara, Samarskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiy Universitet, 2010. 271 p.
2. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyu analiz metallicheskih konstruksiy podyemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.
3. Vershinskii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruksiy 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.
4. Goncharov K.A. *Metod predelnykh sostiyaniy pri proektirovanii metallicheskih konstruksiy podyemno-transportnykh mashin* [The method of limiting states in the design of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiy Universitet, 2015. 91 p.
5. Denisov I.A., Prostavok D.A. Constructions and design methods of support trolleys of bridge type cranes [Konstruksii i metody proektirovaniya opornykh gruzovykh telezhek kranov mostovogo tipa] *Sbornik materialov vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnoe razvitie podyemno-transportnoy tekhniki*. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiy Universitet, 2016, pp. 36-43.
6. Lagerev I.A. Overhead crane dynamics simulation, *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 49-54.
7. Titov N.A. Nonlinear finite element calculations in problems of strength of lifting-transport machines, *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 51-58.

### Authors' information

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, associate Professor, head of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, [ptm\\_bstu@mail.ru](mailto:ptm_bstu@mail.ru).

Iliya A. Denisov – postgraduate student of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, [ilia.denisow@yandex.ru](mailto:ilia.denisow@yandex.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 621.867

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ НА ЕГО ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Толкачев Е.Н.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

Проанализировано влияние ряда конструктивных и режимных параметров конвейера на отдельные компоненты растягивающих напряжений в ленте конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Выполнен анализ влияния ряда конструктивных и режимных параметров на основные технические характеристики конвейера с подвесной лентой. Сформулированы рекомендации.

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

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-67-81

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

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом – современная установка для непрерывного транспортирования насыпных грузов, конструкция и особенности работы которой приведены в работах [1-5] (рис.1).

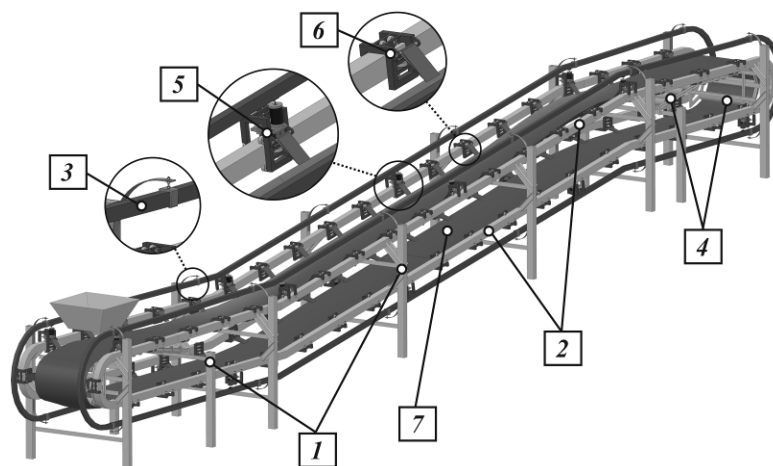


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:  
1 – станина; 2 – направляющие качения; 3 – токоведущие троллеи (шины); 4 – стационарные поддерживающие роликовые опоры; 5 – приводные подвески;  
6 – неприводные (холостые) подвески; 7 – конвейерная лента

Благодаря оригинальной кинематической схеме конвейеры с подвесной лентой и распределенным приводом обладают определенными преимуществами, к которым помимо известных достоинств классических конвейеров с подвесной лентой относятся:

- многократное сокращение напряжений в продольном направлении ленты, проявляющееся в повышении ее долговечности, либо возможности использования менее прочной и дорогостоящей конвейерной ленты;
- возможность резервирования тяговой способности, повышения долговечности и вероятности безотказной работы конвейерной установки;
- достаточная адаптивность к возможным изменениям условий эксплуатации, например, связанным с изменением длины конвейера или его производительности;
- сокращение металлоемкости концевых участков ввиду отсутствия приводной и натяжной станций.



Приведенные преимущества подтверждают целесообразность совершенствования и проработки конструкции, а также развития подходов и методов расчета конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом.

В ранних работах приводится описание разработанных математических моделей, служащих для моделирования динамических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом и исследования степени и направленности влияния конструктивных и режимных параметров на его главные технические характеристики [6-10]. Уточненные расчеты конвейера могут быть выполнены с использованием метода конечных элементов, использование которого в расчетах подъемно-транспортных машин (в том числе машин непрерывного транспорта) подробно рассмотрено в [11-15]. В данной работе оценим характер распределения отдельных компонент растягивающих напряжений в ленте и их изменение в зависимости от ряда конструктивных и режимных параметров, а также выполним анализ влияния ряда конструктивных и режимных параметров на основные технические характеристики конвейера с подвесной лентой.

Одной из отличительных конструктивных особенностей конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом является то, что грузонесущая лента удерживается по бортам подвесками. Поэтому помимо стандартных растягивающих напряжений, действующих в продольном направлении, в поперечном направлении конвейерной ленты возникают растягивающие напряжения от сил тяжести транспортируемого материала и грузонесущего полотна, а также от изгиба [16].

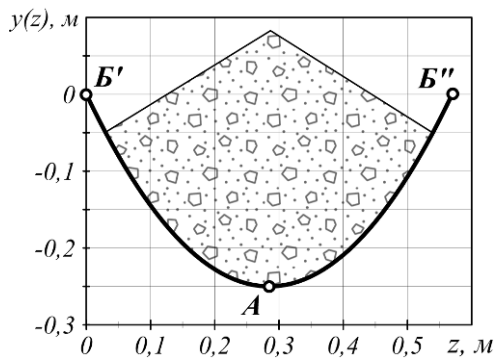


Рис. 2. Поперечное сечение ленты конвейера

В точке *A* поперечного сечения ленты (рис. 2), располагающейся на дне, напряжения от растяжения, возникающие от погонной нагрузки со стороны груза и ленты, равны нулю, а действующие напряжения формируются только за счет изгиба грузонесущего полотна. В точках *B'* или *B''*, расположенных по краю борта ленты растягивающие напряжения от погонной нагрузки со стороны ленты и груза складываются с напряжениями от изгиба. Методика расчета компонент напряжений, действующих в ленте конвейера с подвесной лентой приведена в работе [16, 17].

Схема конфигурации трассы эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом изображена на рис. 3, а технические характеристики приведены в табл. 1 [16, 18, 19].

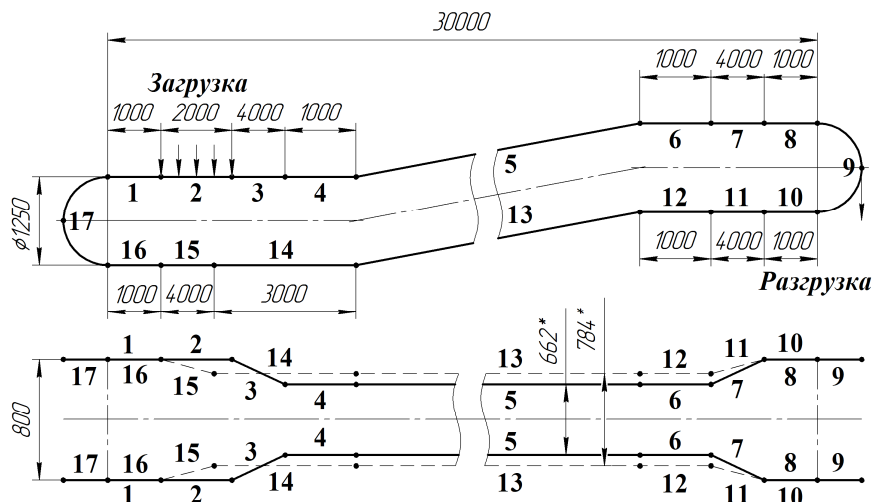


Рис. 3. Схема трассы эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:  
 1-8 – грузовая ветвь; 10-16 – холостая ветвь; 9, 17 – концевые поворотные участки;  
 2 – загрузочный пункт; 3, 11 – желобообразующие участки; 7, 15 – выполаживающие участки;  
 5, 13 – наклонные участки

Таблица 1

Технические характеристики эталонного конвейера

Техническая характеристика	Обозначение	Единица измер.	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	$v_{зр}$	м/с	1,0
Общее количество подвесок	$n$	шт.	80
Количество приводных подвесок (дискретных участков)	$n_n$	шт.	16
Количество подвесок в дискретном участке	$n_{д\text{у}}$	шт.	5
Шаг размещения подвесок	$h_n$	м	0,8
<i>Характеристики подвесок</i>			
Сила прижатия ведущего ролика приводной подвески	$F_{пр}$	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	$m_{мк\text{пс}}$	кг	1,0
Масса приводного ролика	$m_{пр}$	кг	2,0
Масса мотор-редуктора	$m_{мр}$	кг	4,2
Масса металлоконструкции несущей секции	$m_{мк\text{нс}}$	кг	7
Масса неприводного ролика	$m_{нр}$	кг	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески	$m_{мкнп}$	кг	5,0
Наружный радиус приводного ролика	$r_{пр}$	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)	$f_{пр}$	м	0,0077
Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	$\mu_{пр}$	-	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	$k_{\Pi}$	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
Толщина тягового каркаса ленты	$y_{\max}$	мм	3

Техническая характеристика	Обозначение	Ед. изм.	Значение
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	$\zeta$	-	0,05

Проведя расчет динамических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом по ранее описанным математическим моделям [2, 6, 8-10] были получены результаты расчета растягивающих напряжений в ключевых точках поперечного сечения конвейерной ленты (рис. 4).

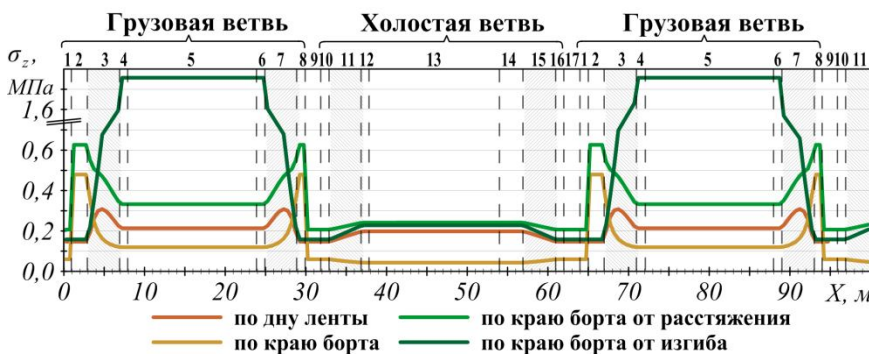


Рис. 4. Графики изменения растягивающих напряжений в точках поперечного сечения ленты при движении вдоль трассы конвейера

качения, а лента полностью выположена. Несколько выше значения напряжений (0,23 МПа) в области холостой ветви 12-14, что обусловлено имеющейся незначительной желобчатостью ленты на данных участках.

Компонента растягивающих напряжений от изгиба по краю борта ленты имеет схожие значения и характер распределения практически на всех участках трассы с выположенной формой ленты 1, 2, 8-17. Однако на грузовой ветви, где лента имеет желобчатое поперечное сечение, значения напряжений от изгиба значительно ниже (0,21 МПа). Это объясняется тем, что при выположенной форме ленты кривизна ее профиля практически одинаковая во всех точках, а в случае желобчатого поперечного сечения кривизна на дне ленты значительно превосходит величину кривизны по борту.

Растягивающие напряжения от действия погонной нагрузки со стороны транспортируемого материала и собственной массы ленты имеют абсолютно противоположный характер распределения значений. Так на выположенных участках грузовой ветви 2, 8 напряжения максимальны (0,48 МПа). А в области трассы с желобчатой формой ленты 4-6 они значительно ниже (0,12 МПа). Аналогичный характер распределения напряжений и на холостой ветви 9-17, однако, их величина существенно меньше (0,04 МПа), что обусловлено отсутствием груза на ленте.

При изменении величины погонной нагрузки от груза видно, что растягивающие напряжения по дну ленты, а также по краю борта остаются неизменными относительно эталонных значений (рис. 5). При этом значительно изменяются только растягивающие напряжения в области грузовой ветви 2-8.

Влияние модуля упругости конвейерной ленты в результате изменения его величины отображено на рис. 6. По графикам изменения растягивающих напряжений по дну ленты (рис. 6, а) видно, что увеличение модуля упругости сопровождается повышением напряже-

Напряжения, возникающие по дну ленты конвейера при ее изгибе, имеют максимальные значения (1,76 МПа) в области грузовой ветви на участке, которым лента имеет наибольшую желобчатость 4-6. Минимальные напряжения (0,16 МПа) действуют в ленте на загрузочно-разгрузочных участках 2, 9, где наибольшее расстояние между направляющими

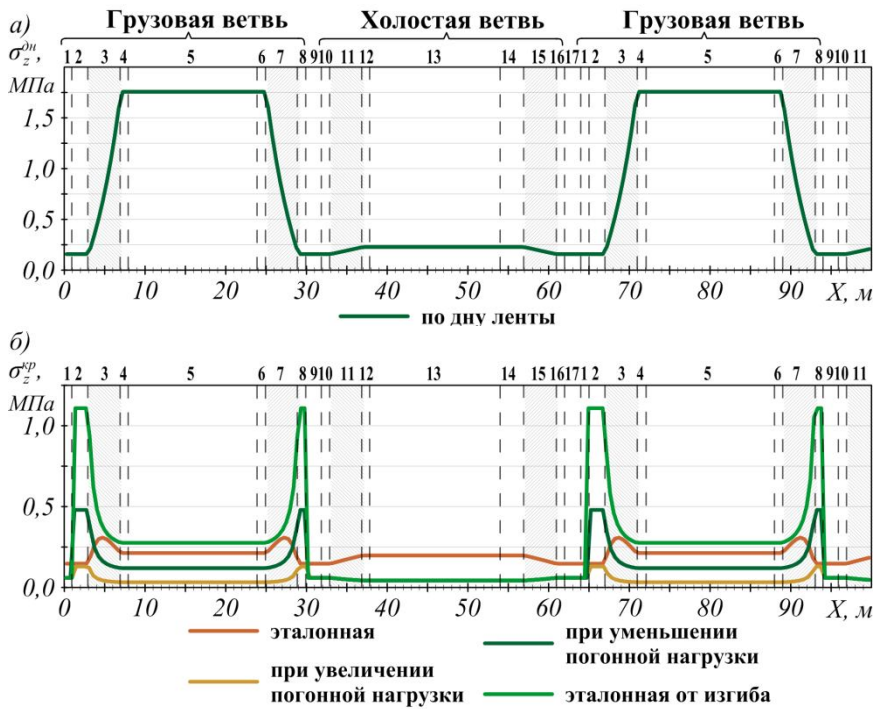


Рис. 5. Графики изменения растягивающих напряжений в точках поперечного сечения ленты при движении вдоль трассы конвейера в зависимости от погонной нагрузки: а – по дну ленты; б – по краю борта

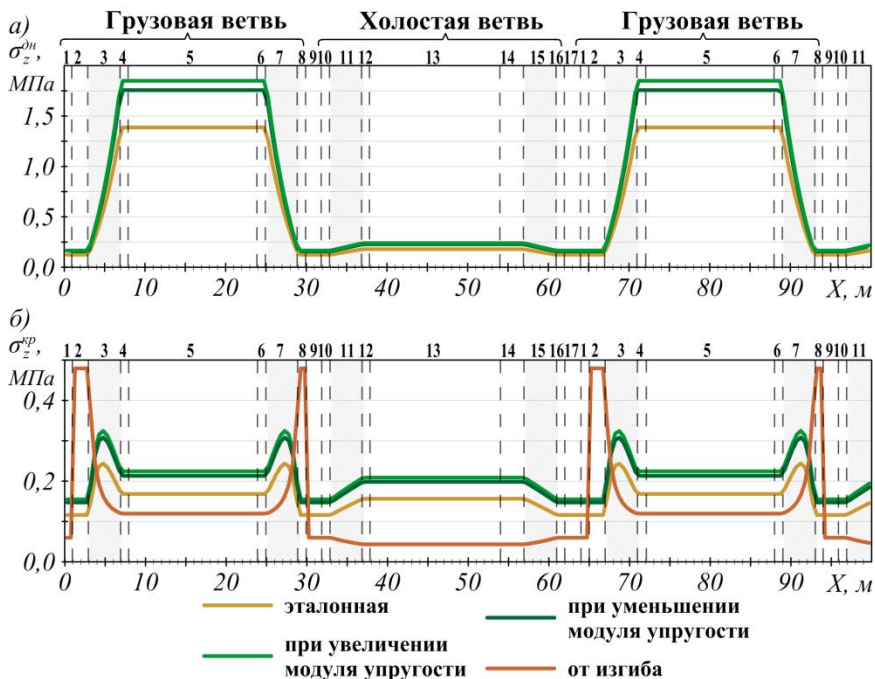


Рис. 6. Графики изменения растягивающих напряжений в точках поперечного сечения ленты при движении вдоль трассы конвейера в зависимости от модуля упругости ленты: а – по дну ленты; б – по краю борта

ний по всей длине трассы конвейера. Причем наибольший прирост отмечен в области грузовой ветви 4-6, где желобчатый профиль ленты имеет большую кривизну.

Схожий характер распределения растягивающих напряжений от изгиба и по краю борта ленты (рис. 6, б), за исключением того, что изменение величины напряжений практически постоянное вдоль трассы, так как кривизна профиля ленты по борту меняется незначительно.

С увеличением или сокращением расстояния между направляющими качениями в большей мере изменяются величины растягивающих напряжений от изгиба (рис. 7 а, б) и менее значительно растягивающие напряжения от погонной нагрузки (рис. 7, в). При большем расстоянии между направляющими качения напряжения от изгиба по дну ленты сокращаются, а по борту увеличиваются.

Растягивающие напряжения по борту ленты от действия погонной нагрузки грузонесущей ленты в зависимости от величины модуля упругости не изменяются.

По полученным результатам изменения напряжений в точках поперечного сечения конвейерной ленты при движении вдоль трассы видно, что максимальная величина напряжений от изгиба по дну ленты значи-

тельно превышает пиковые значения напряжений, возникающих по борту ленты (рис. 4). Однако увеличение расстояния между направляющими качения, а также уменьшение модуля упругости позволяет резко сократить величину растягивающих напряжений от изгиба по дну



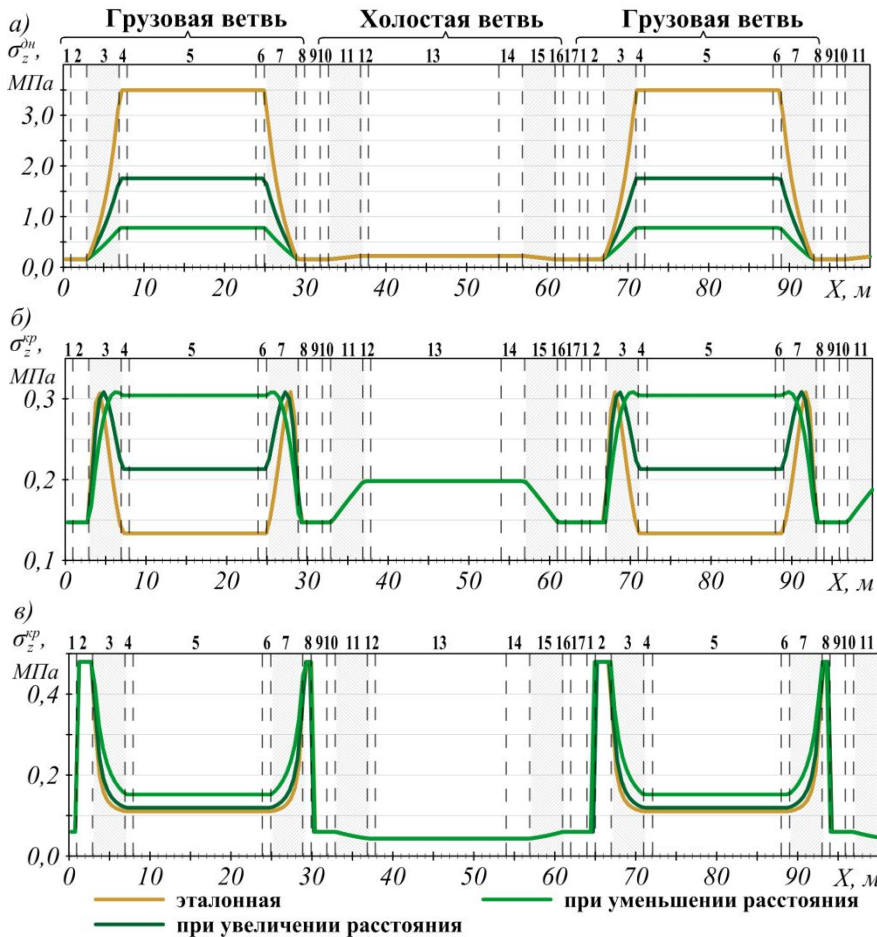


Рис. 7. Графики изменения растягивающих напряжений в точках поперечного сечения ленты при движении вдоль трассы конвейера в зависимости от расстояния между направляющими качения: а – по дну ленты; б – по краю борта от изгиба; в – по краю борта от погонной нагрузки

ала. Для того чтобы сохранить площадь поперечного сечения груза на ленте неизменной пропорционально плотности изменялась расчетная производительность. Значения варьируемых относительно эталонного конвейера параметров приведены в табл. 2.

