

ISSN 2413-9920



16+

Научно-технический вестник

БРЯНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Б Р Я Н С К

2015(1)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический
ВЕСТНИК
Брянского
государственного
университета**

**№ 1
2015**

**Химические науки
Технические науки
Науки о Земле**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 1 (2015). Брянск: РИО БГУ, 2015. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Председатель Редакционного совета:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Council Chairman:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© РИО БГУ, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово председателя Редакционного совета журнала, ректора Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского, доктора филологических наук, профессора, Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации <i>А.В. Антюхова</i>	7
--	---

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Белов С.П., Комлев И.В., Нифантьев Э.Е.</i> Тонкослойная хроматография красителей красного диапазона и полупродуктов	8
---	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

<i>Ерохин В.В., Камынин В.В.</i> Влияние процесса релаксации напряжений на параметры станочных и контрольных приспособлений	20
--	----

<i>Полянин М.П.</i> Обеспечение плотности стыка элементов корпуса муфты для ремонта подводных трубопроводов	25
--	----

Транспортное, горное и строительное машиностроение

<i>Бословяк П.В., Зуева Е.П.</i> Универсальная методика оптимального проектирования основных конструктивных узлов металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой	32
--	----

<i>Лагерев А.В., Лагерев И.А., Мильто А.А.</i> Моделирование динамики и прочности гидравлических крано-манипуляторных установок на подвижном шасси	43
---	----

<i>Лагерев И.А.</i> Анализ динамической нагруженности мостового крана общего назначения	49
--	----

<i>Толкачев Е.Н.</i> Анализ динамики подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом	55
---	----

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Долганова М.В.</i> Эколого-экономическая эффективность использования земли в сельском хозяйстве Брянской области в новых социально-экономических условиях	65
---	----

<i>Лазаренкова Е.В., Москаленко О.П.</i> Земельно-оценочное зонирование территории Выгоничского района Брянской области	70
--	----

**НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Лагерев А.В., Толкачев Е.Н., Гончаров К.А., Кулешов Д.Ю.

Патент RU № 153945 на полезную модель «Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой» 77

Лагерев А.В., Лагерев И.А.

Патент RU № 153946 на полезную модель «Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор» 79

CONTENT

Welcome address by the Chairman of the Editorial Board of the Journal, the Rector of the Bryansk State University named after academician I. G. Petrovsky, Doctor of Philological Sciences, Professor, Honored worker of Higher school of the Russian Federation <i>A.V. Antyukhov</i>	7
--	---

CHEMICAL SCIENCE

<i>Belov S.P., Komlev I.V., Nifant'ev E.E.</i> Thin-layer Chromatography of red dyes and intermediates	8
---	---

ENGINEERING SCIENCE

Machinery Building and Theoretical Engineering

<i>Erokhin V.V., Kamynin V.V.</i> The effect of stress relaxation on the parameters of machining and inspection tooling	20
--	----

<i>Polyanin M.P.</i> The joint disclosure of the elements of the clutch case for repair of underwater pipelines	25
--	----

Transport, Mining and Construction Machinery

<i>Boslovyak P.V., Zueva E.P.</i> Universal method for optimal design main structural assemblies of steel structures stationary conveyor with hanging ribbon	32
---	----

<i>Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A.</i> The study of dynamics and strength of hydraulic crane-manipulating installations on a movable chassis	43
--	----

<i>Lagerev I.A.</i> Overhead crane dynamics simulation	49
---	----

<i>Tolkachev E.N.</i> Analysis of the dynamics of suspensions of discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive	55
--	----

EARTH SCIENCE

<i>Dolganova M.V.</i> Ecological-economic efficiency of use of land in agriculture of the Bryansk region in the new socio-economic conditions	65
--	----

<i>Lazarenkova E.V., Moskalenko O.P.</i> Land-assed zoning Vygonichi district of the Bryansk region	70
--	----

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

<i>Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu.</i> Patent RU № 153945. Suspension drive belt conveyor with hanging ribbon	77
---	----

<i>Lagerev A.V., Lagerev I.A.</i> Patent RU № 153946. A hydraulic three-tier crane-manipulator	79
---	----

Уважаемые коллеги!

Перед Вами первый номер «Научно-технического вестника Брянского государственного университета» - теоретического и научно-практического электронного журнала, начало которому положено в октябре 2015 г. решением Ученого совета университета.

Символично, что выход в свет первого номера «Научно-технического вестника БГУ» совпало со знаменательным для нашего вуза событием – 85-летием со дня основания университета. Журнал станет первым на Брянщине научным сетевым изданием, представленным в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Сегодня университет является ведущим научно-образовательным центром Брянской области, в котором не только бережно хранятся лучшие традиции классического образования, но и внедряются самые современные образовательные, научные и издательские технологии. В ближайшие годы перед университетом будет стоять задача создания и развития системы электронного образования, важнейшей составляющей которой является электронная образовательная среда, насыщенная разнообразными информационными ресурсами. Создание журнала в формате сетевого электронного издания является одним из первых шагов в этом направлении.

В журнале будут представлены результаты научных исследований в традиционных для нашего университета направлениях – химических науках и науках о Земле. Однако в настоящее время в университете активно развиваются и новые научные направления, в частности, технические науки, которым посвящен один из разделов журнала. Общеизвестно, что в эпоху перехода к новому технологическому укладу именно за классическими университетами, способными проводить исследования на стыке технических и естественных наук (физики, математики, информатики, биотехнологии, химии и др.), будет решающее слово в создании эффективных инновационных технологий в различных отраслях знаний, промышленного производства, социально-экономической сферы.

Журнал задуман как источник информации о достижениях научных школ Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского, тем не менее его страницы открыты для актуальных и значимых публикаций коллег из других вузов, промышленных предприятий, научно-исследовательских и конструкторских организаций России, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Общие сведения об электронном журнале «Научно-технический вестник БГУ», содержание вышедших номеров и полнотекстовые варианты опубликованных статей можно будет найти на сайте журнала <http://www.ntv-brgu.ru>.

*Председатель Редакционного совета журнала,
ректор Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского,
доктор филологических наук, профессор,
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации* **А.В. Антюхов**

УДК 547.689:547'57:547.26'118:543.544:543.8

ТОНКОСЛОЙНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ КРАСИТЕЛЕЙ КРАСНОГО ДИАПАЗОНА И ПОЛУПРОДУКТОВ

С.П. Белов¹, И.В. Комлев², Э.Е. Нифантьев²

¹ - Брянский государственный университет имени акад. И.Г.Петровского

² - Московский педагогический государственный университет

Для тонкослойной хроматографии лазерных красителей и полупродуктов (кумарины, нафталимиды, бензантроны, феналеноны, производные γ -пирона) предложены бинарные гомогенные азеотропные смеси растворителей с диэлектрическими постоянными от 2,4 до 19,3 и точками кипения от 56,0 до 82,4°C. Для всех исследованных веществ получены хорошо воспроизводимые величины R_f .

Ключевые слова: хроматография, тонкослойная хроматография, лазерные красители, элюент

В настоящее время тонкослойная хроматография (ТСХ), благодаря простоте, гибкости, универсальности и высокой чувствительности, представляет собой обширную, хорошо разработанную область аналитической химии органических соединений [1, 2].

Метод ТСХ успешно применялся для анализа чистоты и идентификации флуоресцирующих красителей - оптических отбеливателей [3], органических люминофоров [4–6], красителей для квантовой электроники [7, 8].

Успешное использование метода ТСХ предопределяется правильно подобранным способом нанесения пробы, природой и избирательной способностью применяемого сорбента, полярностью мобильной фазы, регламентацией условий хроматографирования, которые обуславливают хорошую воспроизводимость величин хроматографической подвижности R_f изучаемых веществ.

С целью получения хорошо воспроизводимых величин хроматографического удерживания и значительного упрощения лабораторной техники ТСХ нами предлагается при хроматографировании некоторых типов лазерных красителей и полупродуктов использовать в качестве мобильной фазы двухкомпонентные гомогенные азеотропные смеси растворителей (АСР), для которых характерно равенство состава равновесных жидкой и паровой фаз в течение продолжительного времени в достаточных для эксперимента диапазонах давления и температуры.

Известно об использовании АСР различной полярности для аналитического разделения и идентификации жирорастворимых витаминов [10], хелатов металлов [11], некоторых типов фосфорорганических соединений [12].

В качестве объектов исследования в настоящей работе были избраны кумариновые красители (включая соединения с «жестко» закрепленным атомом азота), производные перинденонов – нафталимиды, бензантроны, феналеноны (в том числе фосфорсодержащие вещества), красители на основе γ -пирона (ДСМ и аналоги).

Эти соединения широко используются в качестве компонентов как лазерных активных сред [8, 13, 14], так и органических электролюминесцентных фотодиодов [15].

Хорошего разделения с использованием ТСХ обычно удается добиться с использованием двух- или трехкомпонентного элюента, состав которого, однако, значительно меняется вследствие испарения легколетучих ингредиентов, поэтому после 1-2 развитий хроматограмм систему приходится обновлять, даже в случае применения специальных кювет для сохранения атмосферы, насыщенной парами смешанного растворителя [9].

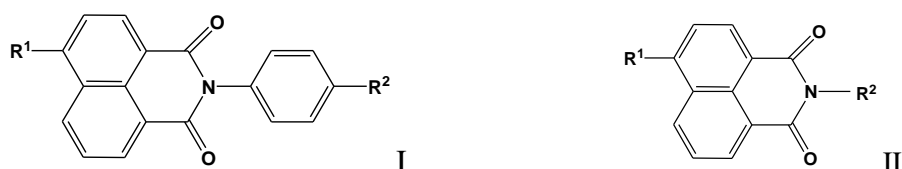
Присутствие примесей в люминесцентных красителях может вызывать тушение флуоресценции, увеличивать сечение самопоглощения, приводящее к снижению квантового выхода флуоресценции; для лазерных красителей это вызывает ухудшение генерационных характеристик [16]. В некоторых случаях примесные соединения обуславливают существенное ухудшение токсикологических параметров [17].

Вследствие этого разработка надежного экспрессного метода анализа чистоты органических люминесцентных красителей, особенно лазерных, является ответственной экспериментальной задачей, важной для практического использования.

Результаты ТСХ исследованных красителей и полупродуктов в нескольких АСР различной полярности, наиболее хорошо себя зарекомендовавших из числа предложенных нами, сведены в табл. 1-7 по группам соединений указанного строения.

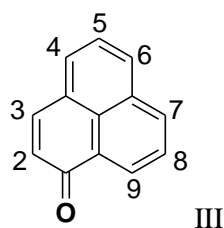
Таблица 1

Замещенные имидазы нафтоилена-1,8-дикарбоновой кислоты



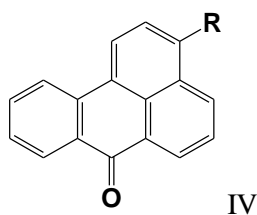
№	R ¹	R ²	R _f в системах			
			I	II	III	IV
Ia	NO ₂	H	0,48	0,76	0,25	0,88
Iб	NH ₂	H	0,53	0,66	0,20	0,71
Iв	NH ₂	CH ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂	0,60	0,75	0,23	0,80
Iг	NH ₂	C ₄ H ₉	0,59	0,74	0,23	0,79
Iд	NH ₂		0,58	0,60	0,17	0,72
Iе	NHCH ₂ CH(OH)CH ₂ Cl	H	0,53	0,72	0,22	0,91
Iж		H	0,40	0,42	0,10	0,84
Iз		H	0,50	0,65	0,17	0,88
Iи		H	0,48	0,81	0,15	0,93
Iк	-N=P(C ₆ H ₅) ₃	H	0,91	0,78	0,40	0,95
Iл	-N=P(C ₆ H ₅) ₃		0,95	0,87	0,50	0,95
Iм	-N=P(C ₆ H ₅) ₃	C ₄ H ₉	0,95	0,93	0,62	0,88
Iн	-N=P(C ₆ H ₅) ₃	CH ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂	0,95	0,93	0,62	0,88
IIа	NH(CH ₂) ₃ OCH ₃	(CH ₂) ₃ OCH ₃	0,91	0,95	0,49	0,67
IIб	NHC ₄ H ₉	C ₄ H ₉	0,25	0,26	0,69	0,66
IIв	NH ₂	NH ₂	0,50	0,33	0,13	0,80

Замещенные перинафтеноны (феналеноны)



№	Заместитель	Rf в системах				
		I	II	III	IV	V
IIIa	3-OCH ₃	0,33	0,40	0,14	0,89	0,78
IIIб	4-NO ₂	0,82	0,79	0,65	0,93	0,65
IIIв	4-NH ₂	0,39	0,29	0,12	0,83	0,65
IIIг	4-OH	0,55	0,61	0,17	0,86	0,65
IIIд	4-NO ₂	0,92	0,87	0,63	0,89	0,82
IIIе	6-NH ₂	0,37	0,46	0,10	0,76	0,53
IIIж	2-C ₆ H ₅ , 3-OCH ₃ , 7-N	0,78 (0,77)	0,88 (0,89)	0,59 (0,61)	0,90 (0,91)	0,88 (0,88)
IIIз	2-C ₆ H ₅ , 3-OCH ₃ , 6-N	0,80 (0,81)	0,86 (0,84)	0,56 (0,54)	0,88 (0,86)	0,87 (0,86)
IIIи	2-C ₆ H ₅ , 3-OCH(CH ₃) ₂ , 6-N	0,74	0,87	0,78	0,89	0,89
IIIк	2-C ₆ H ₅ , 3-OC ₁₆ H ₂₃ , 6-N	0,86	0,94	0,57	0,98	0,98
IIIл	6-N-CH ₂ -P(OC ₂ H ₅) ₂	0,38	0,30	0,10	0,80	0,81
IIIм	6-NH-C-P(OC ₂ H ₅) ₂	0,37	0,69	0,14	0,85	0,65
IIIн	6-N	0,79	0,85	0,60	0,86	0,84
IIIо	6-N=P(C ₆ H ₅) ₃	0,72	0,83	0,45	0,91	0,78