ленты (рис. 7, а, рис. 6, а). Помимо этого повышение погонной нагрузки способствует значительному приросту растягивающих напряжений по борту ленты (рис. 5, б).

В совокупности отмеченные меры могут быть вполне реализованы в стандартной проектной ситуации. В таком случае картина распределения напряжений меняется на противоположную и максимальные напряжения возникают по краю борта ленты. Поэтому при анализе конструктивных и режимных параметров конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом важно рассчитывать напряжения как по дну ленты, так и по краю.

**Влияние погонной нагрузки** от транспортируемого груза на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом оценивалась посредством варьирования плотности материала.

Таблица 2  
Значения технических характеристик при варьировании объемной плотности

Техническая характеристика	Численное значение		
	эталонное	минимальное	максимальное
Объемная плотность транспортируемого груза, т/м <sup>3</sup>	1,2	0,2	5,0
Производительность расчетная, т/ч	200	33,33	833,33

Для ряда значений плотности транспортируемого материала от 0,2 т/м<sup>3</sup> (опилки древесные, воздушно-сухие) до 5,0 т/м<sup>3</sup> (концентрат железных руд, влажный) было выполнено моделирование динамических характеристик конвейера. По результатам расчетов в зависимости от величины объемной плотности транспортируемого груза построены графики общей мощности и скорости движения ленты (рис. 8 и 9).

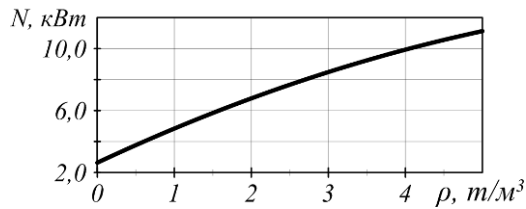


Рис. 7. Зависимость мощности конвейера от плотности транспортируемого груза

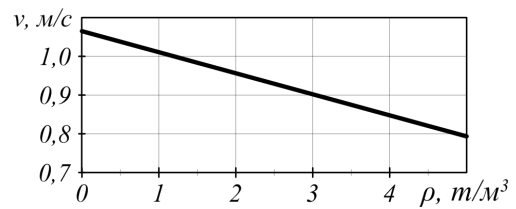


Рис. 8. Зависимость скорости конвейера от плотности транспортируемого груза

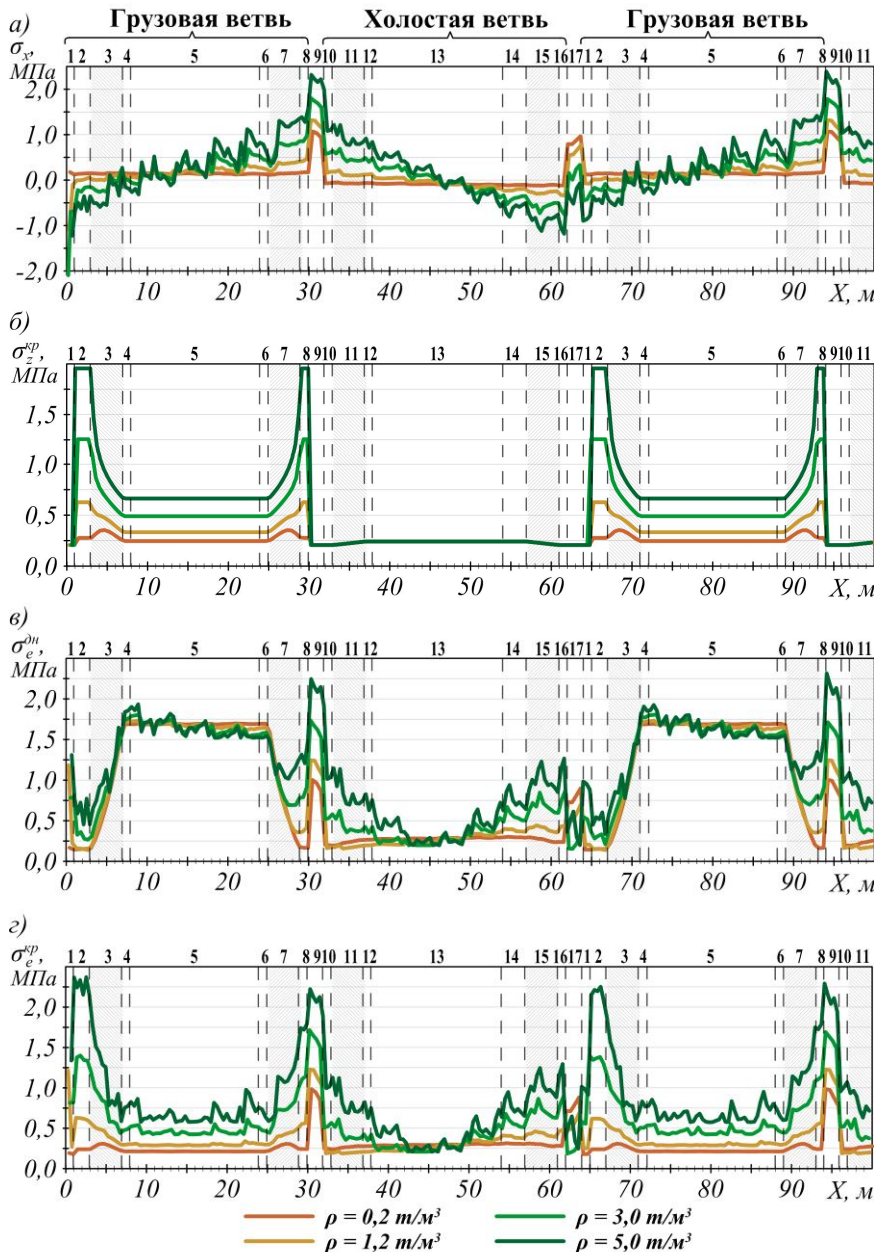


Рис. 9 – Графики изменения напряжений в ленте вдоль трассы конвейера при увеличении объемной плотности транспортируемого груза: а – продольных; б – поперечных по борту; в – эквивалентных по дну; г – эквивалентных по борту

Мощность конвейера практически линейно возрастает с увеличением плотности транспортируемого груза. Так, например, перемещение материала, имеющего в 2,5 раза большую, чем для эталонного варианта, плотность, требует увеличение мощности конвейера на 62%. При этом скорость движения грузонесущего полотна конвейера снижается по линейной зависимости на 10%.

Ниже на рис. 9 приведены графики изменения напряжений в ленте конвейера в зависимости от объемной плотности транспортируемого груза при движении вдоль трассы.

В общем виде напряжения  $\sigma_x$ , возникающие в продольном направлении (рис. 9, а), увеличиваются при движении по грузовой ветви 1-8 и убывают на холостой 10-16, а в области концевых поворотных участков 9, 17 происходит всплеск напряжений на величину порядка 0,85 МПа, связанный с изгибом грузонесущего элемента. С увеличением плотности транспортируемого материала изменяется наклон графиков в областях грузовой 1-8 и холостой 10-16 ветвей, в связи с чем, значительно увеличивается размах напряжений, практически в 3 раза. К тому же резко возрастает амплитуда их колебаний.

К тому же резко возрастает амплитуда их колебаний.

Напряжения, действующие в поперечном направлении по дну ленты  $\sigma_z^{dn}$ , не изменяются и остаются равными эталонным значениям (рис. 4.): 1,76 МПа на грузовой ветви и 0,23 МПа на холостой. Между тем напряжения  $\sigma_z^{kp}$ , действующие по краю борта ленты, увеличиваются на участке грузовой ветви 2-8 (рис. 9, б). Причем наибольший прирост значений с 0,26 МПа до 1,94 МПа достигается в области, где лента движется в выположенном положении 2, 8, в то время как на грузовом участке с желобчатой формой ленты величина напряжений возрастает с 0,23 МПа до 0,66 МПа.

Эквивалентные напряжения по дну ленты  $\sigma_e^{dn}$  (рис. 9, в) принимают наибольшие значения порядка 1,6 МПа на грузовой ветви в области, на которой лента имеет желобчатое поперечное сечение 4-6. Увеличение погонной нагрузки способствует незначительному приросту напряжений с 1,68 до 1,78 МПа вначале этого участка и образованию локального максимума. Абсолютный максимум располагается в области графиков, соответствующих поворотному участку 9 в конце трассы и увеличивается более интенсивно с 0,95 до 2,23 МПа при повышении погонной нагрузки. На холостой ветви 10-16 снижение величины напряжений сменяется последующим их ростом к концу участка 16 с 0,19 по 1,29 МПа.

Эквивалентные напряжения, действующие по борту ленты  $\sigma_e^{kp}$  (рис.9, г) практически не имеют отличий в области холостой ветви 10-16 и концевых поворотных участков 9, 17. Однако характер их распределения абсолютно противоположный на участке с желобчатой формой ленты грузовой ветви 4-6. Наибольшие напряжения возникают по краям грузовой ветви. Так вначале на участке с выположенной формой ленты 2 напряжения возрастают с 0,12 до 2,26 МПа, в то время как на грузовом участке с желобчатым поперечным сечением 5 всего лишь с 0,19 по 0,62 МПа.

**Влияние количества прокладок тягового каркаса ленты.** При выборе количества прокладок учитывались механические характеристики ленты в соответствии с данными, приведенными в работе [20]. Изменяемые параметры относительно эталонного варианта представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения технических характеристик при варьировании числа прокладок ленты

Техническая характеристика	Численное значение		
	эталонное	минимальное	максимальное
Число прокладок ленты, шт.	3	1	4
Толщина тягового каркаса ленты, м	0,003	0,001	0,004
Модуль упругости ленты, МПа	380	270	435
Модуль упругости ленты в поперечном направлении, МПа	190	135	217,5
Коэффициент жесткости, кН/м	570	135	870

При выборе конвейерной ленты с меньшим количеством прокладок тягового каркаса, в соответствии с результатами расчета (рис. 10), усиливается влияние компоненты продольных напряжений от упруго-диссипативных сил, а вклад от растягивающих напряжений при изгибе ленты на концевом поворотном участке снижается. В результате чего, во-первых, увеличивается размах продольных напряжений  $\sigma_x$  в ленте на грузовой 1-8 и холостой ветви 10-16 (рис. 10, а), во-вторых, сокращается величина всплеска напряжений на поворотных участках 9, 17, и, в-третьих, возрастает амплитуда колебаний участков ленты, сопряженных с подвесками.



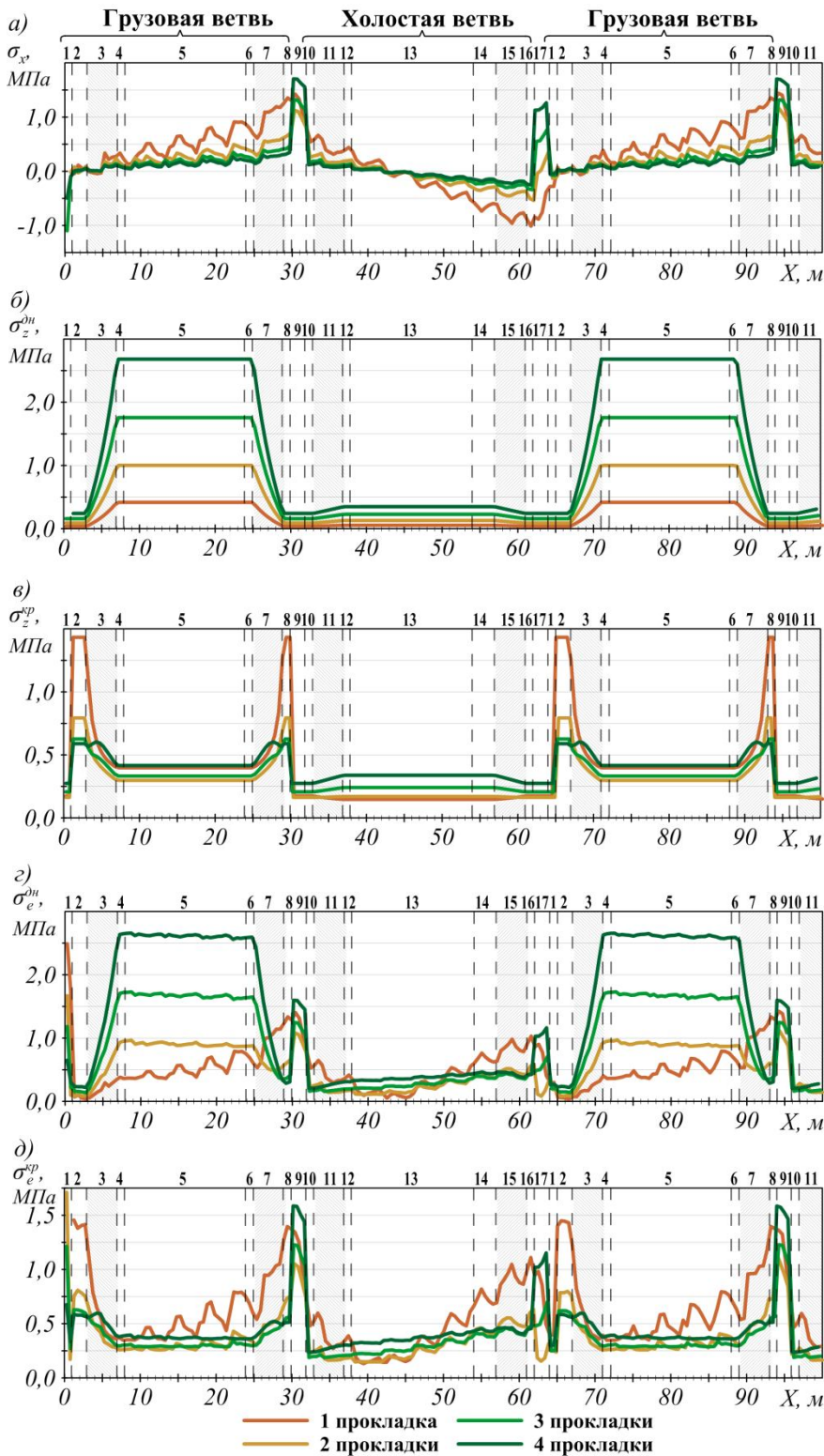


Рис. 10. Графики изменения напряжений в ленте вдоль трассы конвейера при увеличении числа прокладок ленты: а – продольных; б – поперечных по дну; в – поперечных по борту; г – эквивалентных по дну; д – эквивалентных по борту

Кроме того, значительно сокращается величина максимальных поперечных напряжений  $\sigma_z^{\text{дн}}$  (рис. 10, б), возникающих по дну ленты при движении по участкам грузовой ветви, где лента принимает желобчатую форму поперечного сечения 4-6 (с 2,68 до 0,42 МПа). На участках 9-17 холостой ветви происходит небольшое уменьшение напряжений с 0,34 до 0,04 МПа.

Напряжения, возникающие по краю борта ленты  $\sigma_z^{\text{кп}}$  (рис. 10, в), при увеличении количества тяговых прокладок испытывают наибольший прирост значений (от 0,6 до 1,4 МПа (рис. 10, д) в областях грузовой ветви, на которых лента находится в выположенном положении 2, 8. В то время как на холостой ветви напряжения сокращаются с 0,34 до 0,17 МПа.

При уменьшении количества тяговых прокладок в ленте на графиках эквивалентных напряжений (рис. 10, г, д) прослеживается сокращение величины компоненты напряжений  $\sigma_z^{\text{дн}}$  и  $\sigma_z^{\text{кп}}$ , вызванных изгибом ленты, и повышении составляющей от напряжений  $\sigma_x$ , действующих в продольном направлении ленты. Так величины эквивалентных напряжений по дну ленты  $\sigma_e^{\text{дн}}$  (рис. 10, з)

в области грузового участка 4-6 значительно сократились (с 2,64 до 0,38 МПа вначале участка 5) и приняли характер поступательного роста значений на протяжении всей грузовой ветви с максимумом на концевом поворотном участке (1,4 МПа). На холостой ветви 10-16 напря-



жения повысились вблизи поворотного участка не более 1,0 МПа. Эквивалентные напряжения по краю борта ленты  $\sigma_e^{kp}$  (рис. 10, д) увеличиваются по мере перемещения вдоль грузовой и холостой ветвей конвейера. При этом сокращение количества тяговых прокладок отмечается повышением амплитуды колебаний эквивалентных напряжений.

Также по результатам расчетов установлено, что сокращение количества прокладок тягового каркаса ленты приводит к практически линейному незначительному снижению общей мощности конвейера (рис. 11), а также минимальному приросту скорости (рис. 12). Так при выборе однопрокладочной конвейерной ленты потребляемая мощность сокращается менее чем на 4%, а повышение скорости транспортирования происходит не более чем на 0,5%.

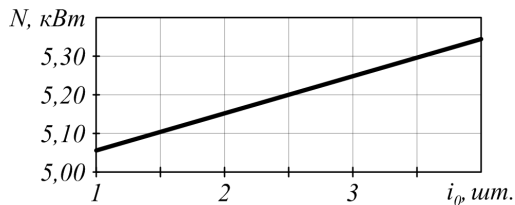


Рис. 11. Зависимость мощности конвейера от числа прокладок ленты



Рис. 12. Зависимость скорости конвейера от числа прокладок ленты

Обобщив полученные результаты, можно сформулировать следующие выводы.

1. В результате выполненного анализа распределения в ленте эталонного конвейера отдельных компонент напряжений установлено, что при наращивании погонной нагрузки от транспортируемого материала, повышении пролета между направляющими качения и сокращении модуля упругости конвейерной ленты происходит повышение растягивающих напряжений по краю борта ленты. Их пиковые значения возникают на участках грузовой ветви с выположенной формой ленты. Напряжения, действующие по дну желобчатого поперечного сечения ленты, остаются неизменными от величины погонной нагрузки, но существенно сокращаются при выполнении двух других отмеченных условий. Максимальные значения таких напряжений образуются на участках грузовой ветви с желобчатой формой ленты. Поэтому важно обеспечивать контроль напряженного состояния грузонесущего полотна проектируемого конвейера и по дну ленты, и по краю борта, так как в зависимости от технических параметров максимальные значения напряжений в поперечном сечении могут возникать и в одной, и в другой области.

2. В результате варьирования величины погонной нагрузки от груза установлено, что повышение погонной нагрузки от транспортируемого груза вызывает значительный и практически линейный рост общей мощности, а также соответствующее снижение скорости движения конвейерной ленты. По максимальным значениям величин эквивалентных растягивающих напряжений выявлены наиболее опасные участки трассы, среди которых: участок грузовой ветви с желобчатой формой ленты и поворотный участок в конце ветви – для напряжений, действующих по дну ленты, а также загрузочный и концевой поворотный участки – для напряжений, возникающих по краю борта ленты.

3. Варьирование количества прокладок тягового каркаса приводит к незначительным изменениям величин общей мощности приводов конвейера и скорости транспортирования груза. Наибольшим изменениям подвергается картина распределения напряжений в конвейерной ленте: в области грузовой ветви при сокращении числа прокладок напряжения, возникающие по дну ленты, значительно уменьшаются, а по краю борта стремительно возрастают. Следовательно, при выборе количества прокладок тягового каркаса ленты рекомендуется использовать наименьшее число (порядка 1-2), при условии обеспечения прочности. При этом в случае превышения величиной напряжений по борту ленты предельных значений в области участков с выположенной формой ленты предлагается установка стационарных поддерживающих роликовых опор.

### Список литературы

1. Лагерев, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал, 2009. – № 10. – С. 9-14.
2. Лагерев, А.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 303 с.
3. 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.
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. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2016. – № 12. – С. 81-89.
5. 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.
6. Lagerev, A.V. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive / A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev, I.A. Lagerev // International Review on Modelling and Simulations. – 2016. – Vol. 9, N. 4. – P. 271-279.
7. Лагерев, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 3. – С. 44-52.
8. Толкачев, Е.Н. Особенности расчета сопротивлений движению подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом // Научные исследования и разработки молодых ученых. – 2016. – № 9-1. – С.163-170.
9. Лагерев, А.В. Моделирование динамики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Будущее машиностроения России: Сб. докладов VIII Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов (23-26 сентября 2015 г.) – М.: МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2015. – С. 886-890.
10. Лагерев, А.В. Моделирование режимов движения ведущих роликов приводных подвесок в математической модели конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 55-65. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-06.pdf>.
11. 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.
12. 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.
13. Лагерев, И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов / И.А. Лагерев. - Брянск: БГТУ, 2013. - 116 с.
14. Лагерев, А.В. Прочностной анализ коннектора для подводных переходов магистральных газопроводов / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.В. Говоров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – №3. – С. 31-37.
15. Титов, Н.А. Нелинейные конечноэлементные расчеты в задачах прочности подъемно-транспортных машин / Н.А. Титов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 2. – С. 51-58. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-04.pdf>
16. Толкачев, Е.Н. Анализ влияния конструктивных параметров вертикально-замкнутой трассы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом на его техни-

ческие характеристики / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 71-82. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N4/2016-04-07.pdf>.

17. Дарков, А.В. Соппротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М.: Высшая школа, 1975. – 654 с.