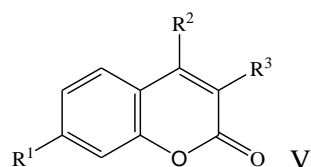
3-Замещенные бензантроны



№	Заместитель	R _f в системах				
		I	II	III	IV	V
IVa	H	0,98	0,95	0,76	0,87	0,65
IVб	F	0,90	0,95	0,70	0,91	
IVв	Br	0,98	0,95	0,83	0,87	0,64
IVг	OH	0,40	0,83	0,43	0,89	
IVд	NO ₂	0,98	0,95	0,78	0,83	0,76
IVе	NH ₂	0,61	0,81	0,55	0,82	0,68
IVж	NH(CH ₂) ₂ OH	0,44	0,63	0,22	0,88	0,81
IVз	NH(CH ₂) ₃ OH	0,25	0,55	0,10	0,85	0,61
Ив	NHCOCH ₃	0,42	0,65	0,17	0,86	0,80
Ик	OCH ₃	0,98	0,93	0,69	0,89	0,83
Ил		0,92	0,94	0,63	0,82	0,68
Им		0,23	0,61	0,14	0,85	0,55
Ин		0,95	0,95	0,76	0,88	0,65
Ио		0,89	0,93	0,68	0,95	
Ип		0,39	0,63	0,18	0,84	
Ир		0,86	0,95	0,70	0,91	
Ис		0,92	0,94	0,89	0,96	0,95
Ит	N=P(C ₆ H ₅) ₃	0,48	0,72	0,44	0,64	0,87

Таблица 4

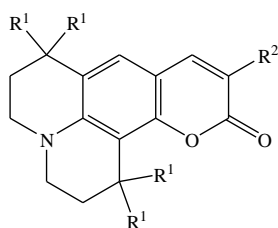
Кумариновые лазерные красители



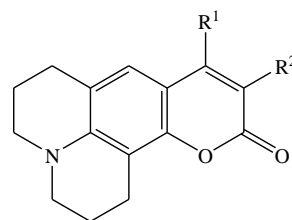
№	R ¹	R ²	R ³	R _f в системах			
				I	II	III	IV
Va	N(C ₂ H ₅) ₂	H	H	0,91	0,88	0,75	0,95
Vб	N(C ₂ H ₅) ₂	CH ₃	H	0,88	0,88	0,74	0,95
Vв	N(C ₂ H ₅) ₂	H		0,93	0,92	0,78	0,95
Vг	NH ₂	CH ₃	H	0,55	0,66	0,32	0,94
Vд	OH	CF ₃	H	0,52	0,80	0,50	0,94

Таблица 5

Хинолизинокумариновые лазерные красители



VI



VII

№	R ¹	R ²	R _f в системах			
			I	II	III	IV
VIa	H	COOC ₂ H ₅	0,58	0,91	0,52	0,93
VIб	CH ₃	COOC ₂ H ₅	0,72	0,93	0,63	0,95
VIa	H	COCH ₃	0,78	0,92	0,64	0,94
VIIб	H	H	0,83	0,95	0,64	0,95
VIIв	H	CHO	0,73	0,94	0,51	0,95
VIIг	H		0,36	0,17	0,05	0,14
VIIд	H	COOH	0,71	0,92	0,36	0,87
VIIе	H		0,83	0,98	0,74	0,95
VIIж	H		0,83	0,98	0,74	0,95
VIIз	CH ₃	CH ₂ CH ₂ Br	0,94	0,95	0,76	0,86

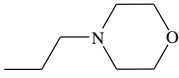
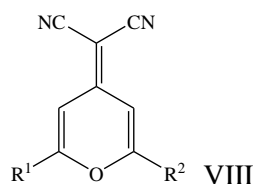
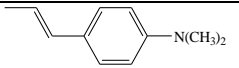
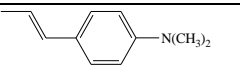
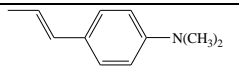
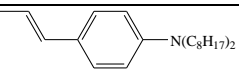
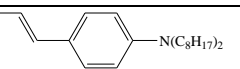
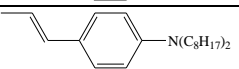
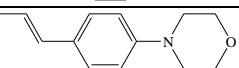
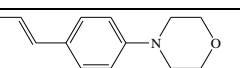
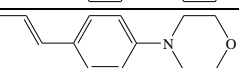
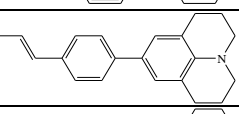
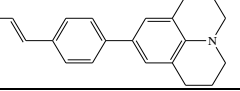
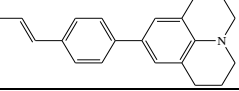
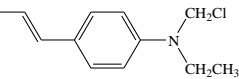

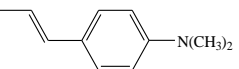
VIIи	CF ₃	CH ₂ CH ₂ Br	0,95	0,95	0,80	0,89
VIIк	CF ₃		0,48	0,44	0,29	0,70
VIIл	-CH ₂ CH ₂ CH ₂ -		0,85	0,94	0,72	0,74
VIIм	CF ₃	H	0,89	0,93	0,72	0,91
VIIн	C ₂ F ₅	H	0,90	0,94	0,74	0,95
VIIо	C ₄ F ₉	H	0,92	0,94	0,77	0,96

Таблица 6

Лазерные красители на основе γ-пирона (DCM и аналоги)



№	R ¹	R ²	R _f в системах			
			I	II	III	IV
VIII а	CH ₃		0,88 (0,87)	0,97 (0,95)	0,72 (0,75)	0,97 (0,95)
VIIIб			0,86 (0,72)	0,95 (0,87)	0,70 (0,62)	0,95 (0,93)
VIIIв	CH ₃		0,92 (0,90)	0,95 (0,90)	0,79 (0,80)	0,97 (0,95)
VIIIг			0,95 (0,95)	0,95 (0,87)	0,91 (0,90)	0,69 (0,70)
VIIIд	CH ₃		0,85 (0,83)	0,93 (0,91)	0,70 (0,71)	0,93 (0,92)
VIIIе			0,83 (0,78)	0,91 (0,87)	0,65 (0,62)	0,91 (0,87)
VIIIж	CH ₃		0,94 (0,93)	0,89 (0,88)	0,57 (0,58)	0,91 (0,90)
VIIIз			0,91 (0,87)	0,87 (0,83)	0,55 (0,51)	0,89 (0,85)
VIIIи	CH ₃	CH ₃	0,91	0,80	0,55	0,79
VIIIк	CH ₃		0,94	0,89	0,57	0,91
VIIIл			0,94	0,89	0,57	0,91

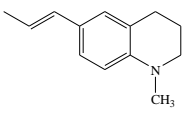
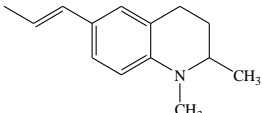
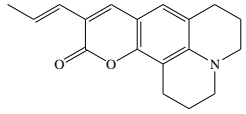
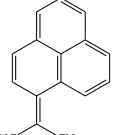
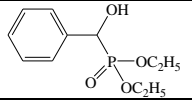
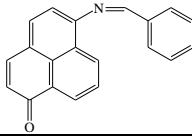
VIII _M	CH ₃		0,88	0,97	0,72	0,97
VIII _H	CH ₃		0,72	0,97	0,72	0,97
VIII _O	CH ₃		0,50	0,72	0,10	0,58

Таблица 7

Прочие дериваты и полупродукты

№	Соединение	R _f в системах				
		I	II	III	IV	V
IX		0,85	0,90	0,68	0,90	0,92
X		0,41	0,56	0,34	0,44	0,62
XI		0,81	0,93	0,74	0,95	0,93

Экспериментальная часть

АСР готовили смешением компонентов в определенной пропорции и последующей перегонкой с отбором фракции, обладающей температурой кипения, соответствующей описанной в [18]. Были отобраны следующие АСР (компоненты смеси, состав (вес. %), температура кипения, °С, диэлектрическая постоянная смеси (цитировано по [10]): хлороформ – этанол (92,0 : 8,0); 59,4; 6,1 (I); хлороформ - ацетон (87,5 : 12,5); 65,0; 9,3 (II); бензол - диоксан (12,0 : 88,0); 82,4; 2,4 (III); ацетон - четыреххлористый углерод (87,4 : 12,6); 56,0; 19,3 (IV); этанол - толуол (68,0 : 32,0); 62,7; 5,5 (V).

Вещества для ТСХ получены методами, описанными в литературе: Ia-e, IIa-в [19], IIIa-e [20], IIIж-к [21], IVб-г [22], IVж,з [23], IVл-р [24], IVс [25], VIa,б [26], VIIa-к [27], VIIIa-о [28], IX [29], X [30], XI [31]. Остальные соединения синтезированы стандартными методами или являются коммерческими препаратами. Краситель VIII_л любезно предоставлен к.х.н. А.П.Луговским (Белорусский государственный университет, г. Минск). Синтез фосфонометилированных и иминофосфорановых красителей приведен в [27]. Методика нанесения образцов на пластинку и обработка результатов ТСХ близки к описанным нами ранее в [32].

Хроматографирование проводили восходящим способом в стеклянных кюветах с притертой крышкой при комнатной температуре на пластинках «Силуфол» (15x15 см) производства фирмы Кавалир (Чехия).

Визуализация соединений легко происходит при облучении пластинок УФ-лампой, при этом наблюдаются интенсивно флуоресцирующие пятна от голубого до зеленого свечения (производные нафталимидов, кумаринов) или от оранжевого до красного (замещенные бензантроны, феналеноны, γ -пироны). Фосфорсодержащие красители, кроме того, могут быть обнаружены реактивом Васьковского [33], при этом производные фосфора (V) проявляются в виде синих или зеленоватых пятен на светло – коричневом фоне. Нефлуоресцирующие полупродукты четко обнаруживаются при экспозиции пластинок в камере с парами йода в течение 1 – 2 минут.

Результаты и их обсуждение

Удалось подобрать АСР для экспресс-анализа чистоты и идентификации методом ТСХ различных типов красителей для квантовой электроники – периинденонов (нафталимидов, феналенонов, бензантронов), кумаринов и хинолизинокумаринов, стирилпиранонов (ДСМ и аналогов), фосфорсодержащих генерирующих красителей с фосфонометильными и трифенилфосфазенильными группировками.

Установлены определенные закономерности ТСХ красителей, связанные со сложным многофакторным взаимодействием элюент – сорбент – адсорбированное вещество.

Так, в большинстве систем отмечены большие величины R_f для фосфонометилированных и фосфазосоединений по сравнению с исходными аминопроизводными (например, Iб и Iк, Iв и Iн, Iг и Iм, IIIе и IIIл,м,о).

Исключение составляют лишь хроматографические подвижности аминометилфосфонатов на основе нафталимидов с объемистыми неопентилгликолевыми фрагментами или перфторалкильными радикалами (Iз, Iи).

Циклические аминопроизводные перинафтененов отличаются несколько большими значениями R_f , чем незамещенные по азоту соединения (IIIе и IIIн, IVе и IVн-р).

Соединения, для которых возможно образование водородных связей с ОН-группами сорбента (Iе, IIIе, IVж-и, Vг,д, VIд) обычно отличаются меньшей подвижностью, чем сходные по структуре вещества (IIа, Va,б, VIв).

С увеличением длины алкильного радикала в 9-перфторхинолизинокумаринах (красители VIIм-о) происходит постепенное увеличение величин R_f во всех испытанных АСР.