18. Лагерев, А.В. Определение рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 4. – С. 25-34.

19. Лагерев, А.В. Анализ влияния конструктивных параметров подвесок на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев / Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 3. – С. 50-59. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf>.

20. Галкин, В.И. Современные конвейерные ленты для горной промышленности / В.И. Галкин, Е.Е. Шешко, Е.С. Сазанкова // Горное оборудование и электромеханика. – № 3. – С. 9-14.

### **Сведения об авторе**

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 OF SOME DESIGN AND OPERATING PARAMETERS OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE ON THE TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Tolkachev E.N.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

The influence of several design and operating parameters of conveyor on the individual components of the stretching tension in the belt of conveyor with suspended belt and distributed drive was analyzed. The analysis of influence a number design and operating parameters on the technical specifications of conveyor with suspended belt and distributed drive was done. Recommendations on the choice of rational parameters were formulated.

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

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-67-80

## References

1. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenernyi zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
2. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the conveyor with hanging ribbon]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 303 p.
3. 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 dynamic model, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 33–40.
4. Tolkachev E.N. Definition of conditions working ability discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive [Opredelenie usloviy rabotosposobnosti diskretnogo uchastka konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchennykh: Sbornik materialov XII Mezhdunar. mol. nauch.-prakt. konf.* (Proceedings of the XII International Youth Scientific and Practical Conference). Novosibirsk, CRNS, 2016. pp. 81-89.
5. 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.
6. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Int. Review on Modelling and Simulations*, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 271-279.
7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44-52.
8. Tolkachev E.N. Features calculate resistance to movement of the conveyor with suspended belt and distributed drive [Osobennosti rascheta soprotivleniy dvizheniju podvesok konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchennykh: Sbornik materialov IX Mezhdunar. mol. nauch.-prakt. konf.* (Proceedings of the IX International Youth Scientific and Practical Conference). Novosibirsk, NGTU, 2016, No. 9-1, pp. 163-170.
9. 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.
10. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Simulation Modes of Movement the Drive Rollers of Suspension of Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 1, pp. 55-65. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-06.pdf>.
11. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskikh konstruktivnykh 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.
12. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskikh konstruktivnykh podyemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.
13. Lagerev I.A. *Raschety gruzopodyemnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Loadlifting machines calculations by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 116 p.

14. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Govorov V.V. Trunk gas pipeline underwater connector strength analysis, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.3, pp. 31-37.
15. Titov N.A. Nonlinear finite element calculations in problems of strength of lifting-transport machines. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 2, pp. 51-58. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-04.pdf>.
16. Tolkachev E.N. Influence analysis of design parameters of vertical loop route analysis of the influence of design parameters of vertically-closed track conveyor with suspended belt and distributed drive on the technical specifications. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 4., pp. 71-82. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N4/2016-04-07.pdf>
17. Darkov A.V., Shpiro G.S. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]. Moscow, Vysshaya shkola, 1975. 654 p.
18. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Determination of rational number suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik SibADI*, 2016, No. 5, pp. 25-34.
19. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Influence analysis of design parameters of suspensions on the technical specifications of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 3, pp. 50-59. Available at: [www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf](http://www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf).
20. Galkin V.I., Sheshko E.E., Sazankova E.S. Modern Conveyor Belts for Mining Industry. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2013, No. 3, pp. 9-14.

#### **Author' information**

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

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 004.89, 336

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СКОРИНГОВОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ DEDUCTOR

Лагереv Д.Г., Бондарева И.В.

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

В статье рассматривается процесс построения скоринговой модели на основе данных АО «ОТП-Банк» с помощью аналитической платформы Deductor. Приводятся примеры необходимости использования скоринговых моделей в различных сферах деятельности. Описываются назначение и этапы разработки скоринговой модели. Рассматриваются особенности аналитической платформы Deductor и основные обработчики, необходимые для построения скоринговой модели. Подробно рассматриваются принципы действия обработчика «Конечные классы». Формируются выводы об особенностях построения модели на используемой платформе.

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, скоринговая модель, Deductor, логистическая регрессия, классификация, конечные классы.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-81-85

Идеи классификации популяции на группы в статистике были разработаны Фишером в 1936 г. на примере растений. В 1941 г. Дэвид Дюрэн впервые применил данную методику к классификации кредитов на «плохие» и «хорошие». Но широкое применение скоринга в области кредитования началось примерно в начале 60-х годов с распространением кредитных карточек.

Основная идея оценки риска банкротства распространилась посредством скоринг-моделей на другие аспекты кредитного риск-менеджмента:

- определение потенциальных (кредитоспособных) клиентов;
- определение приемлемых клиентов на стадии подачи заявки на кредит;
- определение возможного поведения текущих клиентов.

Скоринг начинают применять во многих сферах как совершенно новый подход к решению различных задач. В маркетинге скоринг используется для прогнозирования поведения участников рынка или клиентов. Построение скоринговых моделей позволяет получить ответы на такие вопросы, как: ответит ли потенциальный клиент на рекламное предложение, уйдет ли он к конкуренту, расторгнет ли договор, будут ли сбои в поставке товаров. Отдельное направление – использование скоринга в медицине в целях диагностики заболеваний по симптомам и результатам анализов.

Скоринг – это процедура классификации объектов в соответствии с их измеренными характеристиками, при этом неизвестен параметр, по которому разделяются группы, но известны другие факторы, связанные с интересующим параметром [1]. Скоринг используется во многих прикладных областях, в том числе и в банковской сфере. Скоринговая модель в общем смысле представляет собой статистическую модель, оценивающую вероятность наступления определенного события.

В упрощенном виде скоринговая модель представляет собой взвешенную сумму значений признаков, характеризующих потенциального заемщика. Интегральный показатель, получаемый на выходе модели, указывает степень риска, связанного с данным клиентом. Если учесть, что значение интегрального показателя, равное единице, указывает на максимальную надежность клиента, а нулевое значение – на некредитоспособность, то промежуточные значения позволяют сделать вывод о целесообразности выдачи кредита.

Скоринг – одна из прикладных областей интеллектуального анализа данных. Для получения эффективного решения можно использовать такие методы и модели, как нейронных сети, деревья решений, байесовская классификация, регрессионный анализ и другие.

Целью данной работы является построение скоринговой модели по данным банка АО «ОТП-Банк» [2]. В статье рассматривается один из этапов моделирования скоринговой модели, а именно определение конечных классов.

**Подход к решению задачи оценки рисков.** Проблема оценки кредитных рисков сводится к решению задач классификации и регрессии. К задаче классификации относится определение принадлежности объекта одной из заранее заданных категории риска, а к задаче регрессии – численная оценка вероятности возникновения неблагоприятного события. Для решения каждой из этих задач существует соответствующий математический аппарат, возможность применения которого зависит от данных, используемых для анализа.

Методика анализа структурированных данных о клиентах для оценки рисков состоит последовательности действий, состоящих в выдвижении гипотезы, сборе и систематизации данных в табличном виде, подборе модели, объясняющей имеющиеся прецеденты, интерпретации полученных результатов и применении полученной модели на новых данных для оценки риска. При этом следует учитывать, что необходима предварительная обработка данных с целью устранения пропусков и выбросов, объединения значений в интервалы и преобразования данных таким образом, чтобы в дальнейшем наиболее точно интерпретировать результат.

Подобный подход к анализу структурированных данных реализован в аналитической платформе Deductor [1]. Система обладает обширным функционалом и активно используется для создания решений в области анализа рисков. Платформа разработана таким образом, чтобы предоставить аналитику возможность сконцентрироваться на интеллектуальной работе и сделать процесс анализа данных полуавтоматическим.

**Основные этапы разработки скоринговой модели.** Необходима предварительная обработка данных, которая заключается в получении данных, устранении выбросов и пропущенных значений. За предварительной обработкой следует моделирование скоринговой карты.

Выделим основные этапы моделирования:

- сэмплинг;
- двумерный анализ (или: категоризация, оптимальное квантование);
- расчет весов и баллов при необходимости;
- оценка качества модели.

В качестве источника данных для анализа выступает скоринговая анкета банка АО «ОТП-Банк» [2], который входит в число 50 крупнейших банков России. Цель анализа – предсказание отклика клиентов. Исходная выборка содержит записи о 15 223 клиентов, классифицированных на два класса: 1 – отклик был (1812 клиентов), 0 – отклика не было (13411 клиентов). Ещё 14910 записей отложены в качестве тестовых. Записи (признаковые описания) клиентов состоят из 50 признаков, в состав которых входит, в частности, возраст, пол, социальный статус относительно работы, социальный статус относительно пенсии, количество детей, количество иждивенцев, образование, семейное положение, отрасль работы.

**Обработчик Конечные классы.** Рассмотрим этап построения скоринговой модели, на котором необходимо уменьшить число значений исходного набора данных. Формирование конечных классов производится с целью предобработки выборок для повышения качества логистической регрессии [3]. С помощью обработчика Конечные классы [1] можно выполнить данную задачу за счет объединения значений в пределах некоторого интервала с использованием информации о бинарной выходной переменной.

Данный обработчик предназначен для решения следующих задач:

- снижение разнообразия значения признаков без ущерба для информативности данных;
- снижение размерности данных за счет исключения признаков с низкой значимостью;
- восстановление пропусков;
- борьба с выбросами и экстремальными значениями;
- упрощение описания исследуемых объектов.

Две цели оптимального квантования:

- стремление к простоте;
- стремление минимизировать потерю информации.

Ограничения для конечных классов:

- минимальное число наблюдений в конечном классе;
- максимальное число конечных классов.

Процедура сокращения уникальных значений признака осуществляется следующим образом:

1. Формируется исходное множество уникальных значений поля до обработки или *начальные классы* (fine classing);
2. Происходит «сжатие» начальных классов в меньшее количество интервалов, называемых *конечными классами* (coarse classing).

В обработчике заданы значения по умолчанию параметров Минимальная доля и Максимальное количество, равные 5% и 6 соответственно. Пользователь может задать другие значения до выполнения расчетов данного обработчика либо в интерактивном режиме.

Использование интерактивного режима позволяет редактировать количество конечных классов и их границы. После каждого изменения происходит автоматический перерасчет целевой функции, веса доказательства и информационного индекса (рис. 1). Рассмотрим процесс вычисления информационного индекса.

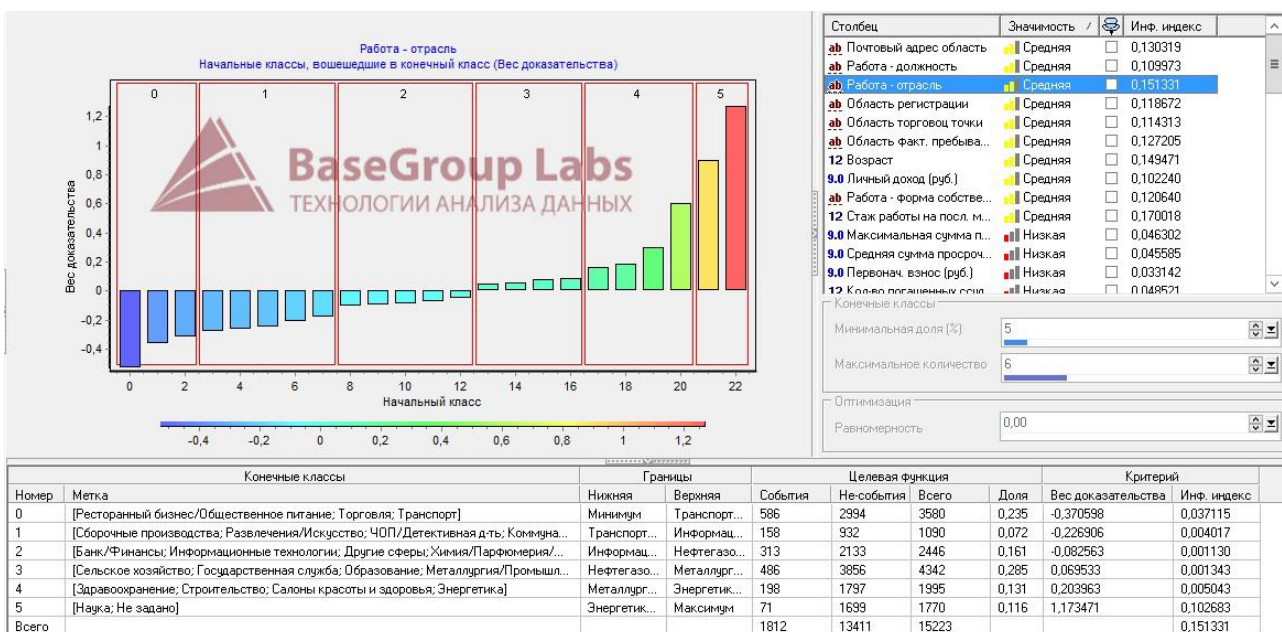


Рис. 1. Визуализатор Конечные классы

Для формирования конечных классов используется *Wo*-анализ (weight of evidence) или совокупность доказательства – статистический метод оценки влияния тех или иных факторов на справедливость некоторой гипотезы. Используется гипотеза независимого поведения признаков, которая заключается в следующем: пропорция события и не-события в анализируемой подгруппе должна сохраняться такой же, как и для всей выборки в целом.

Диапазон изменений признака разбивается на несколько начальных классов, для каждого из которых вычисляется коэффициент по формуле:

$$WoE_i = \ln \frac{N_i/N}{P_i/P},$$

где *i* – индекс признака, для которого вычисляется показатель *WoE*; *N<sub>i</sub>* – число не-событий в *i*-й группе; *N* – общее число не-событий; *P<sub>i</sub>* – число событий в *i*-й группе; *P* – общее число событий.

Если значение категории совпадает с событием больше число раз, чем с не-событием, то согласно формуле, под знаком логарифма будет значение меньше 1, что делает его отрицательным. Значение *WoE* < 0 указывает на большую вероятность появления собы-



тия, а  $WoE > 0$  – не-события. Индекс  $WoE$  есть количественная мера предиктивной силы отдельной категории внутри переменной.

$WoE$  является промежуточным элементом для вычисления агрегированной величины, называемой информационным индексом  $IV$  (Information Value):

$$IV = \sum_{i=1}^K \left\{ \left( \frac{N_i}{N} - \frac{P_i}{P} \right) \cdot WoE_i \right\}.$$

Информационный индекс всегда является положительной величиной и отвечает за предсказательную способность всей переменной.

Коэффициенты  $WoE$  и вычисленные на их основе значения  $IV$  являются критерием для формирования конечных классов оптимальным образом:

- максимизация значимость признака в бинарной классификационной модели;
- максимизация равномерность заполнения интервалов, что обеспечивает наилучшую репрезентативность результатов;
- сочетание данных вариантов.

**Логистическая регрессия.** В целях обеспечения адаптивности модели оценки риска следует использовать алгоритм, предусматривающий возможность подстройки под вносимые изменения. Рассмотрим логистическую регрессию, назначение которой состоит в анализе связи между несколькими независимыми переменными и зависимой переменной. Можно рассматривать линейную модель для задач с бинарным результирующим полем (выдать кредит либо отказать в выдаче кредита). На основе такого алгоритма строятся скоринговые карты, позволяющие подобрать оптимальный и экономически обоснованный порог отсечения.

Логистическая кривая имеет вид

$$P = \frac{1}{1 + e^{-y}},$$

где  $p$  – вероятность того, что произойдет интересующее событие;  $y$  – стандартное уравнение регрессии:

$$y = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 x.$$

Преобразование  $\ln\left(\frac{P}{1-P}\right)$  называется логистическим или логитом. Применение логит-преобразования позволяет предсказывать непрерывную переменную со значениями на отрезке  $[0; 1]$ .

Вычисление требуемых коэффициентов, информационного индекса и значений целевой функции без использования специального программного обеспечения представляет собой трудоемкий процесс. Поскольку платформа Deductor позволяет осуществлять быстрый перерасчет всех необходимых значений, возможно выполнять анализ данных итерационно.

После построения очередной скоринговой модели следует сравнить эффективность моделей. Результаты проверки на тестовых данных могут не совпадать с действительным результатом, поэтому основной целью является проверка на реальных данных

В результате анализа функциональных возможностей платформы Deductor и применении их в построении скоринговой модели можно сделать вывод, что грамотный выбор множества значений для входных переменных повышает качество и скорость построения модели. Отбор переменных для модели в ходе оценки индекса  $WoE$  обеспечивает наибольшую репрезентативность результатов, делает скоринговую модель устойчивой и также повышает скорость ее построения. Все этапы моделирования можно выполнить без использования специальных программных средств, но использование Deductor позволяет аналитику сконцентрироваться на интеллектуальной работе и сделать процесс анализа данных полуавтоматическим. Таким образом, возможно сократить время на создание и повысить качество скоринговой модели.

### Список литературы

1. BaseGroup Labs ООО «Аналитические технологии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/deductor>, свободный.
2. АО «ОТП-Банк» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.otpbank.ru/>.
3. Паклин, Н.Б. Оптимальное квантование для повышения качества бинарных классификаторов / Н.Б. Паклин, В.В. Афанасьев // Искусственный интеллект. – 2013. – Вып. 4. – С. 392-399.

### Сведения об авторах

Лагерев Дмитрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и программное обеспечение» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», [LagerevDG@yandex.ru](mailto:LagerevDG@yandex.ru).

Бондарева Инна Васильевна - магистрант по направлению «Информатика и вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», [innagorda@ya.ru](mailto:innagorda@ya.ru).

## CONSTRUCTION FEATURES OF SCORING MODELS BASED ON DEDUCTOR ANALYTICAL PLATFORM

Lagerev D.G., Bondareva I.V.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

The aim of the study is to build a scoring model based on Deductor analytical platform. Problems solved by this method are introduced to actualizing the research. The source data for customer response prediction is the scoring profile of the OTP Bank. Modeling process and Fine&Coarse Classing Deductor's handler are described. Fine&Coarse Classing is capable of reducing the unique values and allows to analyze iteratively and to improve the quality and speed of model building. The weight of evidence, information value and the value of the objective function enable the fundamental parameters to be determined from experimental results. The conclusion is made that using Deductor have several advantages over manual calculations.

**Keywords:** *Data mining, scoring model, deductor, classification, logistic regression, Fine&Coarse Classing.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-81-85

### References

1. BaseGroup Labs ООО Analytical technology. Available at: <https://basegroup.ru/deductor>.
2. АО OTP-Bank. Available at: <https://www.otpbank.ru/>.
3. Paklin N.B., Afanasiev V.V. Optimal Quantization to Improve the Quality of Binary Classifiers. *Artificial intelligence*, 2013, No.4, pp. 392-399.

### Authors' information

Dmitriy G. Lagerev - Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department "Computer Science and Engineering" at Bryansk State Technical University, [LagerevDG@yandex.ru](mailto:LagerevDG@yandex.ru).

Inna V. Bondareva - undergraduate of the faculty "Computer Science and Engineering" at Bryansk State Technical University, [innagorda@ya.ru](mailto:innagorda@ya.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 004.4, 004.891.2, 519.226.3

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ UPTASK ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ИТ-СФЕРЕ**

Лагереv Д.Г., Варламов Д.О.

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

Проектное планирование и учет всех управленческих факторов в условиях многозадачности и стихийности проектного менеджмента - задача объемная и сложная, особенно в отрыве от методологической и инструментальной базы. Расчет всех показателей, статистических метрик и стратегий лицом, принимающим решения, может носить субъективный или ошибочный характер, также нельзя исключать и человеческий фактор. Автоматизация процессов статистического анализа и вероятностного прогнозирования позволяет помочь лицу, принимающему решения, в выработке максимально обоснованного стратегического и проектного плана. Поставленная задача решается при помощи разработки системы управления проектами для компаний из сфер информационных технологий. Одной из важнейших особенностей разработки является модуль статистического и вероятностного анализа на основе байесовых сетей. Использование предлагаемого инструментального и методологического комплекса обеспечит высокий уровень оптимизации распределения времени на рабочие процессы, а также позволит повысить степень корректности и преемственности решений, принятых проектным менеджером.

**Ключевые слова:** *управление проектами, статистика, аналитика, байесовы сети, вероятностная модель, платформа, UpTask.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-86-91

Автоматизация процессов принятия решений в условиях проектного менеджмента является неотъемлемой частью современного производственного процесса в любой сфере. Применение методик расчета последствий и вариаций многообразия стратегий лицом, принимающим решения (ЛПР), зачастую занимает много времени и несет в себе ошибки методологического характера. Не стоит исключать также и человеческий фактор. В связи с этим, применение статистических моделей в связке с вероятностными моделями способствует постоянной аналитике и прогнозированию проектного планирования и итерационному внедрению улучшающих вмешательств от лица, принимающего решения [5].

Таким образом, актуальность решения обусловлена проблематикой планирования и выстраивания производственных процессов, а также принятия управленческих решений в рабочей среде современного информационно-технологического предприятия (ИТ-сфера). Для повышения эффективности управления возникает необходимость сбора статистических и аналитических данных, а также их обработка и систематизация для помощи лицу, принимающему управленческие решения на предприятии.

Научная новизна исследования обусловлена объединением современных подходов к проектному планированию в области информационных технологий, моделей вероятностных рассуждений, методик анализа и интерпретации статистических данных с целью повышения качества прогнозирования и помощи лицу, принимающему управленческие решения.

### **Проблематика проектного планирования в сфере информационных технологий.**

Системы управления проектами призваны помочь проектному менеджеру правильно оценить затраты на реализацию задачи. Среди основных функций таких систем – учет временных и финансовых затрат, а также выстраивание производственных процессов при помощи методик ранжирования задач. Однако интеллектуальная функциональность большинства систем не соответствует современным условиям многозадачности, а также не учитывает оценку человеческого фактора при планировании. Особенно актуальна данная проблема при взаимодействии с распределенной или удаленной командой, а также при работе со схожими по концепции задачами [4].

Говоря иначе, в современный подход к управлению проектами необходимо добавить возможность связать задачи с командой, которая ими занимается, а также проанализировать статистику их компетенций и подходов к работе. Ряд современных систем уже применяют сбор статистики и строят графики активности персонала, например, Asana [1], Bitrix24 [2], MS Project [3]. Однако им не хватает аналитической составляющей прогнозирования «напе-

ред». В большинстве своем подобные системы работают только с текущими данными. В связи с чем в рамках разработки системы управления проектами внедряется прогнозирующий и статистический модули. Такая концепция позволяет при помощи математических моделей проанализировать поведенческую и вероятностную составляющую деятельности каждого члена команды и прогнозировать будущие статистические данные.

Сбор статистики – это первый этап, выполнение которого позволяет повысить точность планирования [9]. Для этого, в систему необходимо внедрить ряд релевантных метрик, отвечающих за взаимодействие с задачей каждого конкретного члена команды.

Среди таких метрик могут быть следующие:

- время, затраченное на задачу (с корреляцией по сложности) в минутах;
- коэффициент выполнения (планируемый / фактический);
- количество подзадач, влияющих на трудоемкость и понимание общей цели;
- систематическое делегирование задач;
- общая динамика работоспособности по временной и количественной шкалам;
- факторы отвлечения и переключения на «незапланированные» задачи;
- корреляция эффективности и коллективной работы, и т.д.

Эти и другие метрики, переведенные в метрический эквивалент, позволяют получить вероятностную модель прогнозирования результатов работы команды над каждым конкретным проектом. Например, вероятность успешности сдачи работ по каждой временной контрольной точке. Такой анализ можно производить как по каждому отдельному члену команды, так и по всему отделу, подразделению и т.д. в зависимости от структуры компании.

В связи со сделанными выводами, целью работы является разработка методики и программного обеспечения для повышения эффективности управления производственными процессами в сфере информационных технологий с использованием инструментов проектного планирования, сбора и анализа статистики и применения моделей вероятностных рассуждений.

**Применение статистических и вероятностных моделей в системе управления проектами UpTask.** Этап «личностного» сбора статистики – важный этап в любой подобной системе. Однако менеджер проектов не всегда может верно использовать такой набор показателей без их математического анализа. В данном случае он выступает как лицо принимающее решение и ему необходимо помочь с применением математических и вероятностных моделей и, соответственно, в выборе верного проектного решения. На сегодняшний момент наработки имеют практическое воплощение в системе личной продуктивности – органайзере, где также происходит сбор статистики по каждому конкретному пользователю с целью выявления его личностной модели работоспособности. В системе предусмотрен сбор статистики при помощи Google-аналитики, после чего данные попадают в байесову сеть и переобучают вероятностную модель, уточняя её таргетированными данными. После нескольких итераций байесова сеть способна достаточно точно рассчитывать вероятности наступления тех или иных негативных результатов использования системы и предупреждать пользователя заранее [10].

Таким образом, уже сейчас имеется практическое воплощение обозначенных выше гипотез в области личной продуктивности и ведется работа по переложению наработок на B2B ориентиры проектного менеджмента. В данном случае система подвергается не только пересмотру инструментального набора, но и полной переработке самой сети, так как появляются факторы совместной работы, графики занятости, метрики сложности, сроки сдачи работ и т.д. Как пример, на рис. 1 представлена базовая вероятностная модель для персонального планировщика задач, которую использовали для первичных испытаний и проверки гипотез.

Данная модель представляет собой способ объединения статистического анализа данных и вероятностной модели рассуждений на основе байесовой сети. В данном случае, собирая статистику по каждому конкретному пользователю, система может получить его поведенческую модель, итерационно улучшая и уточняя её по средствам переобучения на посто-

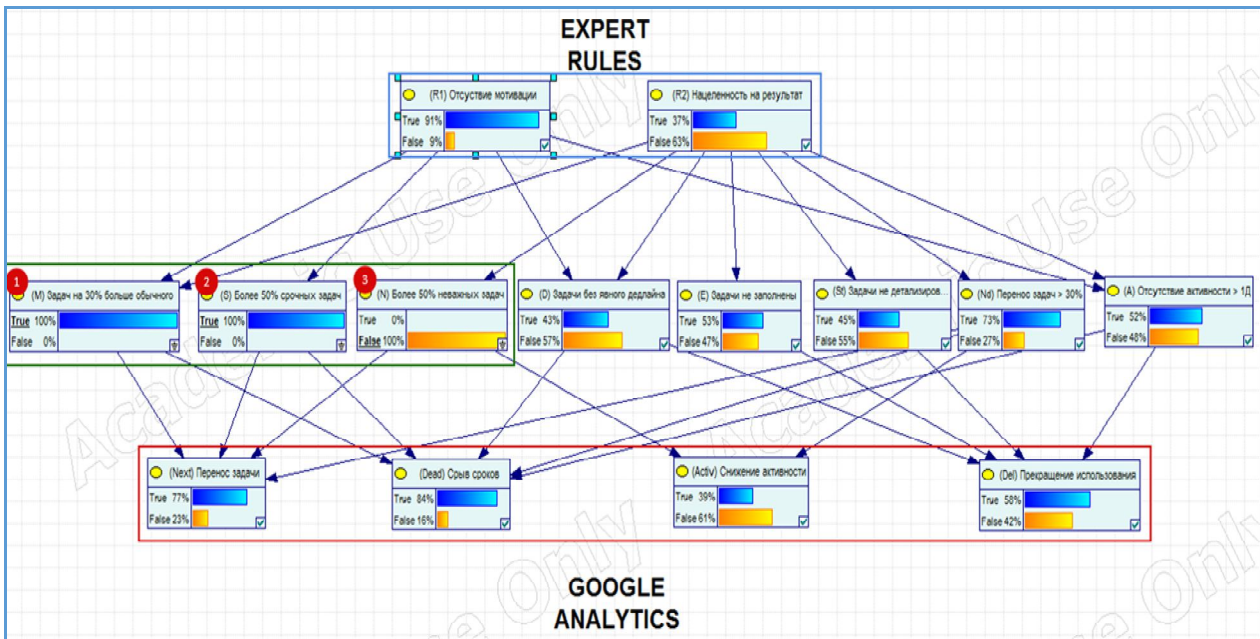


Рис. 1. Базовая вероятностная модель для планировщика задач

янно обновляющихся данных. После чего, используя байесов аппарат, система может рассчитать вероятность наступления тех или иных проектных событий, среди которых:

- вероятность срыва сроков (менеджеру следует пересмотреть план);
- вероятность переноса задачи (неоптимистичные сроки);
- вероятность того, что данный субъект не справится с данной задачей (делегирование еще на стадии планирования), и т.д.

Это лишь малая часть информации, которую при таком подходе может получить менеджер проекта ещё до стадии согласования сроков работы с заказчиком или на любом из этапов работы. Также еще до начала работы он может спланировать свою деятельность и деятельность своей команды максимально реалистично в отношении сроков выполнения и оценки трудоемкости.

Исходя из вышесказанного, основная функциональная направленность вероятностно-аналитической подсистемы включает в себя:

- 1) сбор статистики и результатов активности персонала;
- 2) аналитика продуктивности каждого отдельного работника или отдела (подразделения) в зависимости от глубины анализа;
- 3) формулировка рекомендаций по повышению качественных характеристик планирования лицу, принимающему решения;
- 4) предупреждение о возможности наступления негативных результатов ошибочного планирования и перегруженности;
- 5) сравнительный анализ продуктивности и результативности по иерархиям разного уровня;
- 6) сообщения методологического характера.

Применение байесовой сети в проектном планировании. Разработка статистического анализатора с применением вероятностных моделей с целью прогнозирования вероятности наступления тех или иных проектных событий производится при помощи байесовых сетей. *Байесовская сеть* – модель вероятностных рассуждений, представляемая как математическим, так и графическим способом, которая служит для удобства представления вывода [6].

*Марковское условие:* любая переменная  $V_i$  из  $V$  должна быть условно независима от всех вершин, не являющихся её потомками, если заданы (обусловлены) все её прямые родители  $P A_i^G$  в графе  $G$  :

$$\forall V_i \in VP(V_i | p a_i, s) = P(V_i | p a_i),$$

где  $s$  – конфигурация  $S$ ;  $S$  – множество всех вершин, не являющихся потомками  $V_i$  [7].

В ходе тестирования гипотезы была построена небольшая базовая модель байесовой сети с целью апробации теории на практической основе. Заполненная байесова сеть представлена на рис. 2.

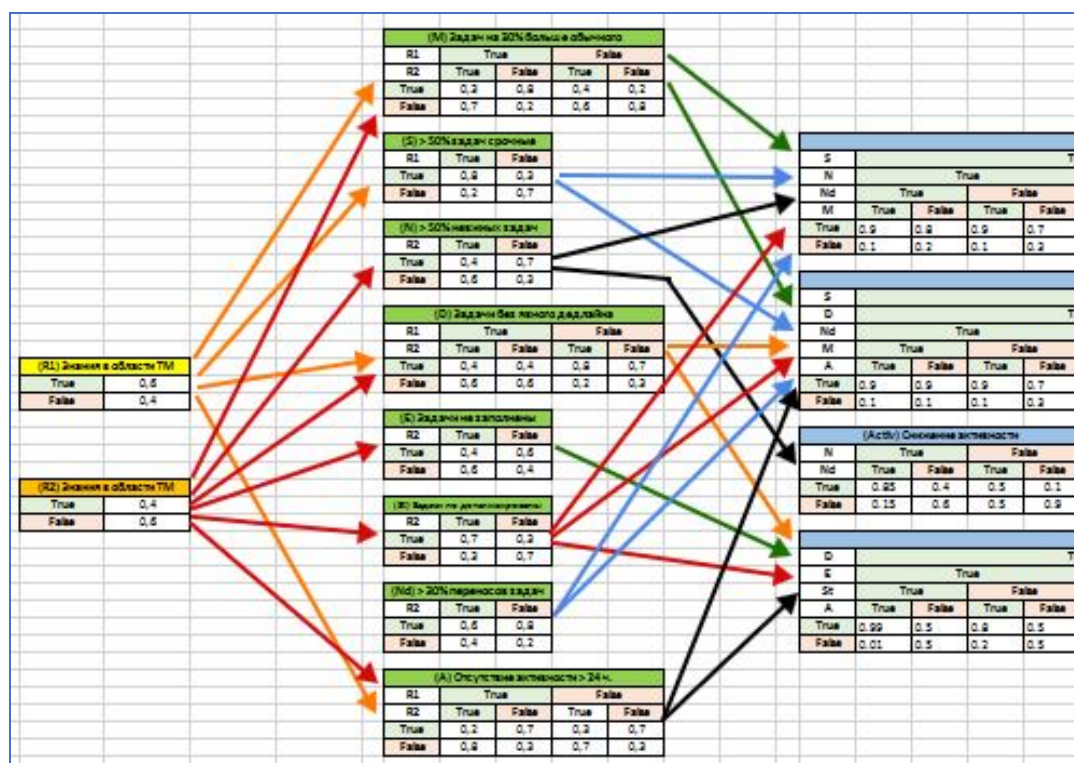


Рис. 2. Заполненная тестовая байесова сеть проекта

Эта сеть включает лишь малую часть возможного объема обрабатываемых метрик, но уже можно говорить о перспективности направления исследований, а также о работоспособности идеи, о чем говорят результаты тестовых испытаний. Наряду с байесовыми сетями в рамках разработки системы управления проектами планируется внедрение классификации метрик, кластеризация, возможно, теория игр. После полноценной проработки байесовой сети и подтверждения её результативности в области проектного планирования будет вестись разработка по улучшению работы аналитической подсистемы.

Предложенный подход является полезным в работе с планированием проектов, особенно в сфере информационных технологий, где задачи хоть и типовые, однако имеется большое количество неучтенных факторов и преобладает как распределенная система занятости, так и высокий уровень многозадачности. Все эти факторы практически невозможно учесть и спрогнозировать на должном уровне усилиями одного или нескольких проектных менеджеров, поскольку возможно влияние человеческого фактора в отрыве от математических моделей вероятностного характера и методов принятия решений на основе статистического анализа данных. Использование предложенного методологического и инструментального комплекса позволит автоматизировать процесс анализа данных и сделать прогнозирование более точным и таргетированным.

### Список литературы

1. Asana. Режим доступа: <https://asana.com>.
2. Bitrix 24. Режим доступа: <https://www.bitrix24.ru>.
3. Microsoft Project. Режим доступа: <https://products.office.com/ru-ru/project/project-and-portfolio-management-software>.



4. Варламов, Д.О. Разработка программной мотивационной платформы тайм-менеджмента и наставничества / Д.О. Варламов, Д.Г. Лагерев // Материалы I регион. научн.-практ. конф. «Инновации 2015. Современное состояние и перспективы развития инновационной экономики Брянска». – Брянск: БГТУ, 2015. – 52 с.
5. Варламов, Д.О. Uptask – система мотивационного тайм-менеджмента и управления задачами / Д.О. Варламов, Д.Г. Лагерев // Сб. материалов IV Всеросс. научно-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке». – Ижевск, 2016. – 1042 с.
6. Городецкий, В. Алгебраические байесовские сети – новая парадигма экспертных систем / В. Городецкий // Юбилейный сборник трудов институтов Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации РАН. – М.: РАН, 1993. – Т. 2. – С. 120–141.
7. Ларичев, О. Теория и методы принятия решений / О. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
8. О’Коннор, Дж. Искусство системного мышления: необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / Дж. О’Коннор, И. Макдермотт. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 256 с.
9. Подвесовский, А.Г. Применение байесовых сетей в задачах анализа и прогнозирования спроса / А.Г. Подвесовский, С. Ешин // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2011. – №1. – С. 61–70.
10. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, Н. Питер. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
11. Терехов, С. Введение в байесовы сети / С. Терехов. – М.: МИФИ, 2003. – 188 с.

#### **Об авторах**

Лагерев Дмитрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», [LagerevDG@yandex.ru](mailto:LagerevDG@yandex.ru).

Варламов Дмитрий Олегович - аспирант ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», [dmitriy1708@bk.ru](mailto:dmitriy1708@bk.ru).

## **APPLICATION UPTASK PROJECT MANAGEMENT PLATFORM TO SUPPORT MANAGEMENT DECISIONS IN I.T.**

Lagerev D.G., Varlamov D.O.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

Project planning and management accounting of all factors, in terms of multitasking and spontaneity of project management, the task is very voluminous and complex, especially in isolation from the methodological and instrumentation. Calculation of indicators and statistical metrics, and strategies, the decision maker may be biased or incorrect character, and one can't exclude the human factor. In such a perspective, it was decided to automate the process of statistical analysis and probabilistic forecasting to help the decision-maker, as much as the right choice of strategic and project planning. The problem is solved by means of the development of the project management system for the companies of the areas of information technology. One of the most important features of the development of a module statistical and probabilistic analysis based on Bayesian networks. The use of the proposed tool and methodological complex, will provide a high level of optimization of the allocation of time to work processes and will increase the degree of correctness and continuity of decisions taken by the project manager.

**Keywords:** *Project management, statistics, analysis, Bayesian networks, probabilistic model, platform, UpTask*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-86-91

## References

1. Asana. Available at: <https://asana.com>
2. Bitrix 24. Available at: <https://www.bitrix24.ru>
3. Microsoft Project. Available at: <https://products.office.com/ru-ru/project/project-and-portfolio-management-software>
4. Varlamov D.O., Lagerev D.G. Development software platform motivational time management and mentoring. *Materialy I region. nauchn.-prakt. konf. «Innovatsii 2015. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya innovatsionnoy ekonomiki Bryanska»*. Bryansk: BSTU, 2015, p. 52.
5. Varlamov O.D. Uptask - motivational system menedzhenta time and task management. *Sbornik materialov IV Vseross. nauchno-tekhn. konf. aspirantov, magistrantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Molodye uchenye – uskoreniyu nauchno-tekhnicheskogo progressa v XXI veke»*. Izhevsk, 2016, p. 1042.
6. Gorodetskiy V. Algebraic Bayesian networks - a new paradigm of expert systems. *Yubileyyny sbornik trudov institutov Otdeleniya informatiki, vychislitelnoy tekhniki i avtomatizatsii RAN*. Moscow, RAN, 1993, Vol. 2, pp. 120 -141.
7. Larichev O. Theory and methods of decision-making. Moscow, Logos, 2000. 296 p.
8. O'Connor J., McDermott I. The Art of Systems Thinking: The necessary knowledge about the systems and creative approach to problem solving. Moscow, Alpina Business Books, 2006. 256 p.
9. Podvesovskiy A.G., Eshin S. Application of Bayesian networks in problems of analysis and forecasting of demand. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.1, pp. 61-70.
10. Russell S., Peter H. Artificial Intelligence: a modern approach. Moscow, Williams, 2006. 1408 p.
11. Terekhov A.S. Introduction to Bayesian networks. Moscow, MIFI, 2003. 188 p.

## Author' information

Dmitriy G. Lagerev - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor at Bryansk State Technical University, [LagerevDG@yandex.ru](mailto:LagerevDG@yandex.ru).

Dmitriy O. Varlamov - postgraduate student of Department of computer science and software at Bryansk State Technical University, [dmitriy1708@bk.ru](mailto:dmitriy1708@bk.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017





УДК 004.932

## СРАВНЕНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ МАСШТАБИРОВАНИЯ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Трубаков А.О., Селейкович М.О.

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

Статья посвящается проблеме эффективного масштабирования растровых изображений. Рассматриваются и анализируются причины появления негативных эффектов, возникающих при увеличении разрешения растровых изображений. Выполнен анализ эффективности таких методов, как метод ближайшего соседа, билинейная интерполяция и бикубическая интерполяция. Рассматривается методика экспериментального исследования, приводятся результаты сравнения алгоритмов по качеству получаемых изображений и быстродействию. Итогом исследования являются рекомендации по выбору алгоритмов увеличения разрешения изображений.

**Ключевые слова:** растровая графика, масштабирование изображений, билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-92-98

*Введение.* Масштабирование растровых изображений является одной из важнейших задач наряду с выполнением поворотов, изменением контрастности и т.д. При этом актуальна потеря качества изображения. В частности, возможны существенные искажения геометрии мелких деталей и появление ложных узоров, возникают некоторые негативные эффекты.

1. Алиасинг – эффект «ступенчатости» линий. Связан с проблемами отображения линий, не параллельных одной из осей координат. Ступенчатость возникает, когда точки на линиях пересекают строки или столбцы пикселей под небольшим углом. Часть линии шириной в один пиксель может попасть на один пиксель экрана, а часть - на другой. Возникает неопределенность: можно рисовать эту часть как один пиксель на одном ряду, один пиксель на другом ряду или закрашивать оба пикселя. К сожалению, все три способа вносят хорошо заметные дефекты в изображение [2].

2. Размытие изображений. Данный эффект особо нежелателен там, где имеют место объекты с выраженными границами. Он связан с тем, что при увеличении изображений ряд методов приводят к тому, что граница становится размазанной, не четкой. В дальнейшем это может не только исказить изображение визуально, но и приведет к усложнению процедуры сегментации и распознавания [3].

3. Эффект Гиббса. На изображениях проявляются ореолы возле резких перепадов интенсивности. Незначительное искажение изображений человек может и не заметить, тогда как при больших потерях информации, например, при сильном изменении масштаба, данный артефакт может стать раздражающим. По негативному эффекту он соизмерим с потерей цветности [4].

Существуют различные методы масштабирования изображений, характеризующиеся различным соотношением быстродействия и качества. В данной статье сравниваются некоторые популярные методы увеличения изображений.

*Обзор исследуемых методов.* Наиболее популярными методами увеличения масштаба изображений являются методы, основанные на интерполяции цветов пикселей. Принцип действия заключается в том, что для каждой точки конечного изображения берется фиксированный набор точек исходного и интерполируется в соответствии с его взаимным положением и выбранным фильтром. Количество точек тоже зависит от фильтра.

Вырожденным случаем интерполяционных методов является метод ближайшего соседа. Для каждого пикселя конечного изображения выбирается один пиксель исходного, наиболее близкий к его положению с учетом масштабирования. В частности, если выполняется увеличение в целое число раз  $m$ , то одному пикселю исходного изображения соответствуют  $m^2$  пикселей увеличенного изображения, имеющих тот же цвет.

В остальных случаях значение цвета в произвольной точке представляется как линейная комбинация цветов в некоторой окрестности точки [1]:

$$\sum_{i,j} d_{ij} W(i-x)W(i-y), \quad (1)$$

где  $x, y$  - координаты вычисляемого пикселя нового изображения в системе координат старого изображения.