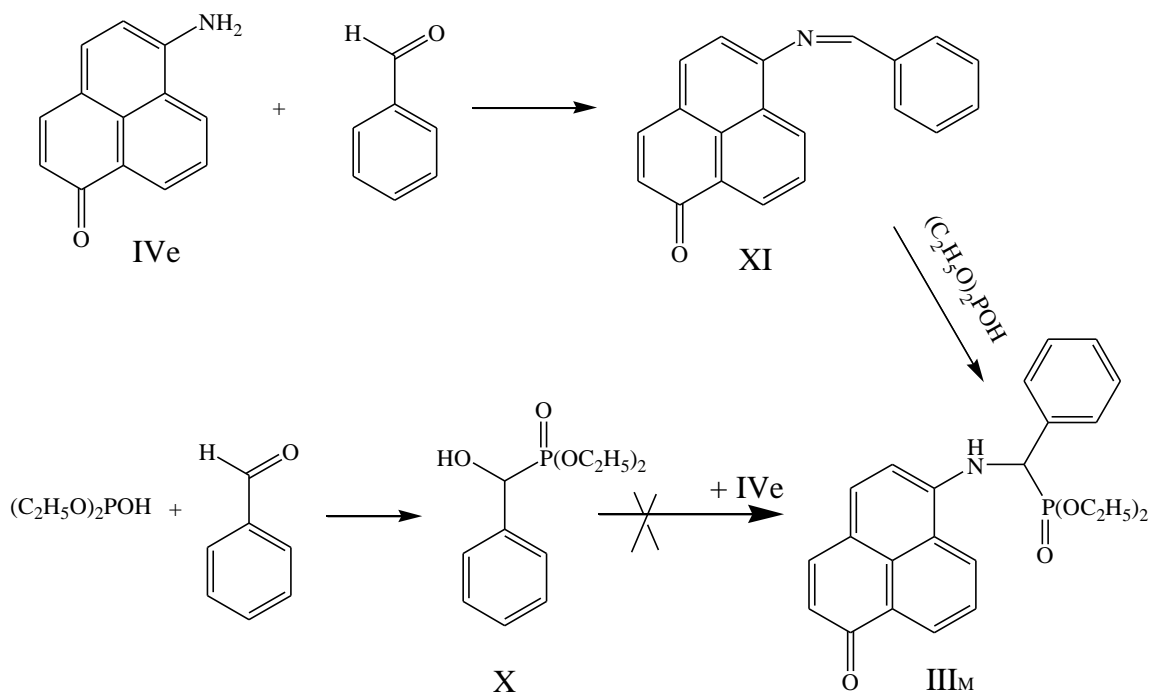
Лазерные красители на основе γ -пирона отличаются низкой сорбируемостью при ТСХ во всех испытанных системах, однако, как правило, бис-производные красителя ДСМ и его аналогов (VIIIб,г,е,з) несколько менее подвижны, чем соответствующие монодериваты (VIIIа,в,д,ж). Для этой группы соединений оказалась существенной предварительная активация пластинок в течение 1-2 минут при 120°C; в этом случае удалось достичь более значительной разницы в величинах R_f между моно- и бис-производными (в табл. 6 указаны в скобках значения R_f после активации пластинок).

Это наблюдение оказалось справедливым и при разделении структурно близких 2-фенилперинафтененов IIIж и IIIз.

Предварительное активирование сорбента позволило достичь хорошего разделения моно- и дизамещенных ДСМ даже в случае использования вместо АСР хлорированных углеводородов (хлорбутан, хлористый метилен), что упрощает задачу отделения от примесей красителя ДСМ и его аналогов в случае препаративной ТСХ или колоночного хроматографирования.

Хроматография в исследованных АСР не только быстро и надежно контролирует чистоту лазерных красителей, но позволяет также следить за ходом реакции Кабачника-Филдса [34], Аппеля [35] по накоплению флуоресцирующего продукта с большими значениями R_f , чем у исходных аминосоединений (для кислых фосфитов величины R_f приведены в [12]).

Кроме того, удалось показать, что реакция Кабачника-Филдса протекает для изученной группы нафталимидов и периинденонов по схеме первоначального образования основания Шиффа и последующего присоединения к нему диалкилфосфита (показано на примере получения красителя IIIм).



При ТСХ ни в одном случае не было отмечено присутствие даже следовых количеств (1-оксифенилметил)фосфоната. При этом на последовательной серии хроматограмм отчетливо видно, как по мере протекания реакции первоначально образующийся красный бензиденамин XI с большим значением R_f переходит в менее подвижный аминометилфосфонат ШМ с оранжево-красной флуоресценцией.

Отмечено, что при ТСХ в испытанных АСР II и IV лазерных красителей с фосфазо-группами (II-н, Шо, IV_т) в условиях эксперимента ни в одном случае не было отмечено протекание азореакции Виттига [36] этих соединений с карбонильной группой элюента.

По результатам проведенных исследований показано, что ТСХ в АСР различной полярности является простым и удобным способом контроля чистоты лазерных красителей (особенно привлекательны системы II и III), при синтезе таких соединений может служить способом контроля полноты завершения химических реакций, а в некоторых случаях способствовать установлению механизма их протекания.

Список литературы

1. Sherma J., Fried B. Handbook of Thin-Layer Chromatography. New York: Dekker, 2003. 1048 p.
2. Chromatographic Science Series, New York: Dekker, 1990. Vol. 52 (Modern Thin-Layer Chromatography), 490 p.
3. Konstantinova T.N., Konstantinov Hr.I., Betcheva R.I. Dyes and Pigments. 1999. Vol. 43. № 3. P. 197.
4. Allison R.T., Garratt N.J. Med. Lab. Sci. 1989. Vol. 46. № 2. P. 113.
5. Konstantinova T.N., Lazarova R.A. Dyes Pigments. 2007. Vol. 74. P. 208.
6. Chen J., Burghart A., Derecskei-Kovacs A., Burgess K. J. Org. Chem. 2000. Vol. 65. № 10. P. 2900.
7. Sukumaran V.S., Ramalingam A. Spectrochim. Acta. A. 2006. Vol. 63. № 3. P. 673.
8. Крымова, А.И. / А.И. Крымова, В.А. Петухов, М.Б. Попов // Квантовая электроника. - 1985. - Т. 12. - № 10. - С. 2163.
9. Maile R.J., Fischesser H.J., Anderson M.M. J. Chromatogr. 1977. Vol. 132. № 2. P. 336.
10. Roeder E. Pharmazie. 1975. Vol. 30. № 6. P. 349.
11. Ballschmiter K. Fresenius Z. anal. Chem. 1971. Vol. 254. P. 348.

12. Комлев, И.В. / И.В. Комлев, П.П. Дахнов, Л.М. Троицкая // ЖАХ. - 1978. - Т. 33. - Вып. 10. - С. 2046.
13. Майер, Г.В. / Г.В. Майер, Т.Н. Копылова, В.А. Светличный В.А. и др. // Квантовая электроника. - 2007. - Т. 37. - № 1. - С. 53.
14. Riechel S., Lemer U., Feldmann J. et al. Appl. Phys. 2000. Vol. 71. P. 897.
15. Ermer S., Valley J.F., Lyter R. et al. Proc. SPIE – Int. Soc. Opt. Eng. 1993. Vol. 1853 (Organic and Biological Optoelectronics). P. 183.
16. Diake J.M., Morse R.I. Optics Commun. 1975. Vol. 13. № 2. P. 109.
17. Wuebbles B.J., Felton J.S. Environ Mutagen. 1985. Vol. 7. P. 511.
18. Гордон, А. Спутник химика / А. Гордон, Л.М. Афанасиади. - М.: Мир, 1976.
19. Красовицкий, Б.М. Препаративная химия органических люминофоров / Б.М. Красовицкий, Л.М. Афанасиади. - Харьков: Фолио, 1997. - 207 с.
20. Аладов, А.В. / А.В. Аладов, В.В. Рыльков, А.В. Резниченко и др. // Опт. и спектр. - 1988. - Т. 64. - Вып. 1. - С. 51.
21. Кажока, Х.А. / Х.А. Кажока, М.В. Петрова, Э.Э. Лиепиньш, И.А. Мейровиц // Изв. АН Латв. ССР, сер. хим. - 1989. - № 1. - С. 93.
22. Fukutani H., Miura K., Educhi C. et. al. Пат. 4083725 (1978). США. // С.А. 1975. Vol. 83. P. 481.
23. Kirillova E., Meirovics I. Latv. Kim. Zurn. 2000. № 4. P. 64.
24. Кириллова, Е.М. / Е.М. Кириллова, И.А. Мейровиц, С.В. Беляков // ХГС. - 2002. - № 7. - Кириллова Е.М., Мейровиц И.А., Беляков С.В. С. 896.
25. Carlini F.M., Pieri G., Paffoni C. Пат. 4036733 (1977). США. // С.А. 1977. Vol. 86. P. 67.
26. Lakshmi G.S.P.V., Murthy Y.L.N., Anjaneyulu A.S.R., Santhamma C. Dyes and Pigments. 1995. Vol. 29. № 3. P. 211.
27. Нифантьев, Э.Е. / Э.Е. Нифантьев, С.П. Белов, И.В. Комлев, В.А. Петухов и др. // Сб. научн. трудов XVII Междунар. научно-техн. конференции «Лазеры в науке, технике, медицине - 2006». - М.: МНТОРЭС им. А.С.Попова, 2007. - С. 75.
28. Копылова, Т.Н. / Т.Н. Копылова, В.А. Светличный, Л.Г. Самсонова и др. // Квантовая электроника. - 2003. - Т. 33. - № 9. - С. 807.
29. Mukherjee T.K., Golubovic A. J. Org. Chem. 1965. Vol. 30. № 9. P. 3166.
30. Texier-Boullet F., Foucaud A. Synthesis. 1982. № 2. P. 165.
31. Grabchev I., Moneva I. Dyes Pigments. 1998. Vol. 37. № 2. P. 165.
32. Комлев, И.В. / И.В. Комлев, П.П. Дахнов, Л.М. Троицкая // Вестн. МГУ, сер. хим. - 1980. - Т. 21. - № 2. - С. 197.
33. Vaskovsky V.E., Kostetski E.Y., Vasendin I.M. J. Chromatogr. 1975. Vol. 114. № 1. P. 129.
34. Кабачник, М.И. / М.И. Кабачник, Т.Я. Медведь // Докл. АН СССР. - 1952. - Т. 89. - С. 689.
35. Appel R. Angew. Chem. 1975. Bd. 87. S. 863.
36. Cossio F.P., Alonso C., Lecea B. et. al. J. Org. Chem. 2006. Vol. 71. № 7. P. 2839.

Сведения об авторах

Белов Сергей Петрович - кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», bsp1111@mail.ru.

Комлев Игорь Витальевич - старший научный сотрудник ФГБОУ ВПО «Московский педагогический государственный университет», chemdept@mtu-net.ru.

Нифантьев Эдуард Евгеньевич - доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой ФГБОУ ВПО «Московский педагогический государственный университет», chemdept@mtu-net.ru.

THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY OF RED DYES AND INTERMEDIATES

S.P.Belov, I.V.Komlev, E.E.Nifant'ev

¹ - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

² - Moscow Pedagogical State University

Binary homogeneous azeotropic solvent mixtures for thin-layer chromatography of laser dyes and intermediates (coumarins, naphthalimides, benzantrones, phenalenones, γ -pyrone derivatives) are proposed with dielectric constants of 2,4 – 19,3 and boiling points of 56,0 – 82,4°C. For all studied substances well-reproducible R_f values are obtained.

Key words: *Chromatography, thin-layer chromatography, laser dyes, eluent*

References

1. Sherma J., Fried B. *Handbook of Thin-Layer Chromatography*. New York, Dekker. 2003. 1048 p.
2. *Chromatographic Science Series*, New York, Dekke., 1990. Vol. 52 (Modern Thin-Layer Chromatography). 490 p.
3. Konstantinova T.N., Konstantinov Hr.I., Betsheva R.I. *Dyes and Pigments*. 1999. Vol. 43. No. 3. P. 197.
4. Allison R.T., Garratt N.J. *Med. Lab. Sci.* 1989. Vol. 46. No. 2. P. 113.
5. Konstantinova T.N., Lazarova R.A. *Dyes and Pigments*. 2007. Vol. 74. P. 208.
6. Chen J., Burghart A., Derecskei-Kovacs A., Burgess K. *J. Org. Chem.* 2000. Vol. 65. No. 10. P. 2900.
7. Sukumaran V.S., Ramalingam A. *Spectrochim. Acta. A.* 2006. Vol. 63. No. 3. P. 673.
8. Krymova A.I., Petukhov V.A., Popov M.B. *Kvantovaya elektronika*, 1985. Vol. 12. No. 10. P. 2163.
9. Maile R.J., Fischesser H.J., Anderson M.M. *J. Chromatogr.* 1977. Vol. 132. No. 2. P. 336.
10. Roeder E. *Pharmazie*. 1975. Vol. 30. No. 6. P. 349.
11. Ballschmiter K. *Fresenius Z. anal. Chem.* 1971. Vol. 254. P. 348.
12. Komlev I.V., Dakhnov P.P., Troitskaya L.M. *ZhAKh*. 1978. Vol. 33. Issue 10. P. 2046.
13. Mayer G.V., Kopylova T.N., Svetlichniy V.A., Podgaetskiy V.M., Dolotov S.M., Ponomareva O.V., Monich A.E., Monich E.A. *Kvantovaya elektronika*, 2007. T. 37. № 1. P. 53.
14. Riechel S., Lemer U., Feldmann J. et al. *Appl. Phys.* 2000. Vol. 71. P. 897.
15. Ermer S., Valley J.F., Lyter R. et al. *Proc. SPIE – Int. Soc. Opt. Eng.* 1993. Vol. 1853 (Organic and Biological Optoelectronics). P. 183.
16. Diake J.M., Morse R.I. *Optics Commun.* 1975. Vol. 13. No. 2. P. 109.
17. Wuebbles B.J., Felton J.S. *Environ Mutagen.* 1985. Vol. 7. P. 511.
18. Gordon A., Ford R. *Sputnik khimika*. Moscow. Mir. 1976.
19. Krasovitskiy B.M., Afanasiadi L.M. *Preparativnaya khimiya organicheskikh lyuminoforov*. Kharkov/ Folio/ 1997. 207 p.
20. Aladov A.V., Rylkov V.V., Reznichenko A.V. *Opt. and Spekt.* 1988. Vol. 64. Issue 1. P. 51.
21. Kazhoka Kh.A., Petrova M.V., Liepinsh E.E., Meyrovits I.A. *Izv. AN Latv. SSR, ser. khim.* 1989. No. 1. P. 93.
22. Fukutani H., Miura K., Euchi C. et. al. Пат. 4083725 (1978). США. // C.A. 1975. Vol. 83. P. 481.
23. Kirillova E., Meirovics I. *Latv. Kim. Zurn.* 2000. No. 4. P. 64.
24. Kirillova E.M., Meirovics I.A., Belyakov S.V. *KhGS*. 2002. No. 7. P. 896.
25. Carlini F.M., Pieri G., Paffoni C. Пат. 4036733 (1977). США. // C.A. 1977. Vol. 86. P. 67.
26. Lakshmi G.S.P.B., Murthy Y.L.N., Anjaneyulu A.S.R., Santhamma C. *Dyes and Pigments*. 1995. Vol. 29. No. 3. P. 211.