Например, пусть  $w, w^*$  - ширина старого и нового изображения соответственно. Если пиксели в матрице цветов нумеруются с нуля, то координате  $x^*$  в новом изображении будет соответствовать координата  $(w-1)t$  в старом, причем  $t = x^*/(w-1)$ . Очевидно,  $t$  всегда содержится на отрезке  $[0; 1]$ . Функция  $W$  определяет вес пикселя и формализует отношение удалённости пикселей: чем дальше пиксель от  $(x, y)$ , тем меньше его вес. Веса вне окрестности нулевые.

Билинейная интерполяция рассматривает квадрат  $2 \times 2$  исходного пикселя, окружающих неизвестный. В качестве интерполированного значения используется взвешенное усреднение этих четырёх пикселей. Функция веса, используемая для (1), имеет вид (рис. 1):

$$W(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & |x| < 1 \\ 0, & |x| \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Бикубическая интерполяция рассматривает массив из  $4 \times 4$  окружающих пикселей - всего 16. Поскольку они находятся на разных расстояниях от неизвестного пикселя, ближайшие пиксели получают при расчёте больший вес. Функция веса имеет вид (рис. 1):

$$W(x) = \begin{cases} (x^2 - 1)(|x| - 2) / 2, & |x| < 1 \\ -(|x| - 1)(|x| - 2)(|x| - 3), & 1 < |x| < 2 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (3)$$

Функции, приведённые в (2) и (3), являются достаточно распространёнными для определения весов пикселей.

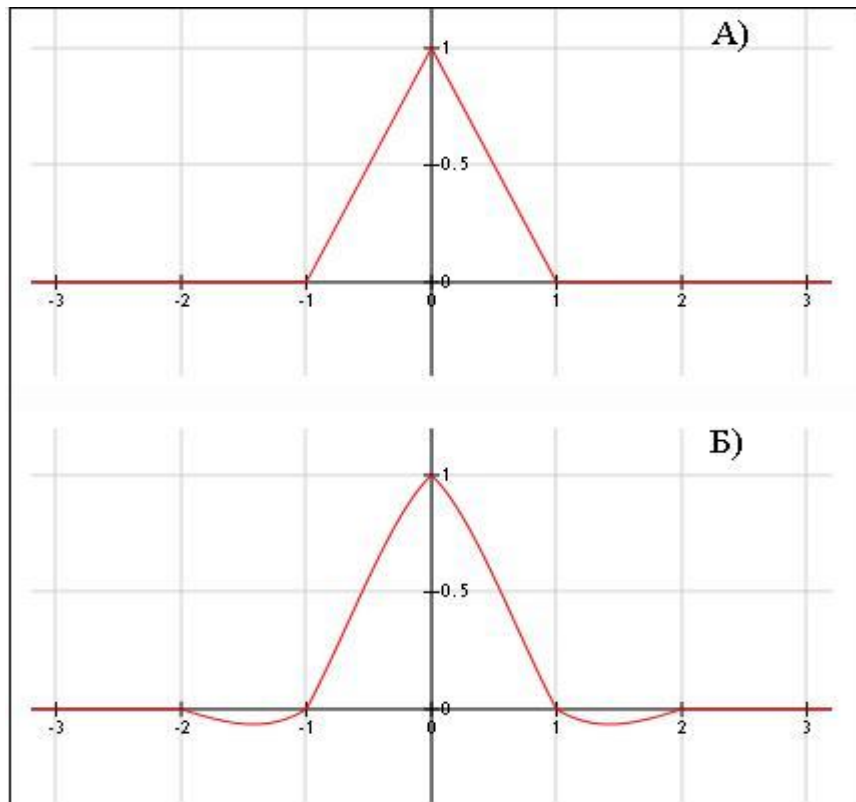


Рис. 1. Функции веса пикселей: а - билинейная интерполяция; б - бикубическая интерполяция

*Методика исследования.* Для экспериментального сравнения описанных методов была отобрана коллекция изображений, некоторые элементы которой представлены на рис. 2. Изображения различаются по своей геометрии, по чёткости границ и разнообразию цветов. Первое изображение было выбрано для наглядной демонстрации, насколько исследуемым методам свойственен алиасинг.

Экспериментальное сравнение основывалось на программной реализации при следующих параметрах: язык C#, использован класс IplImage библиотеки OpenCvSharp.

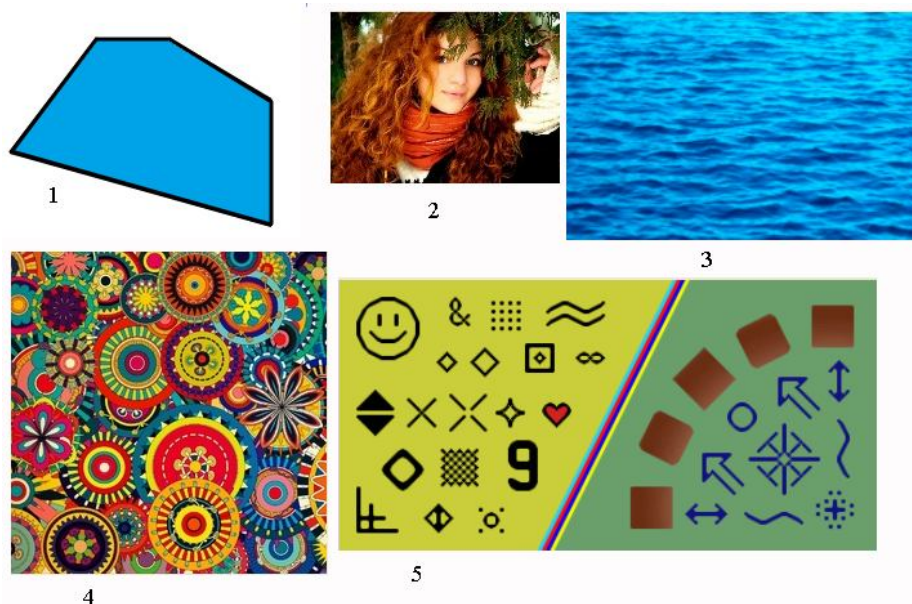
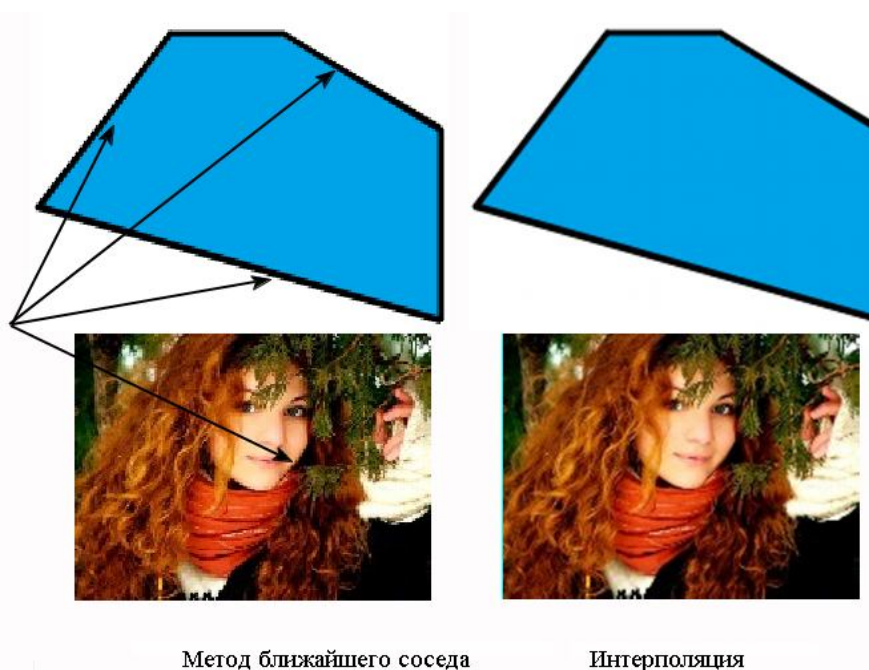


Рис. 2. Тестовая коллекция

*Результаты исследования.* Метод ближайшего соседа характеризуется появлением заметной ступенчатости даже при незначительном увеличении изображений. На рис. 3 приведены результаты для некоторых тестовых изображений при увеличении их в 1,5 раза.



Метод ближайшего соседа

Интерполяция

Рис. 3. Проблема ступенчатости при использовании метода ближайшего соседа (увеличение в 1,5 раза)

Заметим, что:

1) при наличии достаточно чётких границ между объектами, линии которых идут под углом к осям координат, метод ближайшего соседа даёт заметную ступенчатость, интерполяционные методы - гораздо меньшую (например, она есть для нижней стороны многоугольника, но видна только при пристальном взгляде);

2) для границ, параллельных одной из осей, негативных эффектов не возникает (на рис. 3 это верхняя сторона многоугольника);

3) при достаточно больших увеличениях метод ближайшего соседа даст изображение с ярко выраженной пикселизацией (рис. 4);

4) при небольших увеличениях билинейная и бикубическая интерполяция дают примерно одинаковое качество изображения. При многократных увеличениях билинейная интерполяция даёт гораздо более выраженный эффект ступенчатости (рис. 5 и 6).



Рис. 4. Метод ближайшего соседа (увеличение в 3 раза)



Рис. 5. Сравнение билинейной (слева) и бикубической (справа) интерполяции (увеличение в 7 раз)

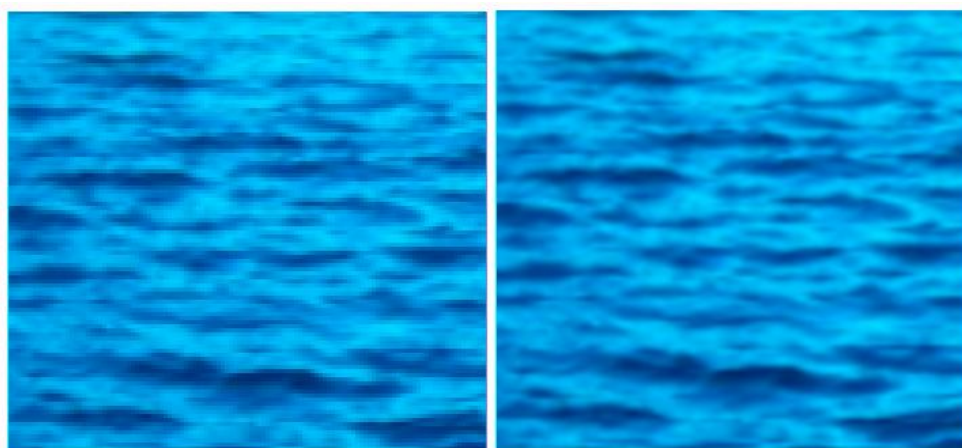
Если на изображении нет объектов с ярко выраженными границами, резких перепадов цветов, то качество, обеспечиваемое рассматриваемыми методами увеличения изображений, отличается в меньшей степени (рис. 7). Однако это не означает, что при сколь угодно большом увеличении разницы в качестве не будет.

Также для полноты картины было осуществлено сравнение времени выполнения алгоритмов. Для того, чтобы не привязываться к производительности компьютера и его техни-





Рис. 6. Сравнение билинейной и бикубической интерполяции (увеличение в 8 раз)



Метод ближайшего соседа

Бикубическая интерполяция

Рис. 7. Изображение без резких перепадов цветов (увеличение в 3 раза)

ческим характеристикам, был введён параметр «снижение быстродействия» - отношение времени выполнения алгоритма ко времени выполнения метода ближайшего соседа. В табл. 1 приведены результаты для увеличения изображений из тестового набора (рис. 1) в 2 раза и в 5 раз. При замере времени учитывалось только собственно вычисление цветов пикселей увеличенного изображения. Не учитывались время загрузки исходного файла и сохранения результатов.

Таблица 1

Сравнение быстродействия интерполяции относительно метода ближайшего соседа

№ теста	Размеры	Снижение быстродействия при интерполяции			
		билинейной при увеличении		бикубической при увеличении	
		x2	x5	x2	x5
1	250x200	5,5	5,5	28,1	24,5
2	179x134	5,3	6,9	24,4	23,7
3	278x178	5,5	5,5	26,5	24,7
4	246x250	5,5	5,4	24,2	23,9
5	419x210	5,6	5,6	24,7	24,5

*Выводы.* Среди трёх рассмотренных методов при увеличении изображения до 3-4 раз целесообразно выбирать билинейную интерполяцию, поскольку в таких ситуациях она не характеризуется существенными визуальными отличиями от бикубической, но работает намного быстрее. При более крупных масштабах целесообразна бикубическая интерполяция. Для решения проблемы относительно невысокого быстродействия бикубической интерполяции целесообразно рассмотреть возможные способы интерполяции по 9 или 16 пикселям, обеспечивающие примерно такое же качество, но с меньшим количеством вычислительных операций. В частности, это может быть достигнуто путём упрощения функции весов или упрощения интерполяции в частных случаях (например, когда точка лежит ровно на стыке четырёх пикселей).

#### **Список литературы**

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.
2. Петровичев, Е.И. Компьютерная графика / Е.И. Петровичев. М.: Московский государственный горный университет, 2003. - 200 с.
3. Гулаков, В.К. Сегментация пейзажных изображений / В.К. Гулаков, С.Н. Огурцов, А.О. Трубаков // Информационные технологии. – 2013. - №1. – С. 40-45.
4. Гулаков, В.К. Эффективный алгоритм преобразования полноцветного изображения к палитре для систем поиска по содержанию / В.К. Гулаков, А.О. Трубаков А.О. // Информационные технологии. – 2011. - № 8. – С. 22-28.

#### **Сведения об авторах**

Трубаков Андрей Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и программное обеспечение» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *trubakovao@mail.ru*.

Селейкович Марина Олеговна – магистрант по направлению «Информатика и вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *circus8girl@yandex.ru*.

## **COMPARISON OF INTERPOLATION METHODS FOR RASTER IMAGES SCALING**

Trubakov A.O., Seleykovich M.O.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

The article is devoted to the problem of efficient scaling of raster images. We consider some negative effects, related with scaling of raster images. Besides, we consider an analysis of several methods that are used to increase sizes of raster images. Among them are nearest neighbor algorithm, bilinear interpolation, bicubic interpolation. We consider our research methodology, and then we tell about result of algorithms comparison. We use two criteria: quality of output images and performance of algorithms. Due to this research we can tell some recommendations on the choice of algorithms for increment of raster images. It is useful because there is no single universal algorithm for efficient solution to the problem.

**Keywords:** *raster graphics, image scaling, bilinear interpolation, bicubic interpolation.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-92-98

### References

1. Gonzalez R., Woods R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing]. Moscow, Publishing house «Technosphere», 2005. 1072 p.
2. Petrovichev E.I. *Kompyuternaya grafika* [Computer Graphics]. Moscow, Moscow State Mining University, 2003. 200 p.
3. Gulakov V.K., Ogurtsov S.N., Trubakov A.O. Segmentation of the landscape images. *Information technology*, 2013, No.1, pp. 40-45.
4. Gulakov V.K., Trubakov A.O. An Efficient algorithm to convert full color images to palette for search engines content. *Information technology*, 2011, No.8, pp. 22-28.

### Authors' information

Andrey O. Trubakov - Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department "Computer Science and Engineering" at Bryansk State Technical University, *trubakovao@mail.ru*.

Marina O. Seleykovich - undergraduate of the faculty "Computer Science and Engineering" at Bryansk State Technical University, *circus8girl@yandex.ru*.

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 656.073

## К ВОПРОСУ О СХЕМЕ РАЗМЕЩЕНИЯ СТЕЛЛАЖЕЙ НА СКЛАДЕ

Илесалиев Д.И.

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Узбекистан

Показано влияние размещения стеллажей на складах на сокращение эксплуатационных затрат. Методы исследования базируются на анализе существующих способов проектирования склада тарно-штучных грузов. Предлагается радикальное изменение схем размещения стеллажей на складе с «евклидовым преимуществом».

**Ключевые слова:** склад, участок хранения, тарно-штучный груз, погрузчик, погрузочно-разгрузочный участок, поддон.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-99-106

**Введение.** Склады играют большую роль в сетях доставки грузов от мест производства до конечных потребителей, являясь системообразующими элементами этих сетей [5, 6, 8, 18]. При проектировании участка хранения складов одним из основных вопросов является обоснованный выбор величины вместимости склада, поскольку от этого зависят все остальные технические решения [7, 9, 11-13, 15-17, 19, 21, 22]. При проектировании зоны хранения нужно выбрать рациональный способ складирования грузов, тип и параметры стеллажного оборудования. При этом рациональный способ складирования – такой, при котором обеспечивается наиболее полное заполнение зоны хранения и минимальное перемещения груза [1-4, 10, 14, 20, 23-26].

**1. Перемещения погрузчиков.** Склады не единственные места, где осуществляется движение материальных потоков. Например, дорожная сеть города и городской транспорт формируется как единая система. Её структура определяется размерами города, а задача исходит из необходимости установления взаимосвязей между различными частями города. Решения этих задач направлены на обеспечение наименьших затрат времени на доступность мест отдыха, общественных центров и других основных мест тяготения. Установление кратчайшей связи между ними – главная цель градостроения. Оценка решений по степени взаимосогласованности планировочной и транспортной составляющих ведется на основе системы критериев – показателей затрат времени на передвижения, средней длины поездки и др.

Важной характеристикой формирования дорожной сети является схема её структурного строения. Разновидности таких схем можно свести к прямоугольной (рис. 1, а) и радиальной (рис. 1, б) структуре.

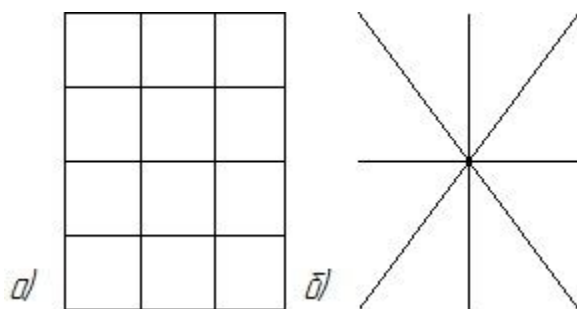


Рис. 1. Схема построения уличных сетей: а – прямоугольная; б - радиальная

Прямоугольную структуру иногда называют расстоянием городских кварталов, манхэттенским расстоянием или метрикой прямоугольного города. В процессе развития городов и улучшений условий функционирования каждой из схем нередко происходит путём включения в её транспортную структуру элементов других схем. Так, прямоугольные схемы получают диагональные направления, что позволит сокращать среднюю дальность передвижений за счет «евклидова преимущества» (рис. 2).



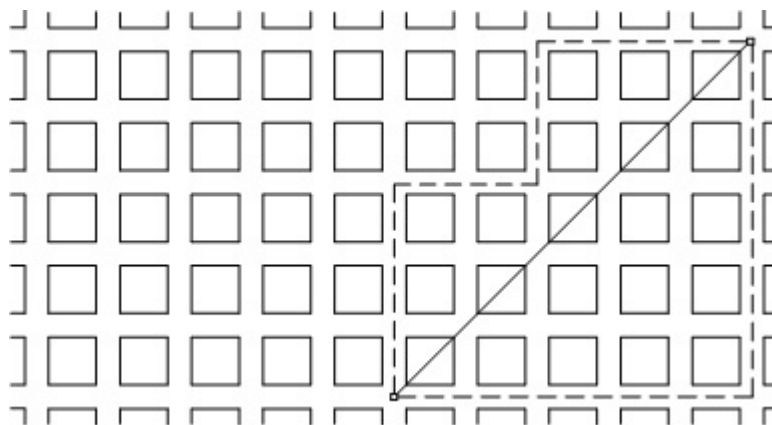


Рис. 2. Пример прямоугольной схемы с диагональными направлениями

В метрике городских кварталов длины пунктирных линий  $L$  равны между собой. В геометрии Евклида сплошная линия имеет длину  $L/\sqrt{2}$  и представляет собой единственный кратчайший путь.

Расстояние на складе  $d_i$ , проходимое погрузчиком от погрузочно-разгрузочного участка до мест хранения тарно-штучного груза, можно определить по формуле Г. Минковского:

$$d_i = \left[ \sum_{k=1}^n |x_k - y_k|^q \right]^{\frac{1}{q}}. \quad (1)$$

В вышеуказанное семейство расстояний входит:

- при  $q = 1$  – «манхэттенское расстояние»;
- при  $q = 2$  – расстояние Евклида.

Например, для евклидова расстояния формула выглядит следующим образом:

$$d_i(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (2)$$

Для манхэттенского расстояния расстояние определяется следующей формулой:

$$d_i(x, y) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k| = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|. \quad (3)$$

**2. Размещение стеллажей и проходов.** Как правило, стеллажи и проходы в складах тарно-штучных грузов расположены перпендикулярно друг другу, как показано на рис. 3.

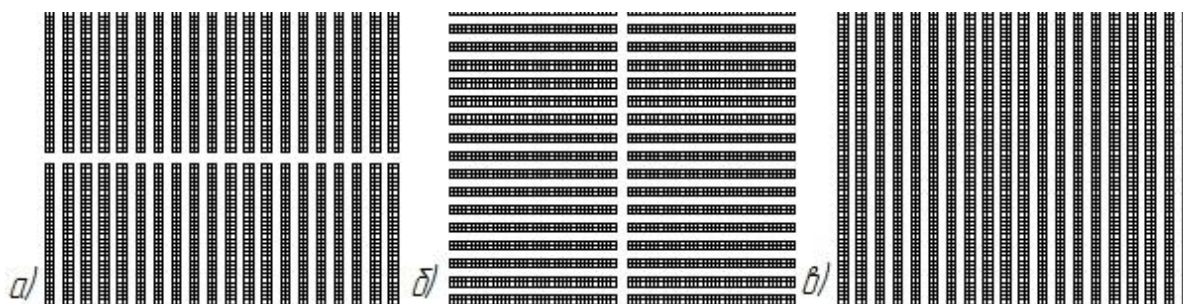


Рис. 3. Традиционные склады, оборудованные каркасными стеллажами

Традиционное расположение стеллажей имеет свои достоинства в численности мест, предназначенных для хранения грузов, но также имеет и недостатки вследствие увеличения эксплуатационных расходов, связанных с расстоянием передвижения погрузочно-разгрузочных машин от мест погрузки и разгрузки до мест хранения. В литературе отсутствует обос-

нование того, что именно такой подход расположения стеллажей и проходов является эффективным для зоны хранения склада.

Прямоугольные схемы можно совершенствовать путём включения элементов других схем. Значительный эффект повышения эффективности работы может быть получен радикальным изменением схемы расположения, которое было предложено в [23-26]. *V*-образная схема размещения проходов имеет изогнутый поперечный проход, который позволяет уменьшить расстояние, проходимое за полный цикл подъёмно-транспортного оборудования от мест погрузочно-разгрузочного участка до мест хранения грузов за счёт «евклидова преимущества» (рис. 4, а). Одним из недостатков такой схемы является то, что подъёмно-транспортному оборудованию необходимо с крутым углом поворота разворачиваться при входе в нижнюю часть склада. Для устранения этого недостатка стоит развернуть нижнюю часть поперечно относительно основной части склада (рис. 4, б). Тем самым можно создать благоприятные условия для разворота при перемещении погрузчика до мест хранения тарно-штучных грузов.

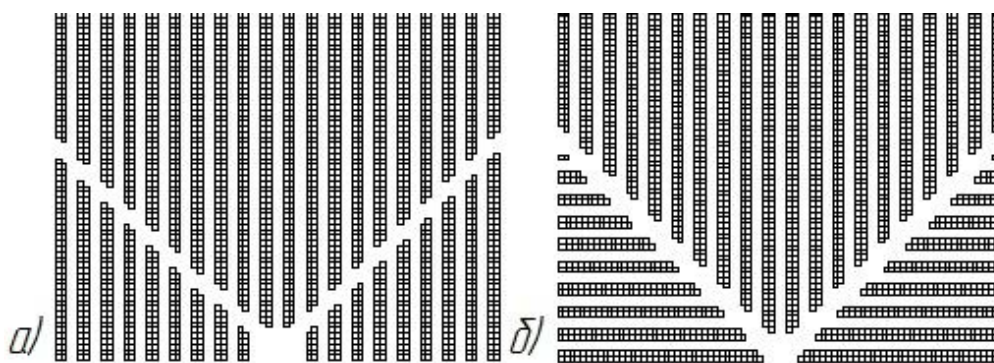


Рис. 4. Схемы расположения проходов среди стеллажей: а - *V*-образная; б - ёлочная

Создающие предпосылки для определенного выравнивания распределения передвижения грузопотоков в зоне хранения склада можно модифицировать предложенные схемы, как, например, на рис. 5 и 6.

Во всех приведенных схемах есть свои недостатки, но общий их недостаток - это сокращение вместимости зоны хранения склада.

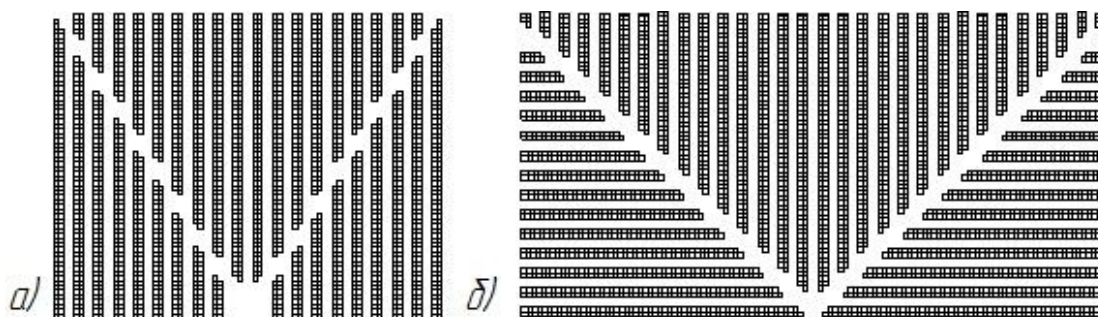


Рис. 5. II вариант схем расположения проходов среди стеллажей:  
а - *V*-образная; б - ёлочная.

Процент сокращения полного цикла пробега погрузчика от мест погрузки и разгрузки до мест основного хранения и обратно можно определить по формуле

$$D = 2 \sum_{i=1}^{i=N} d_i p_i, \quad (4)$$

где  $N$  – количество мест, выделенных из общей ёмкости  $R$  хранения;  $d_i$  – расстояние, проходимое погрузчиком от мест погрузки-разгрузки до мест хранения;  $p_i$  – вероятность обслуживания погрузчиком конкретного места хранения тарно-штучного груза.

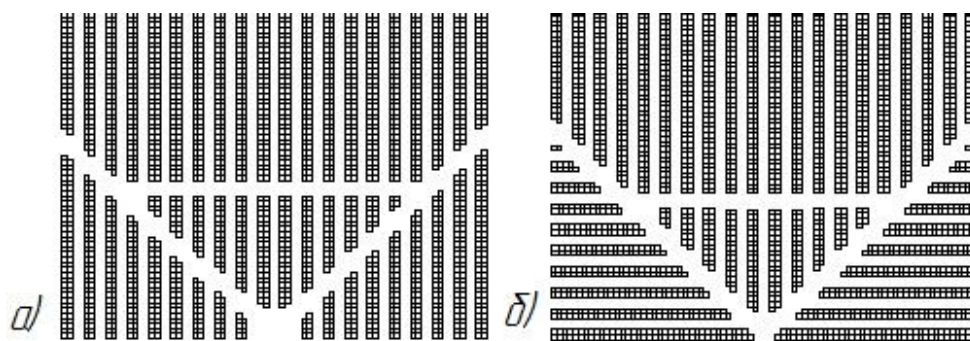


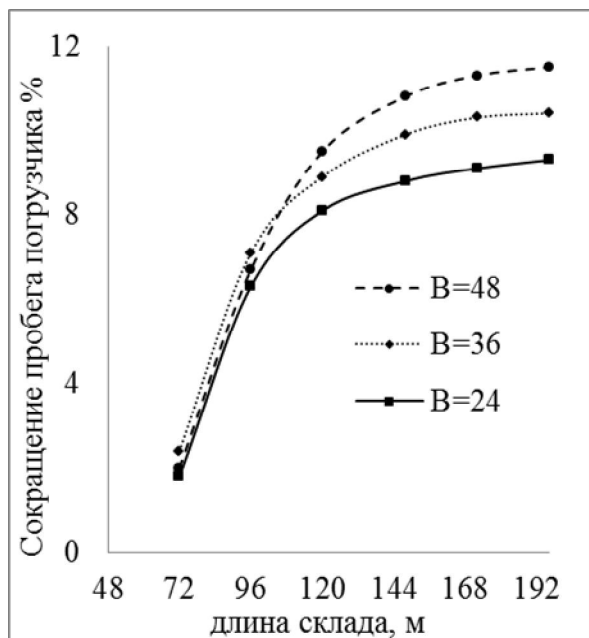
Рис. 6. III вариант схем расположения проходов среди стеллажей:

а - V-образная; б - ёлочная.

Во всех схемах есть свои недостатки, но общий недостаток это сокращение вместимости зоны хранения склада.

Результаты исследования сокращения пробега погрузчика приведены на рис. 7.

а)



б)

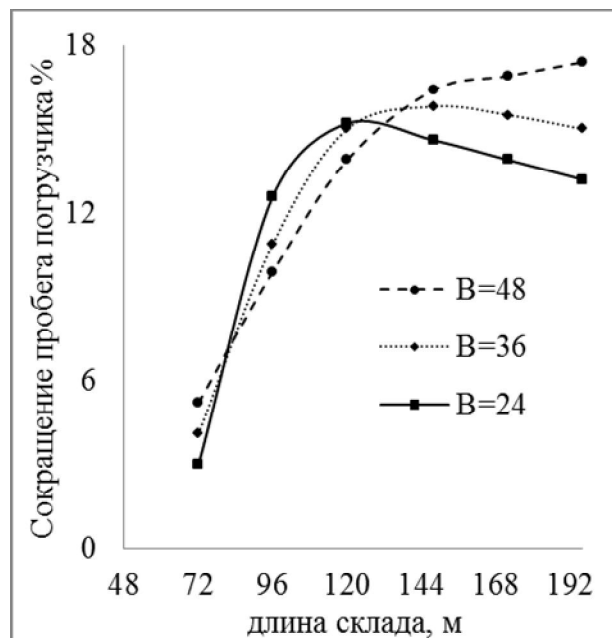


Рис. 7. Процент сокращения пробега погрузчика для склада:

а - с V-образным расположением прохода; б - с ёлочным расположением стеллажей

Процент сокращения пробега погрузчика для схем типа V-образного расположения проходов достигает 10...12%, а ёлочный тип дополнительно приносит до 18% сокращения пробега погрузчика.

Проектирование склада является сложной задачей и не всегда может разрабатываться по типовому проекту. Предложенные варианты кардинального изменения зоны хранения склада имеют свои положительные и отрицательные стороны и в дальнейших исследованиях в этом направлении необходимо:

- произвести технико-экономические расчёты для перевалочного склада со сроком хранения от 2-5 дней;

- произвести технико-экономические расчёты для складов промышленных или торговых предприятий со сроком хранения от 10 до 15 суток, где основной доход приносит ёмкость хранения грузов и поэтому предложенные схемы могут быть убыточны.

- проанализировать работу склада при двойной операции (размещение груза в стеллажи по прибытию и извлечение для дальнейшего отправления);
- обосновать взаимосвязи между параметрами склада в виде математических моделей;
- разработать методику выбора схемы размещения стеллажей и проходов;
- разработать параметрический ряд перевалочных складов для предлагаемых вариантов схем размещения стеллажей и проходов.

### Список литературы

1. Григоренко, В.М. Доменный метод размещения штучных грузов в современных складах / В.М. Григоренко // Вестник ИНЖЭКОН. Серия: Экономика. – 2010. – №. 4. – С.21-33.
2. Григоренко, В.М. Оптимизация размещения штучных грузов в складах стеллажного хранения по «методу Griko» / В.М. Григоренко // Логистика: современные тенденции развития: материалы XIV Междунар. науч.-прак. конф., 9-10 апреля 2015 г. / отв. ред. В.С. Лукинский. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 132-133.
3. Илесалиев, Д.И. Влияние расположения проходов между стеллажами на показатели работы склада водного транспорта / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 6 (34). – С. 52-59.
4. Илесалиев, Д.И. Использование различных схем расположения проходов склада тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Логистика: современные тенденции развития: материалы XIV Междунар. науч.-прак. конф., 9-10 апреля 2015 г. / отв. ред. В.С. Лукинский. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 174-176.
5. Илесалиев, Д.И. Обоснование проекта сети терминалов тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технических вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 4 – С. 110-117.
6. Коровяковская, Ю.В. Складские комплексы как элементы логистической цепи / Ю.В. Коровяковская, О.Б. Маликов // Вестник инженеров электромехаников железнодорожного транспорта. – 2003. - № 3. – С. 222–224.
7. Коровяковская, Ю.В. Вместимость и перерабатывающая способность складов штучных грузов на железнодорожном транспорте: дисс. канд. техн. наук: 05.22.08 / Коровяковская Юлия Владимировна. – СПб, 2004. – 165 с.
8. Коровяковский, Е.К. Моделирование работы склада в цепи поставок / Е.К. Коровяковский, Ю.Н. Панова // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности и на транспорте. – 2013. – С. 416-427.
9. Кузнецов, А.Л. Расчёт вместимости портового склада с учётом неравномерности работы смежного транспорта / А.Л. Кузнецов, В.А. Погодин, Я.Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – № 4. – С. 3-9.
10. Куспеков, К.А. Моделирование маршрута перемещения штучных грузов в автоматизированных складах кратчайшими связывающими линиями / К.А. Куспеков // Вестник Сибирского государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 6(28). – С. 106-108.
11. Лобанов, Н.Б. Методика расчёта потребности в складских площадях / Н.Б. Лобанов // Транспорт Российской Федерации. – 2007. – № 1(54). – С. 6-9.
12. Маликов, О.Б. Электропогрузчики. Расчёт ширины рабочего коридора / О.Б. Маликов // Логистика. – 2015. – № 2(99). – С. 28-31.
13. Маликов, О.Б., О комплексном проектировании складов / О.Б. Маликов // Логистика. – 2014. – № 2 (87). – С. 20-22.
14. Мамед-Заде, Н.А. Оптимальное размещения товарных позиций на складе / Н.А. Мамед-Заде // Интегрированная логистика. – 2011. – № 3. – С. 16-21.
15. Пилипчук, С.Ф. О проектировании склада штучных грузов / С.Ф. Пилипчук, А.Е. Радаев // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – № 4. – С. 21-33.

16. Пилипчук, С.Ф. Определение потребной вместимости склада / С.Ф. Пилипчук, А.Е. Радаев // *Логистика и управление цепями поставок*. – 2012. – № 5 (52). – С. 19-25.
17. Прокофьева, О.С. Особенности проектирования современного складского комплекса // О.С. Прокофьева, Д.С. Фадеев, С.Л. Чикалина // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2013. – № 8(79). – С.126-130.
18. Резер, С.М. Склады и логистические центры для тарно-упаковочных грузов за рубежом / С.М. Резер, В.И. Тиверовский // *Вестник транспорта*, 2006. – № 5. – С.17-21.
19. Терентьев, П.А. Метод эскизного проектирования складских комплексов / П.А. Терентьев // *Логистика*. – 2011. – № 8(61). – С. 14-17.
20. Толмачев, К.С. Повышение эффективности автоматизированной сортировки на складе // *Логистика*. – 2014. – № 8 (93). – С. 30-34.
21. Ширяев, С.А. Алгоритм проектирования рациональных зон хранения товаров на складе по их дополнительным параметрам / С.А. Ширяев, В.В. Горина, С.А. Кашеев // *Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт*. – 2015. – № 4(162). – С. 98-100.
22. Ширяев, С.А. Совершенствование организации зон хранения индивидуальных заказов керамической плитки / С.А. Ширяев, В.В. Горина, С.А. Кашеев // *Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт*. – 2014. – № 19(146). – С. 86-88.
23. Gue, K.R. Aisle Configurations for Unit-Load Warehouses / K.R. Gue, R.D. Meller // *IIE Transactions*. – 2009. № 3. – P. 171-182.
24. Gue, K.R. A unit-load warehouse with multiple pickup and deposit points and nontraditional aisles / K.R. Gue, G. Ivanovic, R.D. Meller // *Transportation Research Part E*. – 2012. – №48. – P. 795-806.
25. Ozturkoglu, O. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations / O. Ozturkoglu, K.R. Gue, R.D. Meller // *IIE Transactions*. – 2012. - № 44. – С. 459-475.
26. Pohl, L.M. Optimizaing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse / L.M. Pohl, R.D. Meller, K.R. Gue // *Naval Research Logistics*. – 2009. - №56. – P. 389-403.

#### **Сведения об авторе**

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Транспортная логистика и сервис» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, *ilesaliev@mail.ru*.

## **TO THE QUESTION ABOUT THE LAYOUT OF THE RACKS IN THE WAREHOUSE**

Ilesaliev D.I.

Tashkent institute of railway engineering, Tashkent, Uzbekistan

Warehouses, which are located at points of transshipment of cargo from one type of transport on the other, play a significant role in the transformation of cargo to further the most effective transportation of goods. The location of racks and longitudinal passages are important in the work of transshipment warehouse. Typically, racks and longitudinal passages are perpendicular to each other, the article proposes a radical change with the "euclidean advantage". This is another way of designing warehouses for efficiency overload packaged cargo in the supply chain. Purpose is to reduce the mileage for one cycle of the loader from loading and unloading areas to storage areas.

**Keywords:** *warehouse, storage place, unitized load, loader, loading and unloading phase, the parameters of the warehouse, pallet.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-99-106



## References

1. Grigorenko V.M. The blast furnace method of placement of piece goods in modern warehouses. *Vestnik INZHEHKON. Seriya: Ekonomika*, 2010, No.4, pp. 21-33.
2. Grigorenko V.M. Optimizing the placement of piece goods in warehouses for shelf storage "Method Griko». *Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya: Materialy XIV Mezhdunar. nauch.-prak. konf., 9-10 aprelya 2015 g.* Saint-Petersburg, GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2015, pp. 132-133.
3. Ilesaliev D.I, Korovyakovsky E.K. Influence of location aisle on the performance of the storage water transport. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2015, No. 6 (34), pp. 52-59.
4. Ilesaliev D.I. Using different layouts warehouse aisles unitized cargo. *Logistika: sovremennye tendencii razvitiya: Materialy XIV Mezhdunar. nauch.-prak. konf., 9-10 aprelya 2015 g.* Saint-Petersburg, GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2015, pp. 174-176.
5. Ilesaliev D.I. Justification of the project network terminal piece cargoes. *Nauchno-tekhnicheskikh vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 4, pp. 110-117.
6. Korovyakovsky Yu.V, Malikov O.B. Warehouse complexes as a supply chain elements. *Vestnik inzhenerov elektromekhanikov zheleznodorozhnogo transporta*, 2003, No. 1, pp. 222 - 224.
7. Korovyakovsky Yu.V. Vmestimost i pererabatyvayushchaya sposobnost skladov shtuchnykh gruzov na zheleznodorozhnom transporte: Cand. Diss. (Engineering). SPb, 2004. 165 p.
8. Korovyakovsky E.K, Panova Y.N. Simulation of the warehouse in the supply chain. *Analiz i prognozirovanie sistem upravleniya v promyshlennosti i na transporte*, 2013, pp. 416-427.
9. Kuznetsov A.L., Pogodin V.A., Spassky Ya.B. The calculation capacity of the port warehouse, taking into account the uneven operation of the adjacent vehicles. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 2010, No. 4, pp. 3-9.
10. Kuspekov K.A. Modeling Route move unit loads in automated warehouses shortest connecting lines. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii*, 2012, No. 6 (28), pp. 106-108.
11. Lobanov N.B. The methodology of calculation of the need for storage space. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2007, No. 1 (54), pp. 6-9.
12. Malikov O.B. Electric. Calculation of the working width of the corridor. *Logistika*, 2015, No. 2 (99), pp. 28-31.
13. Malikov O.B. On the comprehensive design warehouse. *Logistika*, 2014, No. 2 (87), pp. 20-22.
14. Mamed-Zade N.A. Optimal placement of headings in stock. *Integrirovannaya logistika*, 2011, No. 3, pp. 16-21.
15. Pilipchuk S.F., Radaev A.E. On the design of the warehouse unit loads. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*, 2010, No. 4, pp. 21-33.
16. Pilipchuk S.F., Radaev A.E. Determination of required storage capacity. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*, 2012, No. 5 (52), pp. 19-25.
17. Prokofeva O.S., Fadeev D.S., Chikalina S.L. Design features of a modern warehouse. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No. 8(79), pp. 126-130.
18. Reser S.M, Tiverovsky V.I. Warehouses and logistics centers for packaging packaged goods abroad. *Vestnik transporta*, 2006, No. 5, pp. 17-21.
19. Terentyev P.A. The method of conceptual design of warehouses. *Logistika*, 2011, No. 8 (61), pp. 14-17.
20. Tolmachev K.S. Improving the efficiency of the automated sorting of stock. *Logistika*, 2014, No. 8 (93), pp. 30-34.
21. Shiryayev S.A., Gorin V.V., Kashcheev S.A. Rational design algorithm zones of storage of goods in a warehouse for their advanced settings. *Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost i transport*, 2015, No. 4 (162), pp. 98-100.

22. Shiryayev S.A., Gorin V.V., Kashcheev S.A. Perfection of the organization of storage areas of individual orders of ceramic tiles. *Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost i transport*, 2014, No. 19 (146), pp. 86-88.

23. Gue K.R., Meller R.D. Aisle Configurations for Unit-Load Warehouses. *IIE Transactions*, 2009, No. 3, pp. 171-182.

24. Gue K.R., Ivanovic G., Meller R.D. A unit-load warehouse with multiple pickup and deposit points and nontraditional aisles. *Transportation Research. Part E*, 2012, No.48, pp. 795-806.

25. Ozturkoglu O., Gue K.R., Meller R.D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. *IIE Transactions*, 2012, No.44, pp. 459-475.