27. Nifant'ev E.E., Belov S.P., Komlev I.V., Petukhov V.A. *Sbornik hauchnykh trudov XVII Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. «Lazery v nauke, tekhnike, medizine - 2006»*. Moscow. MNTOPES im. A.S.Popova. 2007. P. 75.
28. Kopylova T.N., Svetlichniy V.A., Samsonova L.G., Svetlichnaya N.N., Reznichenko A.V., Ponomareva O.V., Komlev I.V. *Kvantovaya elektronika*, 2003. Vol. 33. No. 9. P. 807.
29. Mukherjee T.K., Golubovic A. *J. Org. Chem.* 1965. Vol. 30. No. 9. P. 3166.
30. Texier-Boullet F., Foucaud A. *Synthesis*. 1982. No. 2. P. 165.
31. Grabchev I., Moneva I. *Dyes and Pigments*. 1998. Vol. 37. No. 2. P. 165.
32. Komlev I.V., Dakhnov P.P., Troitskaya L.M. *Vestnik MGU, ser. khim.* 1980. Vol. 21. No. 2. P. 197.
33. Vaskovsky V.E., Kostetski E.Y., Vasendin I.M. *J. Chromatogr.* 1975. Vol. 114. No. 1. P. 129.
34. Kabachnik M.I., Medved T.Ya. *Doklady AN SSSR*. 1952. Vol. 89. P. 689.
35. Appel R. *Angew. Chem.* 1975. Bd. 87. S. 863.
36. Cossio F.P., Alonso C., Lecea B. et. al. *J. Org. Chem.* 2006. Vol. 71. No. 7. P. 2839.

Authors' information

Sergey P. Belov - candidate of chemical sciences, associate professor of Department of Chemistry at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, bsp1111@mail.ru.

Igor V. Komlev - senior researcher at Moscow Pedagogical State University, chemdept@mtu-net.ru.

Eduard E. Nifant'ev – doctor of chemical sciences, professor, corresponding member RAS, head of the Department at Moscow Pedagogical State University, chemdept@mtu-net.ru.

УДК 621.9.06-229: 681.3

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ СТАНОЧНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В.В. Ерохин¹, В.В. Камынин²

¹ - Брянский государственный университет имени академика И.Г.Петровского

² - Брянский государственный инженерно-технологический университет

Излагаются основные аспекты по определению влияния процесса релаксации напряжений материала на динамические параметры технологической оснастки. Приводятся зависимости по нахождению частотных и физико-механических параметров технической системы, влияющих на скорость релаксации и тем самым на внутреннее трение материала.

Ключевые слова: релаксация напряжений, технологическая оснастка, качество.

При проектировании технологической оснастки наиболее важным параметром является коэффициент внутреннего трения установочно-зажимных элементов. При более высоких значениях коэффициента внутреннего трения система станочного приспособления становится инерционной, что позволяет эффективно обеспечивать более высокие параметры качества обрабатываемой поверхности заготовки. В противном случае, система становится не инерционной и, следовательно, такие элементы должны применяться только в контрольно-измерительных приборах, непосредственно входящих в физический контакт с измеряемым телом. Для управления формообразованием поверхности заготовки, а также рационального конструирования технологической оснастки и контрольных приспособлений необходимо знать динамическое состояние рассматриваемой системы. На динамическое состояние технологической системы оказывают влияния не только законы влияния внешней среды (внешних сил), но и внутренние диссипативные силы, которые в данной тематике статьи определяются коэффициентом внутреннего трения.

Основным критерием конструирования приспособления является устойчивость системы к резонансу, проявляющемуся как от внешних сил, так и от перераспределения внутренней энергии внутри тела. В линейных колебательных системах условие резонанса в первом приближении можно записать следующим выражением [1]:

$$M^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \beta^2\omega^2 = 0,$$

где M – масса колебательной системы; ω_0 – угловая частота собственных колебаний системы; ω – угловая частота колебаний возмущающей силы и установившихся колебаний системы; β – коэффициент внутреннего трения.

Выбирая материал элементов технологической оснастки с повышенными значениями коэффициента внутреннего трения, можно уменьшить значение амплитуды колебаний, а также время собственных затухающих колебаний. Влияние собственных колебаний обуславливает снижение точности обработки в начальный момент времени, в зависимости от которого необходимо применить либо дополнительный более точный метод обработки поверхности, либо на дополнительном технологическом переходе предусмотреть снятие фаски. Длина фаски в этом случае будет зависеть от продолжительности и амплитуды собственных колебаний, а также от допустимой амплитуды колебаний (калитета точности или степени геометрической точности обрабатываемой поверхности) тела в пространстве непосредственного формообразования. Например, подбирая материал таким образом, чтобы $\beta \geq \sqrt{2}M\omega_0$, явление резонанса совершенно исчезает. В этом случае при любой частоте возмущающей силы амплитуда колебаний меньше статического отклонения.

Создание базы данных по коэффициентам внутреннего трения для материалов, используемых при проектировании станочных и контрольных приспособлений, позволяет более точно определять динамические характеристики станочных и контрольных систем.

Основными направлениями определения коэффициентов внутреннего трения является теория релаксации напряжений и перемещения дислокаций. Наиболее точным и менее затратным методом изучения внутреннего трения является изучение явления релаксации напряженного состояния тела. При этом следует учитывать, что коэффициент внутреннего трения зависит не только от физико-механических свойств материала, но и от масштабного, геометрического фактора элементов приспособлений, а также от скорости, величины и закона изменения силы воздействия на технологическую систему.

Основываясь на работах К. Зинера, коэффициент внутреннего трения можно определить по формуле

$$\beta = \frac{SM\omega}{W} = \Delta_c \frac{2M\omega^2\tau}{1 + \omega^2\tau^2},$$

S – площадь петли механического гистерезиса; W – максимальная энергия деформации; τ – время релаксации напряжений; $\Delta_c = \frac{C_R - C_U}{C_U}$, где C_R – релаксационная постоянная коэффициента упругости; C_U – нерелаксированная постоянная коэффициента упругости.

На основе вышеприведенных расчетов, можно заключить – выбор материала с большим значением τ обеспечивает минимум амплитуды колебаний технологической системы, а также максимум ее инерционности, что повышает точность формообразования поверхности заготовки.

Процесс релаксации в материале с примесями зависит от тепловой диффузии атомов, релаксации по границам зерен, дислокационных перемещений и взаимодействий. Для определения коэффициента внутреннего трения вводим ограничения [2]:

1. Эксплуатация технологической оснастки происходит при не изотермическом и не адиабатическом режимах.
2. Для границ зерен в поликристаллическом материале характерно вязкое поведение.
3. Зерна кристаллитов имеют сферическую форму.
4. Одноосное напряженное состояние.
5. Основное количество дислокаций расположено параллельно одному из плотноупакованных направлений в кристалле.
6. Количество дислокационных петель в любом сечении сферического кристаллита постоянно.

Коэффициент внутреннего трения установочных элементов в виде стержневой конструкции определяется по формуле

$$\beta = \frac{M_{ш}\omega}{\pi} \left(0,02 \frac{T}{T_{пл}} \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} + \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \frac{4}{3(1 + \mu)} + \frac{N_{\delta}L_{\delta}^3}{24} \right),$$

где T – температура тела; $T_{пл}$ – температура плавления тела; N_{δ} – число петель дислокаций в единице объема, принимающих участие во внутреннем трении (в среднем 0,5% от общего количества петель); L_{δ} – средняя длина дислокационной петли, равная диаметру сферического зерна.

Учитывая шестое ограничение и введя обозначение диаметра кристаллита (зерна) – $D_{кр}$, определяем коэффициент внутреннего трения колебаний неровности профиля

$$\beta = \frac{M_{ш}\omega}{\pi} \left(0,02 \frac{T}{T_{пл}} \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} + \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \frac{4}{3(1 + \mu)} + \frac{0,005\rho_{\delta}D_{кр}^2}{24} \right),$$

где ρ_{δ} – плотность дислокационных петель ($\rho_{\delta} = 10^6 \text{ см}^{-2}$ для отожженной стали, $\rho_{\delta} = 10^{11}$ для закаленной стали); $D_{кр}$ – диаметр зерна.

В общем случае, когда релаксационный процесс в основном связан с тепловой диффузией атомов и эксплуатация технологической оснастки происходит при не изотермическом и не адиабатическом режимах, коэффициент внутреннего трения установочных элементов в виде стержневой конструкции определяется по формуле

$$\beta = 0,02\pi \frac{T}{T_{пл}} \frac{2M\omega^2\tau}{1 + \omega^2\tau^2},$$

где T – температура тела; $T_{пл}$ – температура плавления тела.

В этом случае

$$\tau = \frac{d^2}{\pi^2 D} = \frac{d^2 c \rho}{\pi^2 \chi},$$

где d – диаметр стержня (приведенный диаметр установочного, установочно-зажимного элемента станочного или контрольного приспособления); D – коэффициент тепловой диффузии; c – удельная теплоемкость тела; ρ – плотность материала; χ – коэффициент теплопроводности.

Если есть необходимость в нахождении градиента коэффициента внутреннего трения по телу в зависимости от неоднородности структуры материала, тогда время релаксации можно рассчитать в зависимости от размеров зерна.

$$\tau = \frac{a^2}{\pi^2 D} = \frac{a^2 c \rho}{\pi^2 \chi},$$

где a – радиус сферического кристалла.

При этом следует учитывать ограничения – рассматриваемое зерно имеет сферическую форму, температура на поверхности зерна поддерживается постоянной.

Для описания процесса релаксации рассматривают три температурных области: низкотемпературную (менее $0,25T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температура плавления), среднетемпературную ($0,25 \dots 0,5T_{пл}$) и высокотемпературную (более $0,5T_{пл}$). Эксплуатация технологической оснастки в основном происходит при температуре до $0,4T_{пл}$ (среднетемпературная область), когда в материале не происходят фазовые превращения.

В среднетемпературной области релаксация напряжений определяется пересечением дислокаций (преодоление ими барьеров Пайерлса) и поперечным скольжением. В этой температурной области начинают активно действовать диффузионные процессы, вызывающие переползание дислокаций из одной (заблокированной) плоскости скольжения в другую (незаблокированную). Скорость среднетемпературной релаксации экспоненциально зависит от энергии активации.

При испытании материалов в среднетемпературной области кривые релаксации между собой подобны в условиях любого вида нагружения (растяжение, кручение, изгиб, сжатие) для времени нагружения менее 100 ч.

Влияние времени на процесс релаксации напряжений находится в тесной зависимости от других факторов – начального напряжения и температуры, а также от структурной стабильности исследуемого сплава. С повышением температуры влияние фактора времени усиливается. Кривая релаксации в координатах напряжение-время (рис. 1) разбивается на два участка (два периода релаксации). Первый период характеризуется резким падением напряжения. Второй период релаксации обуславливается небольшой скоростью падения напряжения (в пять и более раз меньше, чем в первом периоде). Из рис. 1 можно заключить, что в первом периоде более высокому σ_0 соответствует меньшее время, необходимое для достижения заданной величины $\Delta\sigma$, и наоборот.

Во втором периоде в температурном диапазоне менее $0,5T_{пл}$, когда процесс релаксации идет с более или менее установившейся скоростью, влияние σ_0 на интенсивность релаксации напряжений практически отсутствует. При этом более высокое начальное напряжение обуславливает более высокое оставшееся напряжение.

В этом случае необходимо подбирать режимы резания материала заготовки таким образом, чтобы значения первоначальных напряжений σ_0 способствовали появлению только релаксирующих со времени остаточных напряжений (рис. 1). Это обеспечит сокращение трудовых и материальных затрат, например, на дополнительные термические операции по снятию остаточных напряжений. Особенно это актуально при механической обработке зуб-

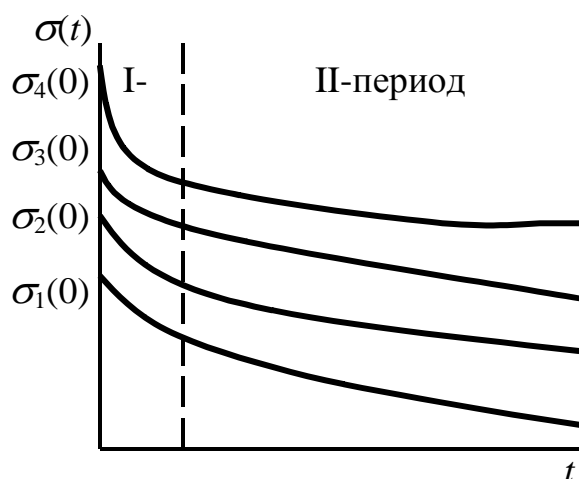


Рис. 1. Кривая релаксации в координатах «напряжение-время»

В этом случае необходимо подбирать режимы резания материала заготовки таким образом, чтобы значения первоначальных напряжений σ_0 способствовали появлению только релаксирующих со времени остаточных напряжений (рис. 1). Это обеспечит сокращение трудовых и материальных затрат, например, на дополнительные термические операции по снятию остаточных напряжений. Особенно это актуально при механической обработке зубчатых колес и валов, где используются термические операции по снижению внутренних остаточных напряжений, появляющихся в процессе механической обработки.