26. Pohl L.M., Meller R.D., Gue K.R. Optimizaing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse. *Naval Research Logistics*, 2009, No. 56, pp. 389-403.

#### **Author' information**

Daurenbek I. Ilesaliev – Ph.D. (Eng), Assistant Lecturer of Departament “Transport logistics and services” at Tashkent institute of railway engineering (Uzbekistan), [ilesaliev@mail.ru](mailto:ilesaliev@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 656.073

## К ВОПРОСУ О ПЕРЕГРУЗКЕ ГРУЗОВ НА ПРИГРАНИЧНЫХ СТАНЦИЯХ С РАЗНОЙ ШИРИНОЙ КОЛЕИ

Е.Г. Курилов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты сравнительного анализа различных технологий доставки сыпучих грузов. Предметом исследования является структура технологии доставки сыпучих грузов, целью - совершенствование технологической схемы доставки грузов в цепях поставок. Методы исследования базируются на анализе и обобщении существующих способов сбора исходных информации, методов её обработки в обосновании выбора наиболее рациональной технологии перевозок.

**Ключевые слова:** контейнер, сыпучий груз, тарно-штучный груз, транспортный пакет, мягкий контейнер «биг-бег», контейнерный вкладыш.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-107-111

Вопросам совершенствования системы доставки грузов посвящены работы [1-3, 5-7]. Однако в этих работах недостаточно рассматривались вопросы совершенствования технологической схемы доставки грузов перегружаемых на приграничных станциях с разной шириной колеи.

**Способы доставки сыпучих грузов.** За последнее время мягкие контейнеры вытесняют другие виды транспортных тар. Они являются универсальными и могут быть адаптированы под любое погрузочно-разгрузочное оборудование (рис. 1). Однако использование вкладышей для перевозки сыпучих грузов даёт существенное преимущество перед другими технологиями перевозок (рис. 2).

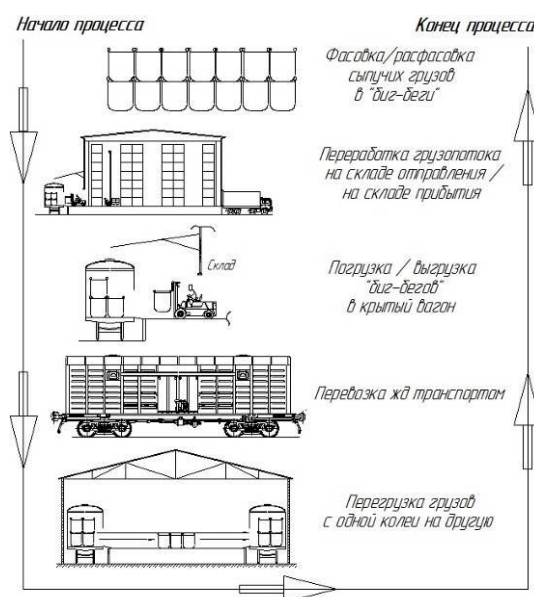


Рис. 1. Технологическая схема доставки сыпучих грузов в мягких контейнерах

Преимущества доставки сыпучих грузов в мешках поштучно (рис. 3) заключаются в следующем:

- не требуется дополнительных расходов на поддоны и другие средства пакетирования;
- обеспечивается более плотная погрузка;
- не требуется дополнительных расходов на крепление грузов;
- отсутствует необходимость в обмене и обратных перевозках.



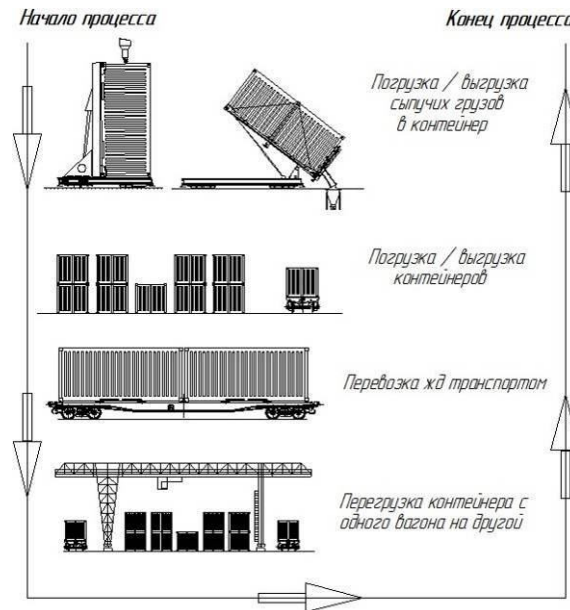


Рис. 2. Технологическая схема доставки сыпучих грузов в универсальных контейнерах с применением вкладышей.

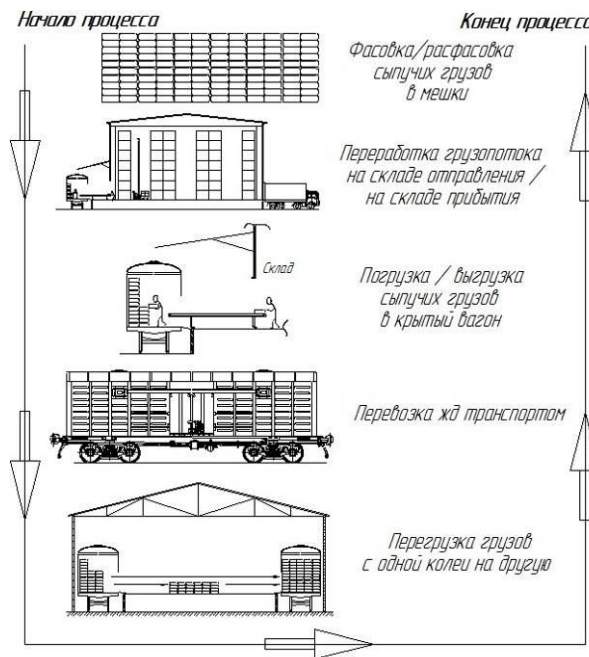


Рис. 3. Технологическая схема доставки сыпучих грузов в мешках поштучно

Преимущества доставки сыпучих грузов в мешках на поддонах, в пакетированном виде (рис. 4):

- повышается производительность погрузочно-разгрузочных машин;
- сокращаются трудозатраты на погрузочно-разгрузочные работы, а также численность работающих;
- сокращаются простои транспортных средств при выполнении погрузочно-разгрузочных операций;
- снижается себестоимость погрузочно-разгрузочных работ и доставки грузов в целом.

Преимущества доставки сыпучих грузов в мягких контейнерах (рис. 1) заключаются в следующем:

- невысокая стоимость при перегрузке и хранении;
- возможность многократного использования;

- эффективность перегрузочных работ;
- возможность хранения на открытых местах.

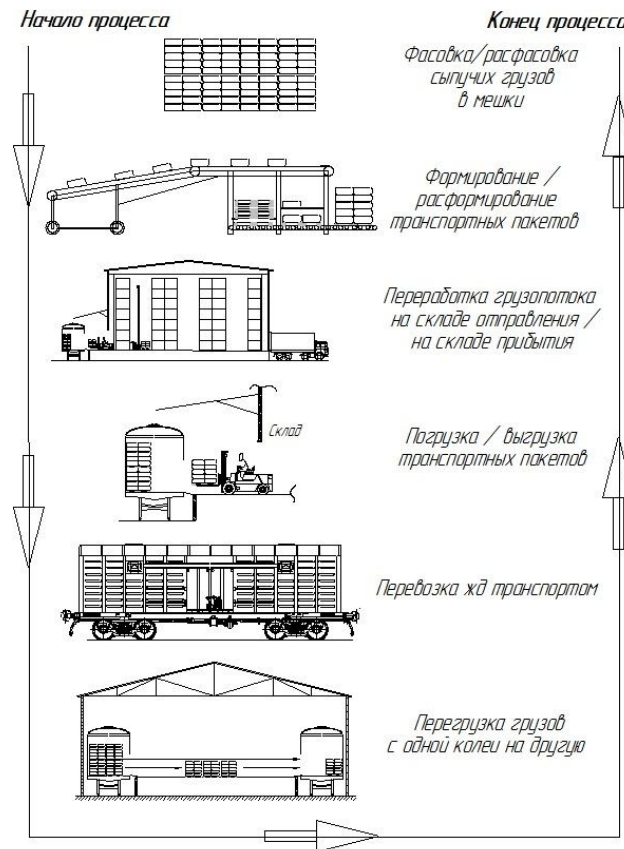


Рис. 4. Технологическая схема доставки сыпучих грузов в транспортных пакетах

Основными недостатками существующих способов доставки сыпучих грузов (рис. 1-3) является простой при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, а также дополнительное время, затрачиваемое на перегрузку грузов с одной колеи на другую, что серьезно осложняет доставку этих грузов в цепях поставок.

Преимущества доставки сыпучих грузов в универсальных контейнерах с применением контейнерных вкладышей (рис. 2):

- простые способы загрузки и выгрузки грузов из контейнеров при наличии необходимого погрузо-разгрузочного оборудования;
- временное хранение груза на всём пути следования;
- сокращение порожнего пробега контейнеров.

**Модель доставки с перевалками грузов с одной колеи на другую.** Необходимо составить план доставки грузов к потребителям, при этом, не нарушая ограничения на поставку. Обозначим через  $c_{ijpr}$  стоимость доставки между  $i$ -м складом отправления ( $i = \overline{1, m}$ ) и  $j$ -м складом назначения ( $j = \overline{1, n}$ );  $x_{ijpr}$  – план перевозок по маршруту  $(i, j)$ ;  $a_i$  – величина ресурсов у  $i$ -го склада отправления;  $b_j$  – величина заказа  $j$ -го склада назначения;  $r$  ( $r = \overline{1, R}$ ) – индекс вида груза;  $p$  ( $p = \overline{1, P}$ ) – индекс перевалочного пункта.

Введя неизвестную величину  $x_{ijpr}$  – объём перевозок  $r$ -го вида сыпучего груза из  $i$ -го склада отправления в  $j$ -й склад назначения через  $p$ -й пункт перевалки с одной колеи на другую, получим модель:

$$\min : z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R c_{ijpr} x_{ijpr} ;$$

при ограничениях:

- по отправке грузов:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^P x_{ijpr} \leq a_{ir};$$

- по пропускным способностям  $f_{pr}$  пунктов перевалки:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijpr} \leq f_{pr};$$

по обеспечению потребителей:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{p=1}^P x_{ijpr} = b_{jr}, \quad x_{ijpr} \geq 0.$$

**Заключение.** На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Решив четырёх индексную транспортную задачу, получим рациональный план перевозок с указанием пункта перевалки. В стоимость  $c_{ijpr}$  входят затраты на доставку, затаривание и погрузочно-выгрузочные работы.
2. Использование универсальных контейнеров позволяет уйти от устаревших способов транспортировки сыпучих грузов в специализированном железнодорожном составе, который не отвечает принципам транспортной логистики.

#### Список литературы

1. Илесалиев, Д.И. Анализ существующих методов перегрузки тарно-штучных грузов на железнодорожном транспорте / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2015. – Вып. 1 (6). – С. 38-42.
2. Илесалиев, Д.И. Выбор наиболее рациональной технологии перегрузки тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Логистика: современные тенденции развития. Ч 2: Материалы XV Междунар. науч.-практич. конф. СПб, 7-8 апреля 2016 г. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2016. – С. 147-151.
3. Илесалиев, Д.И. Объёмы и направления тарно-штучных грузов в Республике Узбекистан / Д.И. Илесалиев // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: Сб. тр. LXXIV Всеросс. научно-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – С. 173-178.
4. Коровяковский, Е.К. Моделирование работы склада в цепи поставок / Е.К. Коровяковский, Ю.Н. Панова // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности и на транспорте. – 2013. – С. 416-427.
5. Курилов, Е.Г. Развитие приграничного терминала на международном транспортном коридоре / Е.Г. Курилов // Логистика: современные тенденции развития: Материалы XV Междунар. науч.-практич. конф. СПб, 7-8 апреля 2016 г. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2016. – С. 200-203.
6. Маликов, О.Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок / О.Б. Маликов. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 536 с.
7. Маликов, О.Б. Логистика пакетных перевозок штучных грузов / О.Б. Маликов, Е.К. Коровяковский, Д.И. Илесалиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 4 (41). – С. 51-57.

#### Сведение об авторе

Курилов Евгений Григорьевич – аспирант кафедры «Логистика и коммерческая работа» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», [delet\\_91@mail.ru](mailto:delet_91@mail.ru).

## THE ISSUE OF TRANSSHIPMENT IN BORDER STATION WITH DIFFERENT GAUGES

Kurilov Ye.G.

St. Petersburg State University of Railway Transport Emperor Alexander I,  
St. Petersburg, Russian Federation

This paper presents a comparison of technology delivery bulk cargo. The subject of study is the structure of the technology delivery bulk cargo. The aim of the study is to improve the technological scheme of delivery of cargo in the supply chain. Methods based on the analysis and synthesis of existing methods of collecting baseline information, methods of processing it in a substantiation of the choice of the most efficient transportation technologies.

**Keywords:** container, bulk cargo, of piece cargoes, a transport packet, soft container "Big Bag", a container liner.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-107-111

### References

1. Ilesaliev D.I., Korovyakovsky E.G. The analysis of existing methods of overload unitized cargo in railway transport. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossi*, 2015, No. 1, pp. 38-42.
2. Ilesaliev D.I. Choosing the most efficient technology overload unitized cargo [Vybor naibolee ratsionalnoy tekhnologii peregruzki tarno-shtuchnykh грузов]. *Sbornik materialov XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya"* (Proceedings of the 15 International Scientific and Practical Conference "Logistics: modern trends"). S. Petersburg, GUMRF behalf of Admiral S.O. Makarov, 2016, pp. 147-151.
3. Ilesaliev D.I. Volumes and directions of unitized cargo in Uzbekistan [Obyomy i napravleniya tarno-shtuchnykh грузов v Respublike Uzbekistan]. *Sbornik trudov LXXIV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Transport: problemy, idei, perspektivy"* (Proceedings of the 74 All-Russian Scientific and Practical Conference of students, graduate students and young scientists "Transport: Problems, ideas, perspectives"). S. Petersburg, PGUPS, 2014, pp. 173-178.
4. Korovyakovsky E.G., Panova U.N. Modeling of the warehouse in the supply chain. *Analiz i prognozirovaniye sistem upravleniya v promyshlennosti i na transporte*, 2013, pp. 416-427.
5. Kurilov E.G. The development of cross-border terminal at the international transport corridor [Razvitie prigranichnogo terminala na mezhdunarodnom transportnom koridore]. *Sbornik materialov XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya"* (Proceedings of the 15 International Scientific and Practical Conference "Logistics: modern trends"). S. Petersburg, GUMRF behalf of Admiral S.O. Makarov, 2016, pp. 200-203.
6. Malikov O.B. *Perevozki i skladirovaniye tovarov v tsepyakh postavok* [Transportation and storage of goods in the supply chain]. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2014. 536 p.
7. Malikov O.B., Korovyakovsky E.G., Ilesaliev D.I. Logistics transport packet unit loads. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2014, No. 4, pp. 51-57.

### Author' information

Yevgeniy G. Kurilov – graduate student of chair «Logistics and commercial work" at St. Petersburg State University of Railway Transport Emperor Alexander I, [delet\\_91@mail.ru](mailto:delet_91@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017



УДК 550.312, 550.8.02, 550.83.043

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

Эргашев С.Ф., Кулдашов О.Х.

Ташкентский университет информационных технологий  
Ферганский филиал, г. Фергана, Республика Узбекистан

В статье предложено устройство для геофизической разведки, приведена блок схема и временные диаграммы. Экспериментально установлено, что использование детонационных генераторов позволяет использовать более высокочастотные гармонические составляющие эхосигналов для определения объекта на глубине до 100 м.

**Ключевые слова:** геофизическая разведка, эхолокационная система, устройство, структурная схема, принцип работы, временная диаграмма, детонационный генератор, эхосигнал.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-112-117

Как известно, эхолокационные системы предназначены для обнаружения и первичной классификации объектов по их акустической жесткости и могут быть использованы для проведения геофизической разведки на малой глубине (до 100 м) [1-3].

Было предложено устройство, в котором содержится синхронизатор, соединенный с входом запуска индикатора, источник излучения и приемник излучения, к выходу которого подключен вход первого и второго фильтра. Выход второго фильтра соединен через первый усилитель-ограничитель и удвоитель частоты с первым входом фазового детектора. Его второй вход через второй усилитель-ограничитель соединен с выходом второго фильтра и индикатора. Вход соединяется с выходом фазового детектора и дополнительно введены пороговые устройства. Вход порогового устройства соединен с выходом приемника излучения. Последовательно соединенный триггер с раздельным запуском, измеритель временных интервалов и дополнительный индикатор запускают вход соединения с выходом синхронизатора. Первый вход триггера с раздельным запуском соединен с выходом порогового устройства, а второй - с выходом второго усилителя-ограничителя, причем по показанию индикатора судят о классификации искомого объекта. По показаниям дополнительного индикатора судят о глубине нахождения искомого объекта от поверхности земли. При этом источник излучения выполнен в виде детонационного генератора. Управляющие входы первого и второго электромагнитных клапанов подключены к выходу одновибратора. Вход первого электромагнитного клапана соединен с выходом источника кислорода, а вход второго электромагнитного клапана – с выходом источника газообразного углеводородного топлива. Выходы электромагнитных клапанов соединены с соответствующим входом смесителя углеводородовоздушной смеси детонационного генератора. Устройство зажигания детонационного генератора соединено через систему инициирования и генератора коротких импульсов с выходом одновибратора. Вход одновибратора соединен с выходом синхронизатора. Внутри смесителя углеводородовоздушной смеси детонационного генератора установлен охладитель, а камеры сгорания детонационного генератора снабжены охлаждающими радиаторами. Длина детонационной камеры определяется из условия

$$L_{\text{дк}} \leq \frac{V_{\text{д}}}{V_{\text{з}}} 2h_{\text{мин}},$$

где:  $h_{\text{мин}}$  - минимальная глубина искомого объекта;  $V_{\text{д}}$ ,  $V_{\text{з}}$  - скорость распространения детонационной волны и сейсмических волн в земле соответственно.

На рис. 1 показана структурная схема предложенного устройства, а на рис. 2 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип его работы.

Устройство для геофизической разведки содержит синхронизатор 1, соединенный со входом запуска источника излучения 2, первого 3 и второго 4 индикаторов, приемника излучения 5. К его выходу подключены пороговое устройство 6, первый 7 и второй 8 фильтры. Выход последнего соединен через первый усилитель-ограничитель 9 и удвоитель

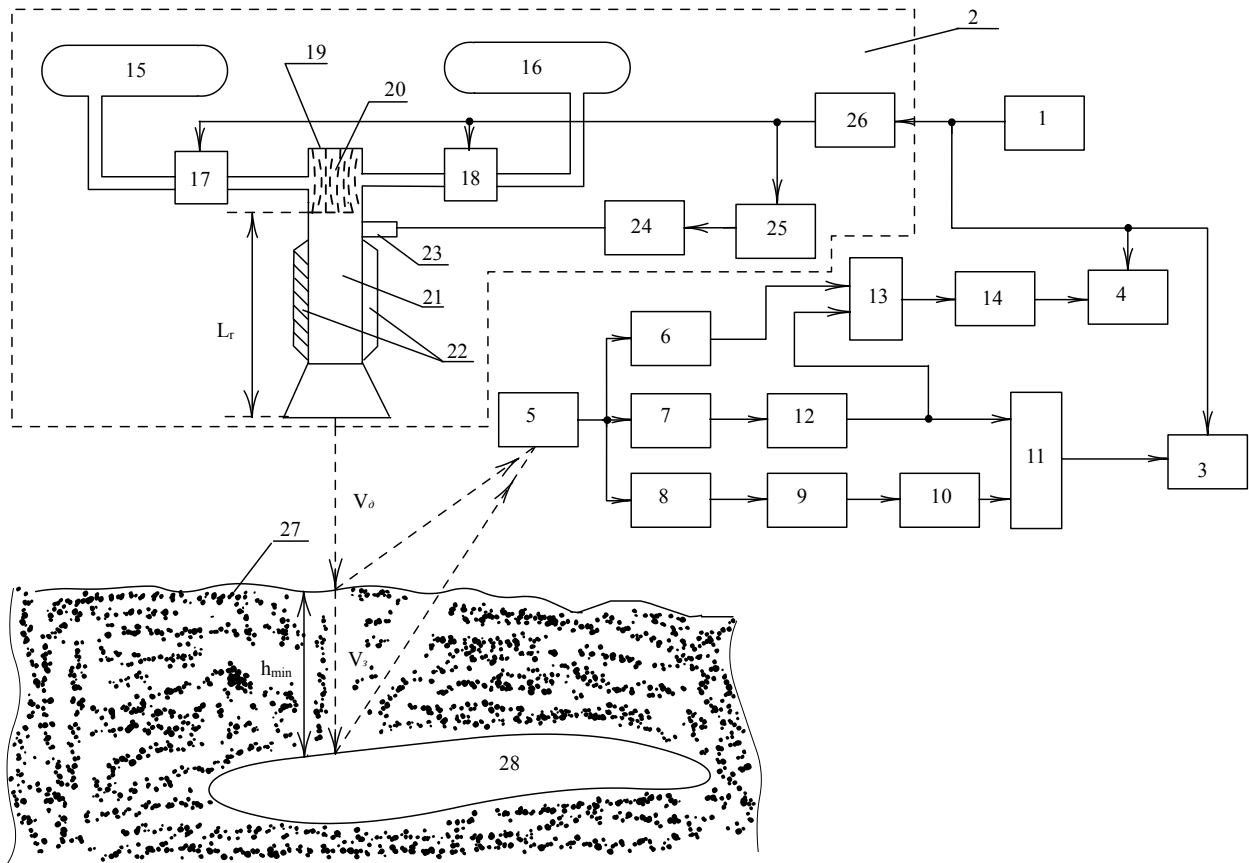


Рис.1. Структурная схема устройства

частоты 10 с первым входом фазового детектора 11. Второй вход фазового детектора 11 соединен через второй усилитель-ограничитель 12 с выходом первого фильтра, а выход - с входом первого индикатора 3. Выход порогового устройство 6 соединен с первым входом триггера раздельного запуска 13. Его второй вход соединен с выходом второго усилителя-ограничителя 12, а выход через измеритель временных интервалов 14 - с входом второго индикатора 4. Источник излучения 2 содержит источник кислорода 15 и источник газообразного углеводорода 16, которые через соответствующие электромагнитные клапаны 17 и 18 соединены с соответствующим входом смесителя углеводородовоздушной смеси 19. Он заполнен охладителем 20 и подключен к входу детонационной трубы 21, которая снабжена охлаждающим радиатором 22 и устройством зажигания 23. Вход устройства зажигания 23 через систему инициирования 24 и генератор коротких импульсов 25 соединен с выходом одновибратора, к которому подключены управляющие входы электромагнитных клапаны 17 и 18.