Релаксационная стойкость сплавов зависит как от химического состава, так и от структуры материала. К характеристикам структурного состояния, влияющим на процесс релаксации напряжений, относятся: величина зерна твердого раствора, его стабильность, количество и размеры частиц избыточных фаз, их взаиморасположение и взаимодействие. Эти структурные характеристики регулируются термической и термомеханической обработкой.

Список литературы

1. Ерохин В.В. Виброустойчивость станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. - №3. – С. 34-39.
2. Финкельштейн Б.Н. Внутреннее трение металлов / Сборник статей. Пер. с англ. Ю.Х. Векилова. – М.: ГНТИЛ по черной и цветной металлургии, 1963. – 128 с.

Сведения об авторах

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

Камынин Виктор Викторович - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и машиноведение» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

THE EFFECT OF STRESS RELAXATION ON THE PARAMETERS OF MACHINING AND INSPECTION TOOLING

V.V. Erokhin¹, V.V. Kamynin²

¹ - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

² - Bryansk State Engineering-Technological University

Presents the main aspects of the process to determine the effect of stress relaxation material on dynamic parameters tooling. The dependences for finding the frequency and physical and mechanical parameters of the technical system affecting the relaxation rate, and thus on the internal friction of the material.

Keywords: *stress relaxation, tooling, quality.*

References

1. Erokhin V.V., Kamynin V.V. Vibration resistance of machining tooling, *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*, 2005, No.3, pp. 34-39.
2. Finkelshteyn B.N. *Vnutrennee trenie metallov* [Internal friction of metals]. Moscow, GNTIL po chernoy i tsvetnoy metallurgii, 1963. 128 p.

Authors' information

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

Viktor V. Kamynin – Candidate of Technical Sciences, Head of Department at Bryansk State Engineering-Technological University.

УДК 621.646

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СТЫКА ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА МУФТЫ ДЛЯ РЕМОНТА ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

М.П. Полянин

ООО «Промбезопасность»

Рассмотрен вопрос обеспечения плотности стыка полумуфт корпуса подводной стальной несущей муфты, предназначенной для ремонта подводного участка магистрального трубопровода. Предложен вариант упрощения конструкции муфты и снижения нагруженности шпилек корпуса при сохранении герметичности за счет снижения требований к плотности стыка с учетом напряженно-деформированного состояния конструкции в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, газопровод, нефтепровод, подводный переход, ремонт, несущая муфта, корпус, раскрытие стыка.

Сегодня на территории Российской Федерации эксплуатируется более 3000 подводных переходов. Практика эксплуатации показывает, что на них происходит наибольшее количество аварий. В то же время ремонт таких участков сопряжен с большими трудовыми и материальными затратами. Поэтому актуальными являются вопросы уменьшения трудоемкости, совершенствования техники и технологии производства ремонтных работ [1].

Объектом исследования является подводная стальная несущая муфта (далее – муфта), позволяющая устранить локальные дефекты подводных переходов магистральных трубопроводов диаметром 1020 мм (рис. 1) [2]. В работе исследуются вопросы обеспечения плотности стыка двух полумуфт корпуса муфты, соединенных шпильками.

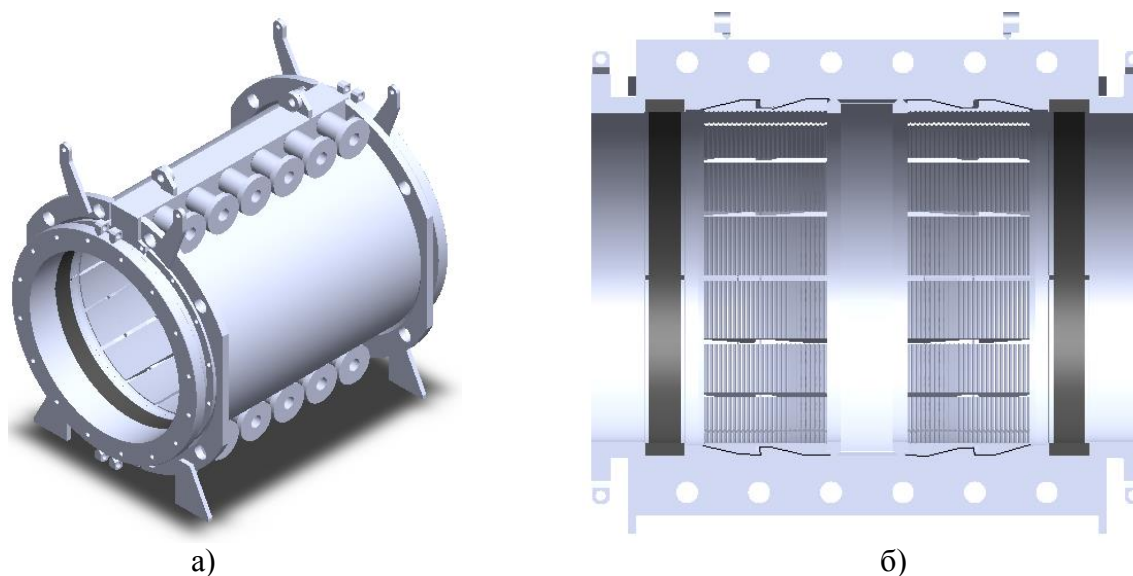


Рис. 1. Общий вид муфты: а – изометрия; б – продольные разрез

Следует уточнить расчетные нагрузки, приведенные в [2]. Если в трубе нет сквозного отверстия, то внутреннее давление рабочей среды (газа или жидкости при испытании) воздействует на внутреннюю поверхность ремонтируемой трубы, что вызывает ее деформацию. Расширившаяся труба давит через клиновой зажим на корпус. При этом на сам корпус уже не действует внутреннее давление рабочей среды.

При наличии в трубе сквозного дефекта внутреннее давление в трубе распространяется на полость корпуса муфты. При этом давление между корпусом и трубой становится равным давлению внутри трубы. Труба разгружается и происходит снятие давления клинового зажима на корпус. Поэтому добавление при расчете корпуса и его шпилек к давлению рабочей среды напряжений от воздействия клинового зажима приводит к двойному учету воздей-

ствия рабочей среды. Так как оно прикладывается к корпусу и напрямую, и как вклад в напряжения от воздействия клинового зажима.

Согласно конечноэлементным расчетам клиновые зажимы давят на корпус муфты с давлением 7,3 МПа. Это давление равно величине напряжений, действующих вдоль радиуса муфты, перпендикулярно нагружаемой поверхности корпуса [2].

Дальнейшие расчеты для оценки условий раскрытия стыка элементов корпуса муфты выполнены для трех случаев.

- I случай подразумевает действие на корпус только давления клиновых зажимов при сохранении трубой целостности.
- II подразумевает действие давления рабочей среды непосредственно на корпус при образовании сквозного дефекта трубы.
- III случай вводится по требованию заказчика и учитывает как давление среды, так и давление клиновых зажимов (это перегруз).

Рекомендуемая заказчиком исследования методика аналитического расчета фланцевого соединения горизонтального разъема приведена в [3]. Расчетные схемы приведены на рис. 2.

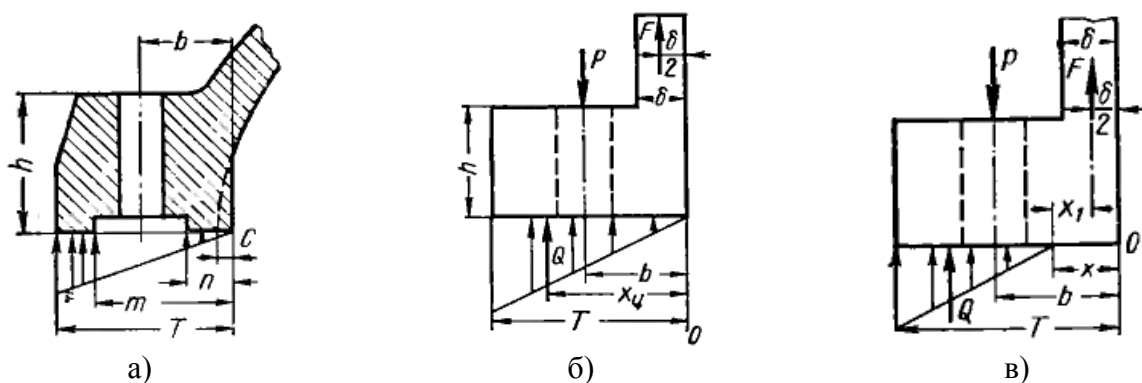


Рис. 2. К расчету фланцевого соединения [3]:
а – схема фланца; б – схема для расчета затяжки;
в – схема для учета частичного раскрытия

Действующая на шпильку нагрузка (P_0) определяется следующим образом [3]:

$$P_0 = P + \chi F,$$

где P – усилие затяжки; χ – коэффициент основной нагрузки ($\chi = 0,05 \dots 0,15$).

Действующее на шпильку усилие F , вызванное разностью давлений внутри и снаружи корпуса, составляет:

$$F = 0,5 \Delta p D_{Bt},$$

где Δp – разница давлений внутри и снаружи корпуса; D_{Bt} – диаметр расточки муфты под установку уплотнений.

Усилие затяжки определяется по следующей формуле

$$P = \eta F,$$

где η – коэффициент затяжки фланцевого соединения.

Коэффициент η определяется из условия нераскрытия стыка (рис. 1, б) следующим образом [3]:

$$\eta \approx \frac{4T\varphi - 3\delta - 6c}{4T\varphi - 6b},$$

где поправочный коэффициент $\varphi = \frac{1 + \alpha^3 - \beta^3}{1 + \alpha^2 - \beta^2}$, $\alpha = \frac{n}{T}$, $\beta = \frac{m}{T}$.

Напряжения в шпильке вычисляются по формуле [3]

$$\sigma = \frac{4P_0}{\pi d_{вн}^2},$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр шпильки.

Коэффициент запаса прочности шпилек можно определить как

$$n = \sigma_{0,2} / \sigma,$$

где $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала шпильки.

Муфта работает в водной среде, температура которой лежит в пределах +4...+20 °С, т.е. при достаточно постоянной нормальной температуре. Резкие перепады температуры (50...60 °С [3]) в различных элементах конструкции отсутствуют. В этих условиях не проявляется ползучесть и релаксация напряжений и дополнительные расчеты этих явлений не требуются.

Исследуемая конструкция фланцевого соединения муфты имеет следующие параметры: $D_B = 1,132$ м; $t = 0,224$ м; принимаем $\chi = 0,05$; $T = 0,184$ м; $b = 0,104$ м; $c = 0$ м; $\delta = 0,044$ м; $n = 0,062822$ м; $m = 0,141118$ м; $d_{вн} = 0,072237$ м (номинальный диаметр $d_0 = 3$ дюйма); для стали 38ХМБА $\sigma_{0,2} = 859$ МПа.

Методика [3] соответствует II расчетному случаю. Выполним для него расчет фланцевого соединения.

Усилие на шпильку при испытательном давлении согласно [4; 5]

$$F = 0,5 \cdot 9,375 \cdot 10^6 \cdot 1,132 \cdot 0,224 = 1,189 \cdot 10^6 \text{ (Н)}.$$

Коэффициенты, определяющие усилие затяжки

$$\alpha = \frac{0,062822}{0,184} = 0,341; \beta = \frac{0,141118}{0,184} = 0,776; \varphi = 1,114;$$

$$\eta \approx \frac{4 \cdot 0,184 \cdot 1,114 - 3 \cdot 0,044 - 6 \cdot 0}{4 \cdot 0,184 \cdot 1,114 - 6 \cdot 0,104} = 3,51.$$

Усилие затяжки

$$P = 3,51 \cdot 1,189 \cdot 10^6 = 4,172 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Действующая на шпильку нагрузка

$$P_0 = 4,172 \cdot 10^6 + 0,05 \cdot 1,189 \cdot 10^6 = 4,231 \cdot 10^6.$$

Тогда напряжения $\sigma = \frac{4 \cdot 4,231 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 0,072237^2} = 1032$ МПа.

Итак, $\sigma = 1032 \geq 859$ МПа и коэффициент запаса прочности шпилек $n = 0,83$. Таким образом, с учетом усилия затяжки по условию плотности стыка, прочность шпилек не обеспечена. При этом увеличение количества шпилек невозможно по условиям компоновки муфты.

Методика [3] предполагает снижение усилия затяжки с помощью допущения частичного раскрытия стыка (рис. 2, в). При этом фланцевое соединение сохраняет герметичность по внешнему диаметра фланца, а частичное раскрытие соединения у внутреннего диаметра компенсируется прокладкой. Техническое задание на проектирование не требует абсолютной плотности стыка. Для выбранной конструкции фланцевого соединения по формулам [3] коэффициент

$$\eta \approx \frac{4T\varphi - 3\delta - 6c + 2x}{4T\varphi - 6b - 2x},$$

где x – длина зоны раскрытия стыка.

Значение коэффициента η и напряжения в шпильке при различной длине зоны раскрытия приведены в табл. 1. Жирным шрифтом выделены допустимые значения напряжений.

Длина зоны раскрытия стыка не говорит о величине этого раскрытия, которая зависит от соотношений жесткости основных элементов конструкции. Для определения абсолютной

величины раскрытия стыка и оценки его герметичности при воздействии испытательного давления был выполнен дополнительный конечноэлементный расчет фланцевого соединения исследуемой муфты. Конечноэлементный расчет основан на методиках [1; 6; 7].