Устройство работает следующим образом. Синхронизатор 1 вырабатывает последовательность коротких прямоугольных импульсов с периодом повторения  $T > \frac{2h_{\max}}{c}$  ( $h_{\max}$  - максимальная глубина разведки;  $c$  - скорость распространение акустических волн в среде), которые воздействуют на запускающие входы источника акустического излучения 2, первого индикатора 3, второго индикатора 4 и измерителя временных интервалов 14.

В результате на первом 3, втором 4 индикаторах и измерителе временных интервалов 14 происходит сброс информации и подготовка к приему очередной информации. На выходе одновибратора 26 формируется прямоугольный импульс, который подается к запускающим входам генератора коротких импульсов 25, электромагнитного клапана газообразного углеводородного топлива 18 и электромагнитного клапана сжатого воздуха 17.

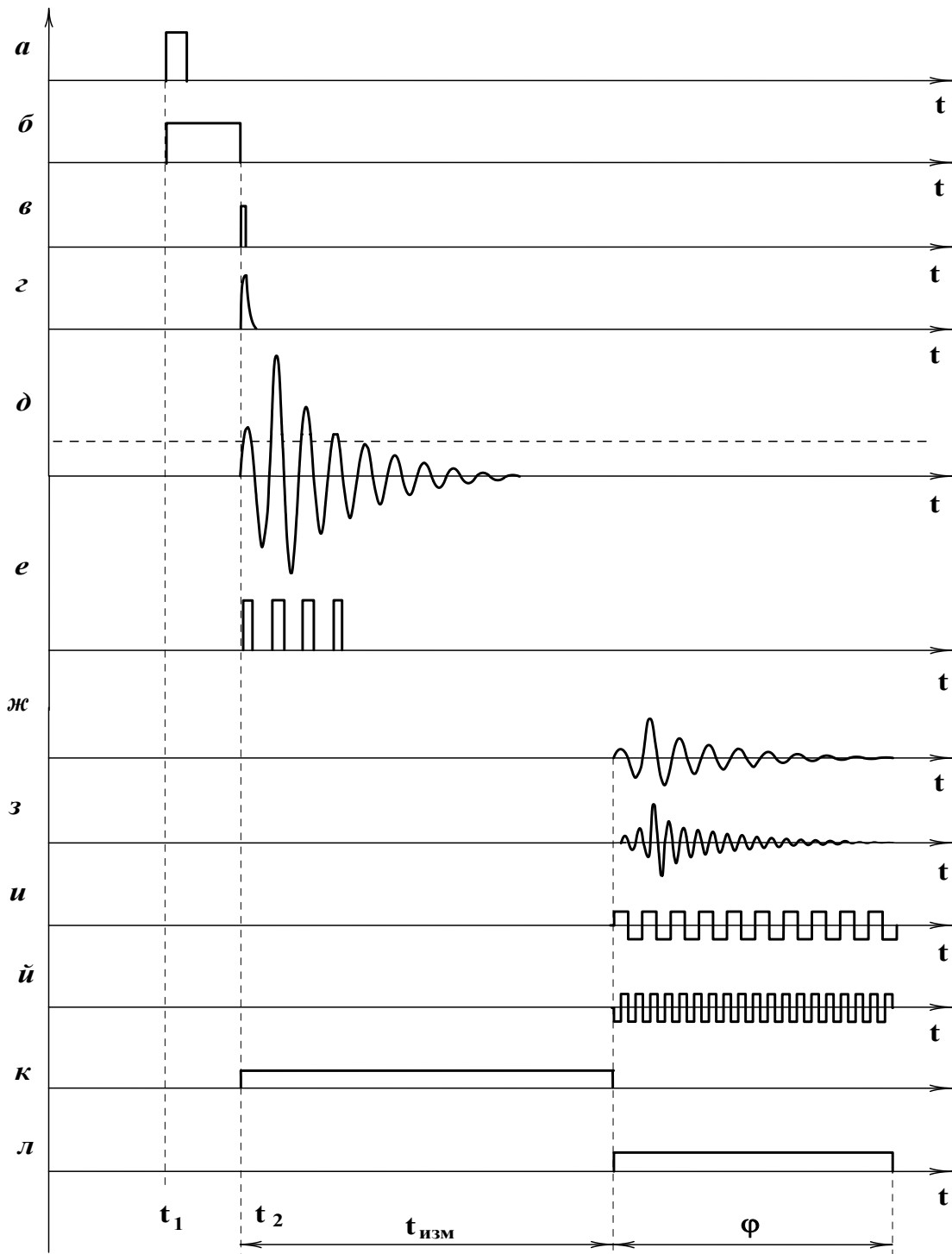


Рис. 2. Временные диаграммы устройства

Интервал времени открытого состояния электромагнитов 17 и 18 соответствует длительности прямоугольных импульсов, формируемых одновибратором 26, и является достаточным для полного заполнения углеводородовоздушной смесью камеры детонационного генератора 21. В конце выходного импульса одновибратора 26 на выходе генератора коротких импульсов 25 формируется короткий прямоугольный импульс (рис. 2, б - момент времени  $t_1$ ), который воздействует на вход системы иницирования 24.

В результате на выходе системы иницирования 24 формируется высоковольтный импульс напряжения, воздействующий на вход устройства зажигания 23. После чего из-за разгона фронта пламени внутри детонационного генератора 21 на его выходе формируется ударная волна.



При воздействии ударной волны на поверхности земли возбуждаются многочастотные гармонические затухающие сейсмические волны. Формы колебаний и частотный состав волн зависят от многих факторов, таких как характер импульса воздействия, поглощающие свойства среды, а также особенностей строения границ раздела на пути волны и т.п. В современной сейсморазведке, где используются мощные взрывные источники с длительностью импульса воздействия в несколько сотен миллисекунд, частотная полоса спектра возбуждаемых сейсмических волн составляет 1...200 Гц.

Известно, что частотная полоса спектра многочастотных затухающих сейсмических волн, возбуждаемых ударной волной, с увеличением длительности импульса воздействия сужается и, наоборот, с уменьшением - расширяется. Поэтому при использовании детонационных генераторов в качестве источника возбуждения частотная полоса возбуждаемых сейсмических волн расширяется в несколько раз, так как длительность импульса воздействия у детонационных генераторов в зависимости от длины детонационной трубы может составлять от нескольких десятков микросекунд до нескольких миллисекунд.

Сформированная гармоническая затухающая сейсмическая волна на поверхности земли имеет вид:

$$P(t) = P_1 e^{-\alpha_1 t} \sin(\omega_1 t) + P_2 e^{-\alpha_2 t} \sin(\omega_2 t) + \dots + P_n e^{-\alpha_n t} \sin(\omega_n t),$$

где:  $P_1, P_2, \dots, P_n$  - максимальные амплитуды гармонических составляющих на частотах  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  соответственно;  $\omega_1 = 2\pi f_1, \omega_2 = 2\pi f_2, \dots, \omega_n = 2\pi f_n$  - круговая частота;  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  - коэффициенты затухания среды соответствующих на частотах  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  соответственно;  $t$  - время.

Из теории дефектоскопии известно, что основная информация о характере искомого объекта содержится в фазовом сдвиге эхосигналов.

Поэтому сформированная волна, распространяясь вглубь земной коры, проходит расстояние  $h_{ц}$  и достигает поверхности искомого объекта. Затем она отражается от него, претерпевая изменение фазы каждой гармонической составляющей, проходит еще раз расстояние  $h_{ц}$  и достигает установленного на поверхности земли приемника излучений 5. При этом волна, воздействующая на приемник излучения имеет вид:

$$P_{\text{Э}}(t) = P_{\text{Э}1} e^{-\alpha_1 t} \sin[\omega_1(t - \tau_3) + \varphi_1] + P_{\text{Э}2} e^{-\alpha_2 t} \sin[\omega_2(t - \tau_3) + \varphi_2] + \dots + P_{\text{Э}n} e^{-\alpha_n t} \sin[\omega_n(t - \tau_3) + \varphi_n],$$

где  $P_{\text{Э}1}, P_{\text{Э}2}, \dots, P_{\text{Э}n}$  - максимальные амплитуды гармонических составляющих эхосигналов на частотах  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  соответственно;  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  - фазовые сдвиги эхосигналов на частотах  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  соответственно;  $\tau_3$  - время задержки соответствующих эхосигналов на расстоянии  $2h_{ц}$ .

Электрический сигнал, сформированный на выходе приемника излучения, имеет вид:

$$U(t) = U_{\text{Э}1} e^{-\alpha_1 t} \sin[\omega_1(t - \tau_3) + \varphi_1] + U_{\text{Э}2} e^{-\alpha_2 t} \sin[\omega_2(t - \tau_3) + \varphi_2] + \dots + U_{\text{Э}n} e^{-\alpha_n t} \sin[\omega_n(t - \tau_3) + \varphi_n]$$

где:  $U_{\text{Э}1}, U_{\text{Э}2}, \dots, U_{\text{Э}n}$  - максимальные амплитуды напряжений гармонических составляющих эхосигналов на частотах  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  соответственно.

Согласно теории акустических методов контроля, для оценки характера искомого объекта достаточно измерить фазовый сдвиг между двумя соседними гармоническими составляющими эхосигналов, различающимися по частоте. Выбор пары гармонических составляющих эхосигналов производится по их более интенсивным амплитудам, которые при использовании мощных взрывных источников соответствуют частотному диапазону 20...80 Гц. Экспериментально установлено, что при использовании имеющихся детонационных генераторов с длительностью импульса воздействия порядка одной миллисекунды диапазон частот на уровне 0,5 от максимальной амплитуды эхосигналов составляет 20...400 Гц. Это позволя-

ет использовать более высокочастотные гармонические составляющие эхосигналов для определения и классификации искомого объекта на глубине до 100 м.

Известно, что в фазометрии для измерения фазовых сдвигов между компонентами гармонических сигналов они приводятся к одной частоте путем умножения на их исходные частоты. Тогда фазовый сдвиг между выбранными гармоническими составляющими при кратности их частоты

$$\omega_m = k\omega_0, \omega_{(m+1)} = (k+1)\omega_0$$

и при их приведении к одной частоте, например  $\omega = k(k+1)\omega_0$  путем умножения частот  $\omega_1$  и  $\omega_{(m+1)}$  соответственно на  $(k+1)$  и  $k$ , позволяет определить разность фаз между гармоническими составляющими эхосигналов:

$$\psi = (k+1)\varphi_m - k\varphi_{(m+1)},$$

где:  $m = 1, 2, \dots$  - номер выбранной гармоники.

Когда частоты выбранных гармонических составляющих  $\omega_m$  и  $\omega_{(m+1)}$  близки, то можно принимать  $\varphi_m = \varphi_{(m+1)} = \varphi_{\Sigma}$ .

Поэтому разность фаз между гармоническими составляющими будет равна фазовому сдвигу эхосигнала  $\psi = \varphi_{\Sigma}$ .

### **Список литературы**

1. Данько, Д.А. Сравнение методов детерминистической акустической инверсии для выделения акустически контрастных объектов по сейсмическим данным / Д.А. Данько // Геофизика. - 2016. - № 1. - С. 2-11.
2. Белоусов, А.В. Итоги международной научно-практической конференции «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» / А.В. Белоусов, В.И. Костицын. // Геофизический вестник. - 2015. - № 6. - С. 9-12.
3. Карапетов, Г.А. Спектрально-голографический способ скоростного анализа / Г.А. Карапетов // Геофизика. - 2013. - №5. - С. 68-74.

### **Информация об авторах**

Эргашев Сирожидин Фаязович - доктор технических наук, профессор, зав. отделом НИС Ферганского политехнического института (г. Фергана, Республика Узбекистан), [fsirojdin@mail.ru](mailto:fsirojdin@mail.ru).

Кулдашов Оббозжон Хокимович - кандидат технических наук, доцент Ферганского филиала Ташкентского университета информационных технологий (г. Фергана, Республика Узбекистан), [kuldashov.abbos@mail.ru](mailto:kuldashov.abbos@mail.ru).

## DEVICE FOR GEOPHYSICAL EXPLORATION

Ergashev S.F., Kuldashov O.H.

Tashkent university of information technologies  
Fergana branch, Fergana c., Republic of Uzbekistan

In the article a device is offered for geophysical secret service, resulted block chart and temporal diagrams. It is experimentally set, the use of detonation generators allowed to use more high-frequency harmonic constituents of echosignals for determination of object on a depth a to 100 m.

**Keywords:** geophysical exploration, echolocation systems, device, flow diagram, principle of work, temporal diagram, detonation generator, echosignal.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-01-112-117

### References

1. Danko D.A. *Sravnienie metodov deterministicheskoy akusticheskoy inversii dlya vydeleniya akusticheskikh kontrastnykh obektov po seysmicheskim dannym* [Comparison of deterministic methods of acoustic inversion for the selection of acoustically contrast objects according to seismic data]. *Geofizika*, 2016, No.1, pp. 2-11.

2. Belousov A.V., Kostitsyn V.I. *Itogi mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki»* [The results of the international scientific-practical conference "Theory and practice of exploration and Geophysics"]. *Geofizicheskiy vestnik*, 2015, No.6, pp. 9-12.

3. Karapetov G.A. *Spektralno-golograficheskiy sposob skorostnogo analiza* [Spectral-holographic method velocity analysis]. *Geofizika*, 2013, No.5, pp. 68-74.

### Authors' information

Sirozhidin F. Ergashev – Doctor of Technical Sciences, Professor at Fergana Polytechnical Institute (Fergana c., Republic of Uzbekistan), [fsirojdin@mail.ru](mailto:fsirojdin@mail.ru).

Obbozzhon H. Kuldashov - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor at Tashkent university of information technologies, Fergana branch (Fergana c., Republic of Uzbekistan), [kuldashov.abbos@mail.ru](mailto:kuldashov.abbos@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2017





# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 165312

### ВЫНОСНАЯ ОПОРА ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

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

Автор(ы): *см. на обороте*


Заявка № 2016116467

Приоритет полезной модели 26 апреля 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 22 сентября 2016 г.

Срок действия патента истекает 26 апреля 2026 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **165 312** <sup>(13)</sup> **U1**  
 (51) МПК  
 B66C 23/64 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

<p>(21)(22) Заявка: 2016116467/11, 26.04.2016</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 26.04.2016</p> <p>Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 26.04.2016</p> <p>(45) Опубликовано: 10.10.2016 Бюл. № 28</p> <p>Адрес для переписки: 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14, Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского</p>	<p>(72) Автор(ы): Лагерев Игорь Александрович (RU), Ковальский Виктор Федорович (RU), Толкачев Евгений Николаевич (RU), Шатунова Елена Александровна (RU), Лагерев Александр Валерьевич (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского" (RU)</p>
---	--

**(54) ВЫНОСНАЯ ОПОРА ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ**

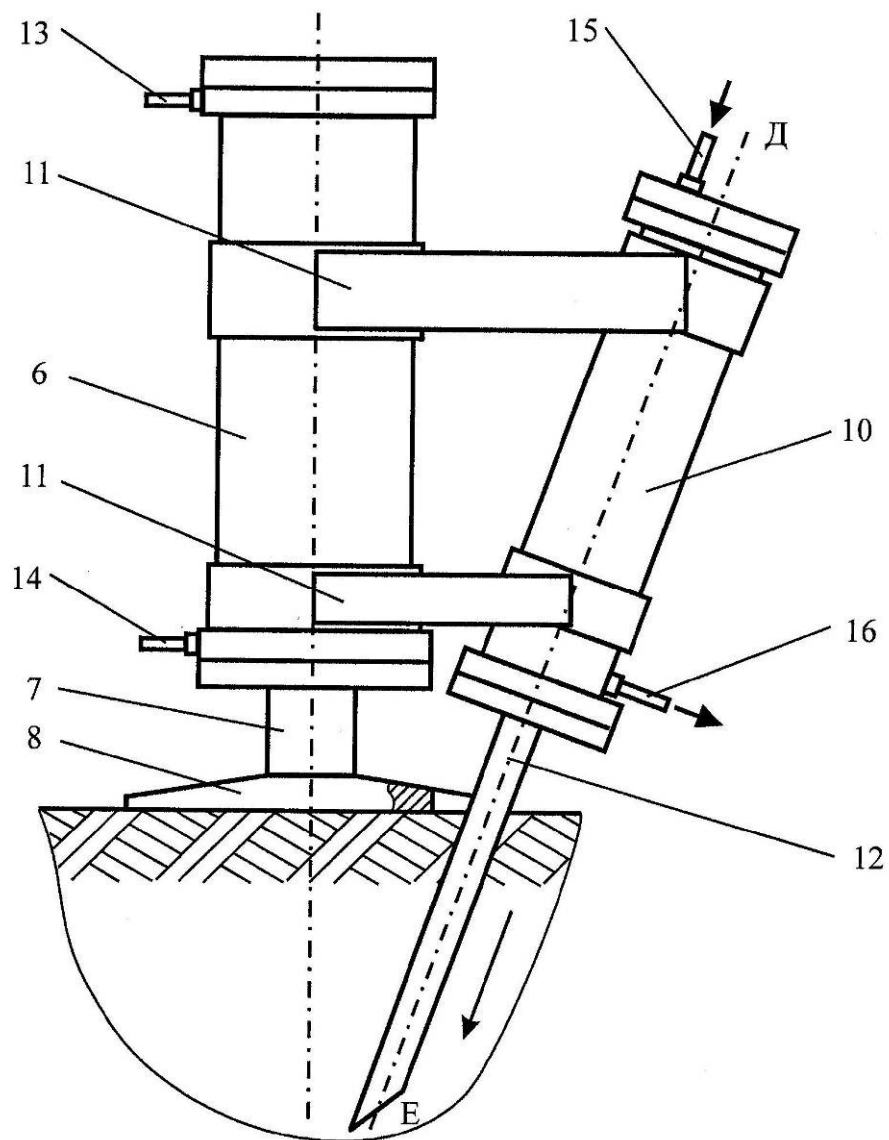
**(57) Формула полезной модели**

Выносная опора подъемно-транспортной машины, включающая смонтированный на раме машины кронштейн, снабженный подъемно-опускным с помощью приводного механизма опорным устройством для передачи на грунт нагрузки от машины и транспортируемого груза, и анкерное устройство для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвиговых эксплуатационных нагрузок, отличающаяся тем, что рабочий элемент анкерного устройства выполнен в виде плоского ножа с прямолинейной продольной осью, который для установки в свое рабочее положение совершает прокалывающее поступательное движение в грунте при помощи приводного гидроцилиндра, причем плоскость рабочего элемента наклонна по отношению к поверхности грунта, и в рабочем положении рабочий элемент находится под площадкой контакта опорного устройства с поверхностью грунта.

RU 165312 U1

RU 165312 U1

U 1



RU 165312 U 1

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

Сетевое издание  
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
Брянского государственного университета  
2017, № 1

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /  
НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**Учредитель:**

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

**Издатель:**

Редакционно-издательский отдел Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
выдано Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
Эл № ФС77-62798 от 18 августа 2015 г.**

**Главный редактор сетевого издания:**

доктор технических наук, профессор  
А.В. Лагереv

**Адрес учредителя:**

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет  
имени академика И.Г. Петровского»  
241036, Россия, Брянск, ул. Бежицкая, д. 14

**Адрес издателя и редакции:**

РИО ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет  
имени академика И.Г. Петровского»  
241036, Россия, Брянск, ул. Бежицкая, д. 20

Дата размещения сетевого издания в сети Интернет  
на официальном сайте <http://www.ntv-brgu.ru> 25.03.2017 г.