Таблица 1

Напряжения в шпильке при частичном раскрытии стыка

Длина зоны раскрытия (x), м	η	Напряжения, МПа		
		I расчетный случай (только давление клинового зажима)	II расчетный случай (только давление среды)	III расчетный случай (перегруз, оба давления)
0,00	3,512	804	1032	1836
0,01	3,278	752	965	1717
0,02	3,085	708	909	1617
0,03	2,922	672	862	1533
0,04	2,783	640	822	1461
0,05	2,662	613	787	1399

Первоначально расчет выполнен для II расчетного случая при наибольшей длине зоны раскрытия 0,05 м (30% от длины фланца T), когда напряжения в шпильке с учетом затяжки по табл. 1 составят 787 МПа. Результаты расчета показаны на рис. 3.

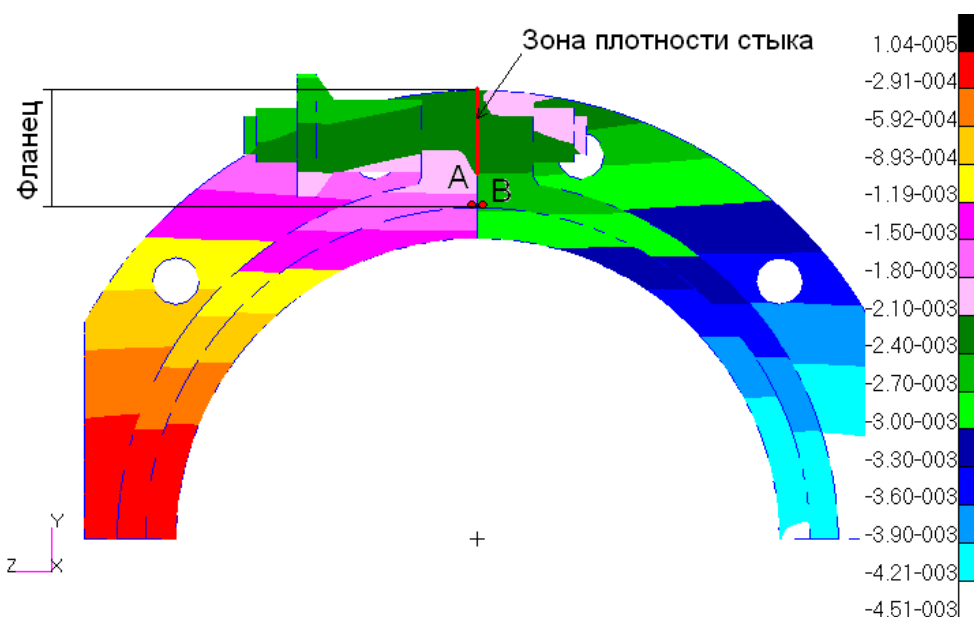


Рис. 3. Результаты расчета раскрытия стыка (перемещения по оси z, м)

Согласно результатам расчета для данного расчетного случая перемещение точки А в направлении раскрытия стыка (вдоль оси z) составит – 1,8 мм, точки В – 2,7 мм. Таким образом, максимальное раскрытие составит 0,9 мм.

Дополнительно был выполнен расчет раскрытия муфты для I расчетного случая, хотя он не соответствует условиям испытания муфты. Для этого использована модель из раздела 3 отчета. Результаты расчета показаны на рис. 4.

Согласно результатам расчета для данного расчетного случая перемещение одной стороны разъема в направлении раскрытия стыка (вдоль оси z) составит 0,2 мм, второй стороны – 0,36 мм. Максимальное раскрытие составит 0,16 мм.

Техническое задание на проектирование муфты предполагает наличие трещины глубиной до 100% стенки трубы. Несмотря на то, что трещина не является прямым сквозным отверстием, рассчитаем вариант, когда труба имеет сквозное повреждение на всю длину муф-

ты. Для этого введем прямой разрез в трубу, разрывающий ее целостность, нагрузим внутреннюю поверхность корпуса и трубы испытательным давлением. Результаты расчета показаны на рис. 5.

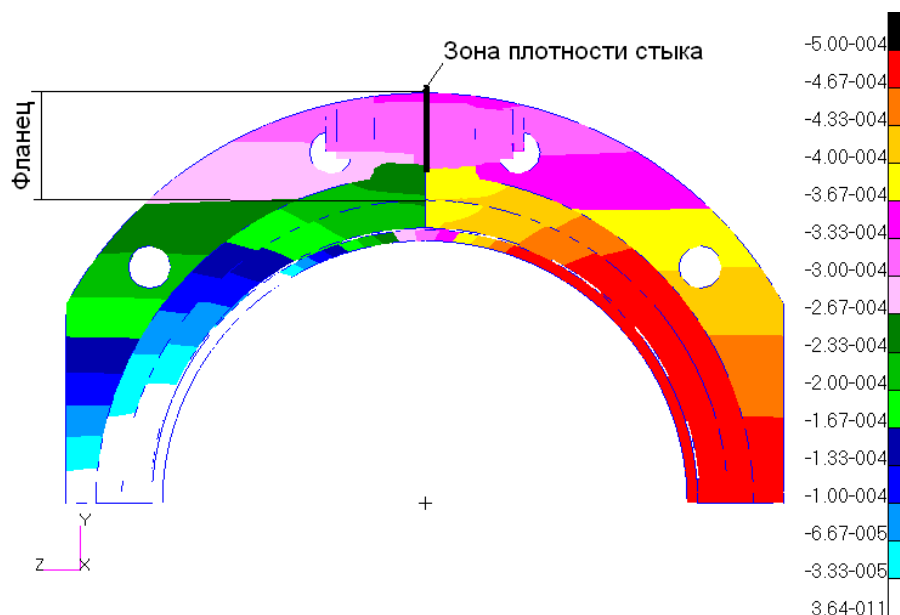


Рис. 4. Результаты расчета раскрытия стыка (перемещения по оси z , м)

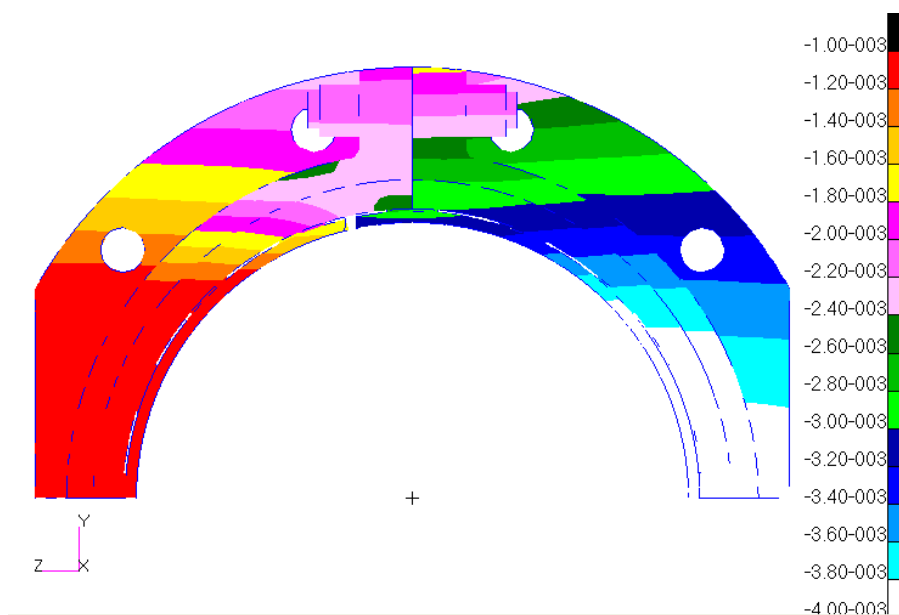


Рис. 5. Результаты расчета раскрытия стыка (перемещения по оси z , м)

Согласно результатам расчета для данного расчетного случая перемещение одной стороны разъема в направлении раскрытия стыка (вдоль оси z) составит 2,4 мм, второй стороны – 3,0 мм. Таким образом, максимальное раскрытие составит 0,6 мм.

Методика [3] не предполагает расчет резьбы на срез (считается, что использование стандартных шпилек гарантирует выполнение условия прочности на срез при выполнении основного условия прочности). Однако в условиях эксплуатации муфты срез резьбы шпилек вполне возможен. Поэтому выполнен расчет прочности шпилек на срез.

Аналитически значения напряжений среза в резьбе шпильки можно вычислить следующим образом:

$$\tau_{cp} = \frac{P_0}{\pi d_1 h K_1 K_m},$$

где h – рабочая высота резьбы; $K_1 = 0,65$ – коэффициент полноты для дюймовой резьбы; $K_m = 0,75$ – коэффициент, учитывающий изменение деформации витков по высоте гайки.

Из этого выражения можно найти требуемую рабочую высоту гайки (табл. 2):

$$h = \frac{P_0}{[\tau_{cp}] \pi d_1 K_1 K_m}.$$

Допускаемые напряжения среза $[\tau_{cp}] = 0,6[\sigma]$. Для шпилек и гаек из стали 40Х $[\tau_{cp}] = 450$ МПа.

Таблица 2

Напряжения среза резьбы, МПа

Длина зоны раскрытия (x), м	η	Требуемая рабочая высота гайки, мм
0,00	3,512	72
0,01	3,278	67
0,02	3,085	63
0,03	2,922	60
0,04	2,783	57
0,05	2,662	55

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Для исследуемой муфты максимальное раскрытие стыка по внутреннему диаметру фланца при максимальной нагрузке составит 0,9 мм при длине зоны раскрытия 0,01 м (около 10% от длины фланца).

2. Герметичность муфты может быть обеспечена при частичном раскрытии стыка полумуфт корпуса. При этом фланцевое соединение сохраняет герметичность по внешнему диаметра фланца, а частичное раскрытие соединения у внутреннего диаметра компенсируется прокладкой.

3. Перед испытанием муфты рекомендуется провести испытание шпильки и окончательно оценить ее прочность.

Список литературы.

1. 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.

2. Полянин, М.П. Исследование напряженно-деформированного состояния муфты для ремонта подводных участков магистральных газопроводов / М.П. Полянин // Сборник международной научно-практической конференции «Наука и современность». – Уфа: Аэтерна, 2015. – Ч. 1. – С. 44-48.

3. Жирицкий, Г.С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин / Г.С. Жирицкий, В.А. Стрункин. – М.: Машиностроение, 1968. – 520 с.

4. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы.

5. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.

6. Лагерев, И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов / И.А. Лагерев. – Брянск: Издательство БГТУ, 2013. – 116 с. – ISBN 978-5-89838-650-4.

7. Лагерев, И.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния крана манипулятора машины для сварки трубопроводов / И.А. Лагерев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – №4. – С. 29-36.

Сведения об авторе

Полянин Михаил Петрович – инженер ООО «Промбезопасность» (г. Брянск), mppolyanin@yandex.ru.

**THE JOINT DISCLOSURE OF THE ELEMENTS OF THE CLUTCH CASE
FOR REPAIR OF UNDERWATER PIPELINES**

M.P. Polyanin

Limited Society «Prombezopasnost»

The question of providing the density interface between the coupling halves of the hull underwater-gauge steel coupling designed for repair of the underwater section of pipeline. Stress-strain condition of coupling was calculated by finite elements method. Offered the option of simplifying the design of the coupling and reduce the load of the studs of the housing por save the tightness by reducing the requirements to the density of the junction taking into account the stress-strain condition design in real conditions. Results of calculations allowe partial disclosure of the coupling halves joint. Studs loads decrease due to this disclosure.

Keywords: *pipeline, gas-pipeline, oil-pipeline, underwater, repair, carrier coupling, case, disclosure of the joint.*

References

1. 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.

2. Polyanin M.P. Investigation of the stress-strain state of the coupling for the repair of underwater sections of trunk pipelines [Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya mufty dlya remonta podvodnykh uchastkov magistralnykh gasoprovodov]. *Sbornik mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauka i sovremennost"* (Proceedings of the International scientific-practical conference "Science and modernity". Ufa, Aeterna, 2015, Part No.1, pp. 44-48.

3. Zhiritskiy G.S., Strunkin V.A. *Konstruktsiya i raschet na prochnost detaley parobnykh i gazovykh turbin* [Design and strength calculation parts of steam and gas turbines]. Moscow. Mashinostroenie. 1968. 520 p.

4. SNiP 2.05.06-85. *Magistralnye truboprovody* [Trunk pipelines]. Магистральные трубопроводы.

5. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdeystviya* [Loads and effects]. Moscow, OAO "NITs "Stroitelstvo", 2011. 85 p.

6. Lagerev I.A. *Raschety gruzopodyemnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Load-lifting machines calculations by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 116 p.

7. Lagerev I.A. Modeling of stress-strain state of crane-manipulator machine for welding of pipelines, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*, 2011, No.4, pp. 29-36.

Author' information

Mikhail P. Polyanin - graduate engineer at Limited Society «Prombezopasnost» (Bryansk), mppolyanin@yandex.ru.

УДК 621. 86

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ
СТАЦИОНАРНОГО КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

П.В. Бословяк, Е.П. Зуева

Брянский государственный технический университет

Представлена методика и подробный алгоритм оптимального проектирования металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой. Разработаны универсальные целевые функции совместно с системой ограничений основных конструктивных узлов металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой.

Ключевые слова: металлоконструкция, конвейер с подвесной лентой, оптимальное проектирование, оптимизация, целевая функция, ограничение, основные конструктивные узлы, алгоритм, программный комплекс.

В настоящее время на промышленных предприятиях основным средством непрерывного транспорта является традиционный ленточный конвейер. Но он, как показывает многолетняя практика, имеет существенные недостатки. В связи с чем была разработана новая конструкция специального ленточного конвейера – конвейера с подвесной лентой (КПЛ), в которой отсутствуют многие недостатки ленточных конвейеров обычного типа [1-3]. Данный конвейер является перспективным инновационным средством непрерывного транспорта.

Стационарный конвейер с подвесной лентой фактически является гибридом обычного ленточного конвейера и рельсового транспорта (рис. 1).

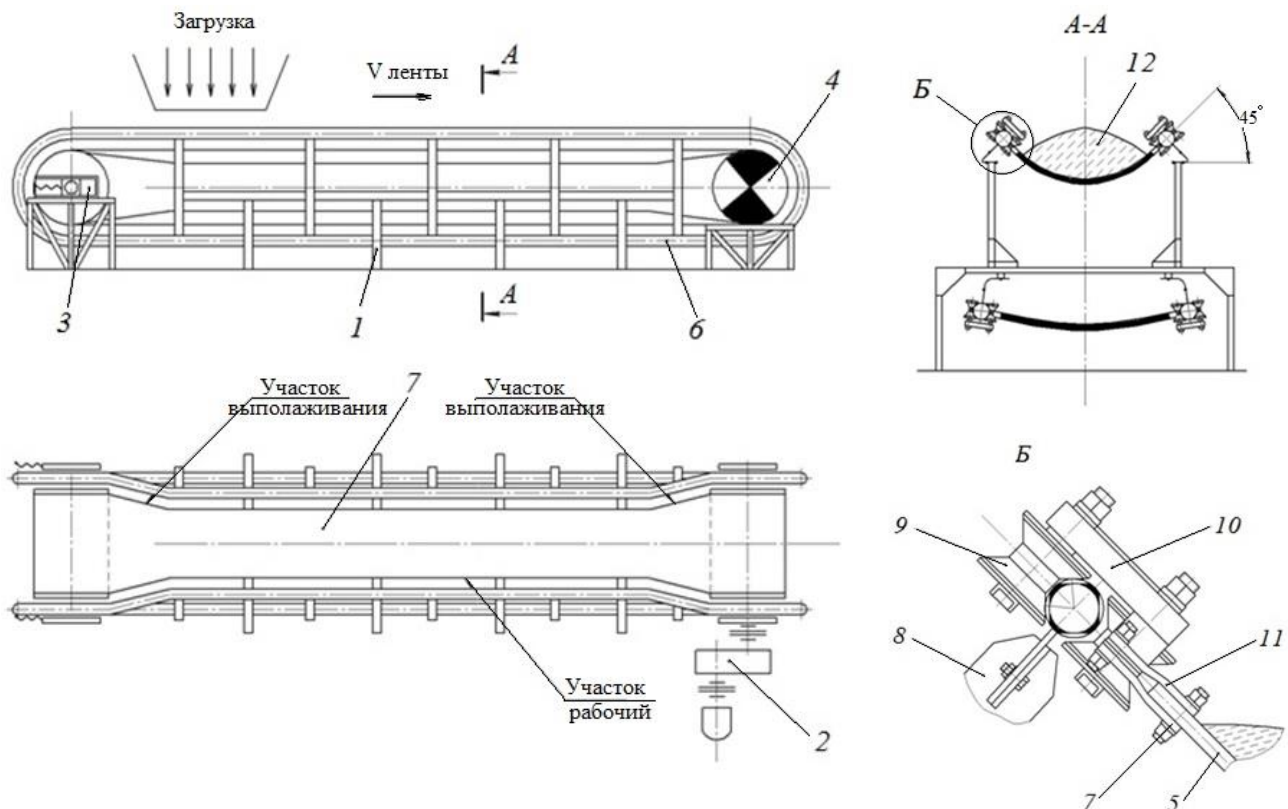


Рис. 1. Конвейер с подвесной лентой [1]: 1 – став; 2 – привод; 3 – натяжной барабан; 4 – приводной барабан; 5 – лента; 6 – направляющие; 7 – узел крепления; 8 – кронштейн; 9 – ролик; 10 – подвеска; 11 – ленточки; 12 – груз

Он состоит из сварного металлического става 1, привода 2, натяжного 3 и приводного 4 барабанов. Став состоит из стоек, к которым с помощью кронштейнов 8 крепятся направляющие элементы 6, выполненные в виде замкнутых, вытянутых вдоль конвейера труб, рас-

стояние между которыми выбрано таким, чтобы обеспечить требуемую желобчатость ленты на всей длине конвейера. Конвейерная лента 5 с помощью гибких элементов 11 и узлов крепления 7 подвешивается к подвеске 10, основным элементом которой являются ходовые ролики 9. Ходовые ролики катятся по поверхности трубчатой направляющей, обеспечивая плавное перемещение ленты с грузом 12. При этом вблизи барабанов трубчатые направляющие 6 имеют отгибы в горизонтальной плоскости (выполаживающие участки), позволяющие ленте в местах ее взаимодействия с барабаном принять плоскую форму [1].

Важной задачей при проектировании КПЛ является снижение металлоемкости. Оно может быть достигнуто как путем оптимизации существующих машин, так и на предварительном этапе проектирования конвейеров.

Цель оптимального проектирования металлоконструкции (МК) конвейера заключается в максимальном использовании запаса работоспособности конструкции. Она достигается путем создания металлоконструкции, имеющей минимальную массу при выполнении требуемых конструктивных, прочностных, жесткостных, коррозионных и монтажных ограничений, что приводит к снижению себестоимости конвейера в целом [4-6].

Типичная структурная схема стационарного конвейера с подвесной лентой состоит из трех основных конструктивных узлов (рис. 2), которые подразделяются на детали (стержни, раскосы, стойки). Анализ каждого из характерных элементов металлоконструкции КПЛ заключается в рассмотрении их с учетом наличия избыточных стержней и раскосов. В зависимости от технического задания на проектирование стационарного конвейера с подвесной лентой металлоконструкция основных конструктивных узлов (рис. 3) будет многообразной, т.е. они будут иметь разное количество, длину и профиль поперечного сечения деталей.

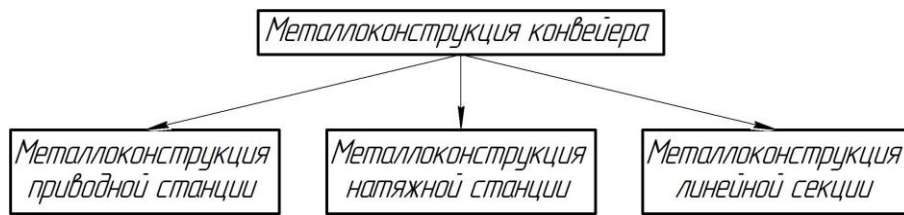


Рис. 2. Структурная схема металлоконструкции конвейера с подвесной лентой

Детали основных конструктивных узлов металлоконструкции КПЛ имеют поперечные сечения различной геометрической конфигурации. Оптимальными с точки зрения минимальной массы деталей при выполнении требуемых прочностных и жесткостных условий являются такие профили, как прямоугольная и круглая трубы, швеллер и уголок.

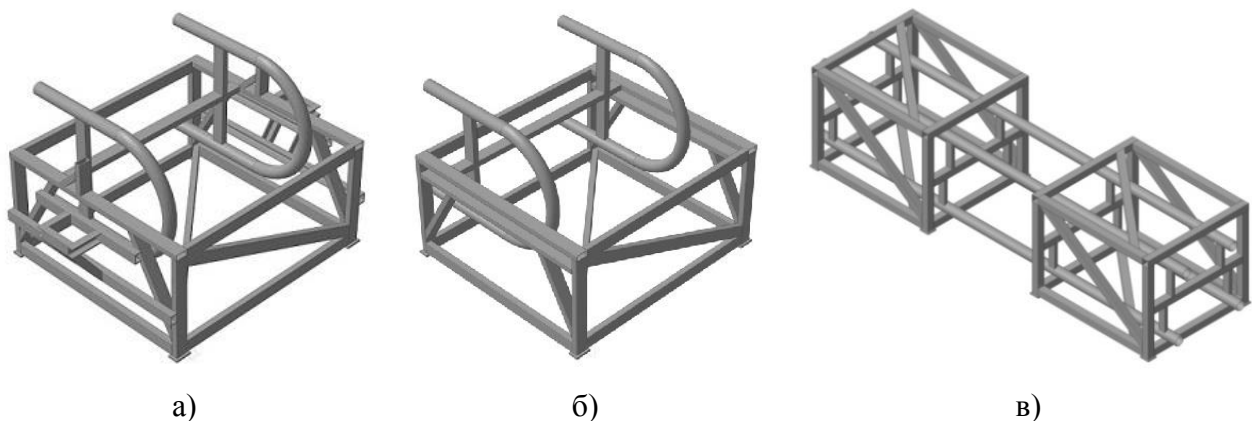


Рис. 3. Схемы основных конструктивных узлов металлоконструкций стационарного КПЛ: а – приводной станции; б – натяжной станции; в – линейных секций

В общем виде масса металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой составляет

$$M = m_{nc} + m_{нс} + m_{лс} ,$$

где m_{nc} , $m_{нс}$, $m_{лс}$ – масса МК приводной станции, натяжной станции и линейной секции соответственно.

Металлоконструкция КПЛ характеризуется совокупностью значений – геометрическими характеристиками его отдельных конструктивных элементов (размерами поперечного сечения и длинами участков МК). Часть из них не подвергается изменению (варьированию) в ходе отыскания оптимального результата, т.е. в процессе оптимизации этими параметрами либо невозможно, либо нецелесообразно управлять. К их числу относятся те, которые явно зависят от других параметров металлоконструкции, или уже определены на ранних этапах расчета. К числу параметров, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании металлоконструкции и которыми невозможно управлять, относятся также эксплуатационные нагрузки, определяемые техническим заданием на проектирование конвейера.

Помимо неуправляемых параметров также есть управляемые параметры МК, которые варьируются для поиска оптимального результата. Из этих параметров составляется вектор неизвестных размеров $\{x\}$, подлежащих определению. Определенный в процессе оптимизации вектор управляемых $\{x\}$ и вектор неуправляемых $\{z\}$ параметров целиком определяют геометрические характеристики оптимальной металлоконструкции конвейера. Повышенного эффекта от процедуры оптимизации возможно добиться при наличии максимально возможного числа управляемых параметров, в результате чего можно ожидать существенного уменьшения металлоемкости оптимизируемой конструкции стационарного конвейера с подвесной лентой.

Задача оптимального проектирования металлоконструкции КПЛ в общем виде сформулирована следующим образом: для конкретного варианта МК требуется найти такое сочетание ее варьируемых размеров, при котором достигался минимум веса с учетом конструктивных, прочностных, жесткостных, коррозионных и монтажных ограничений

$$\begin{aligned} C(\{x\},\{z\}) &\rightarrow \min; \\ e_m(\{x\},\{z\}) &\geq 0, (m = 1, \dots, M); \\ f_n(\{x\},\{z\}) &\geq 0, (n = 1, \dots, N); \\ g_p(\{x\},\{z\}) &\geq 0, (p = 1, \dots, P); \\ j_s(\{x\},\{z\}) &\geq 0, (s = 1, \dots, S); \\ k_u(\{x\},\{z\}) &\geq 0, (u = 1, \dots, U), \end{aligned}$$

где C – целевая функция (вес металлоконструкции конвейера); e_m , f_n , g_p , j_s , k_u – системы конструктивных, прочностных, жесткостных, коррозионных и монтажных ограничений соответственно.

Для создания универсальной целевой функции каждый элемент МК рассматривается в отдельности. Проводится анализ возможного профиля поперечного сечения для каждой детали элемента, определяется число управляемых $\{x\}$ и неуправляемых $\{z\}$ параметров. После выполнения данной процедуры анализа для каждого элемента металлоконструкции стационарного КПЛ составляется целевая функция, представленная ниже для каждого из трех элементов:

- целевая функция приводной станции

$$\begin{aligned} C_1(\{x'_i\},\{z'_i\}) = &\{j_1^n 8\rho_1 z_1^n x_1^n (x_2^n + x_3^n - 2x_1^n) + j_1^m 4\rho_1 z_1^m [x_1^m (x_2^m - 2x_3^m) + 2x_4^m x_3^m] + \\ &+ j_1^y 4\rho_1 z_1^y x_1^y (x_2^y + x_3^y - x_1^y) + j_1^k 4\pi \rho_1 z_1^k x_1^k (x_2^k - x_1^k)\} + \dots + \{j_{17}^n 2\rho_{17} x_{58}^n x_{59}^n (x_{60}^n + x_{61}^n - 2x_{59}^n) + \\ &+ j_{17}^m \rho_{17} x_{69}^m [x_{70}^m (x_{71}^m - 2x_{72}^m) + 2x_{73}^m x_{72}^m] + j_{17}^y \rho_{17} x_{45}^y x_{46}^y (x_{47}^y + x_{48}^y - x_{46}^y) + j_{17}^k \pi \rho_{17} x_{26}^k x_{27}^k (x_{28}^k - x_{27}^k)\}; \end{aligned}$$

- целевая функция натяжной станции

$$\begin{aligned} C_2(\{x'_i\},\{z'_i\}) = &\{j_1^n 8\rho_1 z_1^n x_1^n (x_2^n + x_3^n - 2x_1^n) + j_1^m 4\rho_1 z_1^m [x_1^m (x_2^m - 2x_3^m) + 2x_4^m x_3^m] + \\ &+ j_1^y 4\rho_1 z_1^y x_1^y (x_2^y + x_3^y - x_1^y) + j_1^k 4\pi \rho_1 z_1^k x_1^k (x_2^k - x_1^k)\} + \dots + \{j_{11}^n 2\rho_{11} x_{33}^n x_{34}^n (x_{35}^n + x_{36}^n - 2x_{34}^n) + \end{aligned}$$

$$+ j_{11}^u \rho_{11} x_{43}^u [x_{44}^u (x_{45}^u - 2x_{46}^u) + 2x_{47}^u x_{46}^u] + j_{11}^y \rho_{11} x_{33}^y x_{34}^y (x_{35}^y + x_{36}^y - x_{34}^y) + j_{11}^k \pi \rho_{11} x_{13}^k x_{14}^k (x_{15}^k - x_{14}^k);$$

- целевая функция линейной секции

$$C_3(\{x_i^r\}, \{z_i^r\}) = \{j_1^n 8 \rho_1 z_1^n x_1^n (x_2^n + x_3^n - 2x_1^n) + j_1^u 4 \rho_1 x_1^u [x_2^u (x_3^u - 2x_4^u) + 2x_5^u x_4^u] + \\ + j_1^y 4 \rho_1 x_1^y x_2^y (x_3^y + x_4^y - x_2^y)\} + \dots + \{j_9^n 2 \rho_9 x_{31}^n x_{32}^n (x_{33}^n + x_{34}^n - 2x_{32}^n) + \\ + j_9^u \rho_9 x_{39}^u [x_{40}^u (x_{41}^u - 2x_{42}^u) + 2x_{43}^u x_{42}^u] + j_9^y \rho_9 x_{31}^y x_{32}^y (x_{33}^y + x_{34}^y - x_{32}^y) + j_9^k \pi \rho_9 x_{11}^k x_{12}^k (x_{13}^k - x_{12}^k)\},$$

где j_i^r – признак наличия i -го элемента в конструкции ($j_i^r = 1$ – элемент имеется; $j_i^r = 0$ – элемент отсутствует); i – i -ый элемент конструкции; r – показатель формы поперечного сечения ($r=n$ –прямоугольная труба; $r=u$ – швеллер; $r=y$ – уголок; $r=k$ – круглая труба); ρ_i – плотность материала элемента; x_a^c, z_b^c – варьируемый и не варьируемый параметры МК; a, b – геометрический размер варьируемого и не варьируемого параметров МК.

Целевая функция металлоконструкции конвейера с подвесной лентой в общем виде

$$C(\{x\}, \{z\}) = C_1(\{x_i^r\}, \{z_i^r\}) + C_2(\{x_i^r\}, \{z_i^r\}) + C_3(\{x_i^r\}, \{z_i^r\}).$$

С учетом целевых функций всех основных конструктивных узлов сформирована система конструктивных, прочностных, жесткостных, коррозионных и монтажных ограничений. Для каждого элемента конструкции они будут различные.

Конструктивные ограничения:

- для приводной и натяжной станций: длины поперечных стержней больше длины обечайки приводного (натяжного) барабана; длины вертикальных стержней обеспечивают огибание конвейерной ленты на приводном (натяжном) барабане по криволинейной направляющей; длина натяжной станции выбирается с учетом натяжения ленты для обеспечения необходимого перемещения натяжного барабана вдоль станции;

- для линейной секции: вертикальные стойки не рекомендуется устанавливать с шагом более 4 м, так как при его увеличении возрастают динамические усилия со стороны подвески (от массы ленты с грузом) на направляющие.

К прочностным ограничениям относятся [7]:

- не превышение продольной силой N в стержнях и раскосах, подверженных центральному растяжению или сжатию, предела текучести материала при расчете на статическую прочность

$$\frac{AR_{yn}}{\gamma_m} \gamma_c - k_\sigma N \geq 0; \quad (1)$$

- не превышение продольной силой N в стержнях и раскосах, эксплуатация которых возможна и после достижения материалом предела текучести, временного сопротивления материала разрыву при расчете на статическую прочность

$$\frac{AR_{un} \gamma_c}{\gamma_m \gamma_u} - k_\sigma N \geq 0; \quad (2)$$

- не превышение продольной силой N в стержнях и раскосах, подверженных центральному сжатию, предела текучести материала при расчете на устойчивость

$$\frac{\varphi AR_{yn}}{\gamma_m} \gamma_c - k_\sigma N \geq 0; \quad (3)$$

- не превышение изгибающими моментами M_y и M_z в стержнях и раскосах предела текучести материала при расчете на статическую прочность

$$\frac{R_{yn}}{\gamma_m} \gamma_c - k_\sigma \left(\frac{M_y}{I_y} z + \frac{M_z}{I_z} y \pm \frac{B\omega}{I_\omega} \right) \geq 0; \quad (4)$$

- не превышение продольной силой N и моментами M_y и M_z в стержнях и раскосах предела текучести материала при расчете на статическую прочность

$$\frac{R_{yn}}{\gamma_m} \gamma_c - k_\sigma \left(\frac{N}{A} \pm \frac{M_y}{I_y} z \pm \frac{M_z}{I_z} y \pm \frac{B\omega}{I_\omega} \right) \geq 0, \quad (5)$$

где A – площадь сечения; γ_c – коэффициент условий работы; R_{yn} – предел текучести материала; γ_m – коэффициент надежности по материалу; γ_u – коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению; R_{tm} – временное сопротивление материала разрыву; φ – коэффициент продольного изгиба центрально-сжатых стержней; M_y, M_z, B – изгибающий момент относительно оси y - y и z - z и бимомент соответственно; I_y, I_z, I_ω – момент сопротивления сечения относительно оси x - x и y - y и секториальный соответственно; y, z, ω – координаты рассматриваемой точки сечения относительно главных осей; E – модуль упругости.

Динамические нагрузки, возникающие от движения конвейерной ленты и действующие через подвески на направляющие, учитываются введением коэффициента динамичности k_d в левые части неравенств (1)-(5).

К жесткостному ограничению относится не превышение прогибом f в стержнях и раскосах предельного прогиба f_u элемента конструкции [8]:

$$f_u - f \geq 0.$$

В процессе эксплуатации на металлоконструкцию стационарного конвейера с подвесной лентой возможно негативное коррозионное воздействие со стороны окружающей среды, обусловленное наличием атмосферной влаги, образованием пленок жидкого конденсата, воздействием твердых и газообразных агрессивных веществ, наличием производственных загрязнений. Негативное коррозионное воздействие приводит к постепенному во времени удалению материала с поверхности элементов металлоконструкции, приводящего к уменьшению площади сечения стержней и раскосов

$$A - \frac{dA(\Pi)}{d\tau} \tau_{cc} - A_{\min} \geq 0,$$

где A, A_{\min} – площадь поперечного сечения детали до коррозионного воздействия и после него соответственно; dA – скорость коррозионного изнашивания площади сечения элемента МК; τ_{cc} – нормативный срок службы металлоконструкции КПЛ.

Монтажные ограничения должны соответствовать технологии сборочных операций.

После получения целевой функции металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой и систем ограничений, стал возможен процесс оптимизации. В качестве программного комплекса, в котором выполняется оптимальное проектирование металлоконструкции, используется продукт системы CAD/CAM/CAE NX [9], предназначенный для автоматизированного проектирования, изготовления и расчетов конструкций. Данный комплекс относится к системам высокого уровня и обладает широким набором инструментальных средств.

Общий алгоритм оптимального проектирования (рис. 4) осуществляется во взаимосвязанных средах NX NASTRAN и Altair HyperOpt программного комплекса NX.

На первоначальном этапе формируется оптимальная расчетная схема МК, последовательность получения которой состоит из ниже представленных действий.

Проверка исходного варианта МК по первому и второму предельным состояниям. Здесь осуществляется создание геометрической каркасной модели металлоконструкции КПЛ (рис. 5), дальнейшее ее преобразование в конечноэлементную модель, выбор материала из библиотеки данных, предварительный выбор профилей поперечных сечений стержней и раскосов, а также их размеров, введение жестких заделок и сил, действующих на металлоконструкцию стационарного КПЛ.

Геометрическая каркасная модель представляет собой сборку, включающую три основных конструктивных узла металлоконструкции в качестве компонентов: приводную станцию, натяжную станцию и линейную секцию. Построение данной модели осуществляется в CAD-подсистеме NX.

В конечноэлементной расчетной схеме стержни конструкции разделены по группам, в разной степени участвующим в процессе оптимизации. Каждый стержень группы в дальнейшем разбивается на заданное число элементов для расчета металлоконструкции методом конечных элементов.

Расчетная схема исходного варианта МК представлена на рис. 6-9.



Рис. 4. Этапы оптимального проектирования металлоконструкции стационарного КПЛ

Получив численные результаты напряжений, выполняется *анализ исходного варианта металлоконструкции*. Эта операция осуществлялась в следующей последовательности:

1. По полученным из расчета результатам производится оценка напряженно-деформированного состояния каждого стержня и раскоса.
2. Элементы, имеющие несущественные напряжения (до 10...20 МПа), исключаются из металлоконструкции. В случаях, когда в стержнях или раскосах возникают минимальные напряжения, но по конструктивным соображениям исключение их невозможно, тогда они остаются в металлоконструкции.

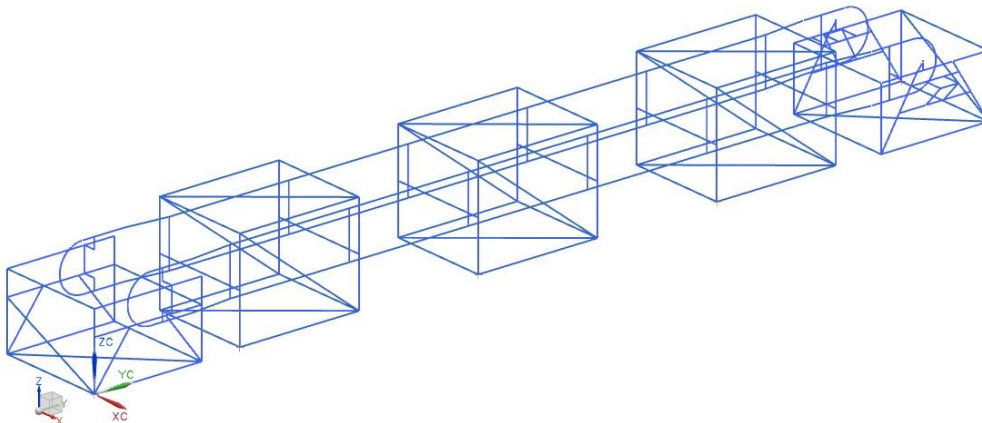


Рис. 5. Геометрическая каркасная модель металлоконструкции КПЛ

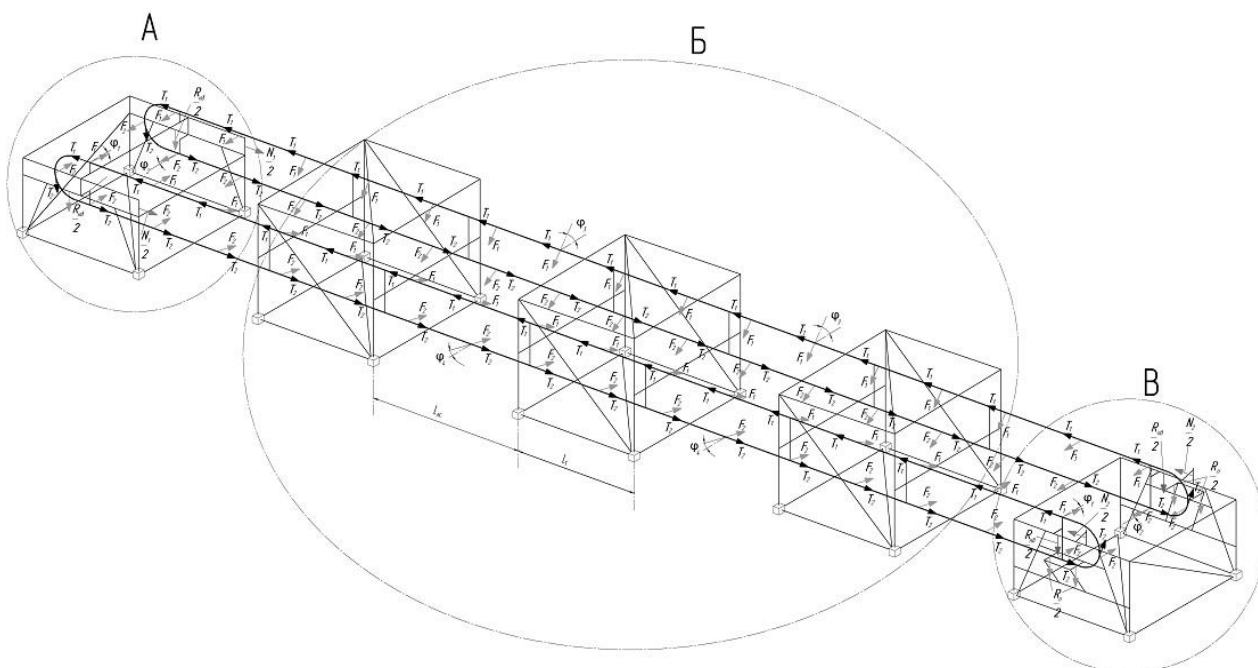


Рис. 6. Расчетная схема несущей конструкции КПЛ для проведения оптимального проектирования

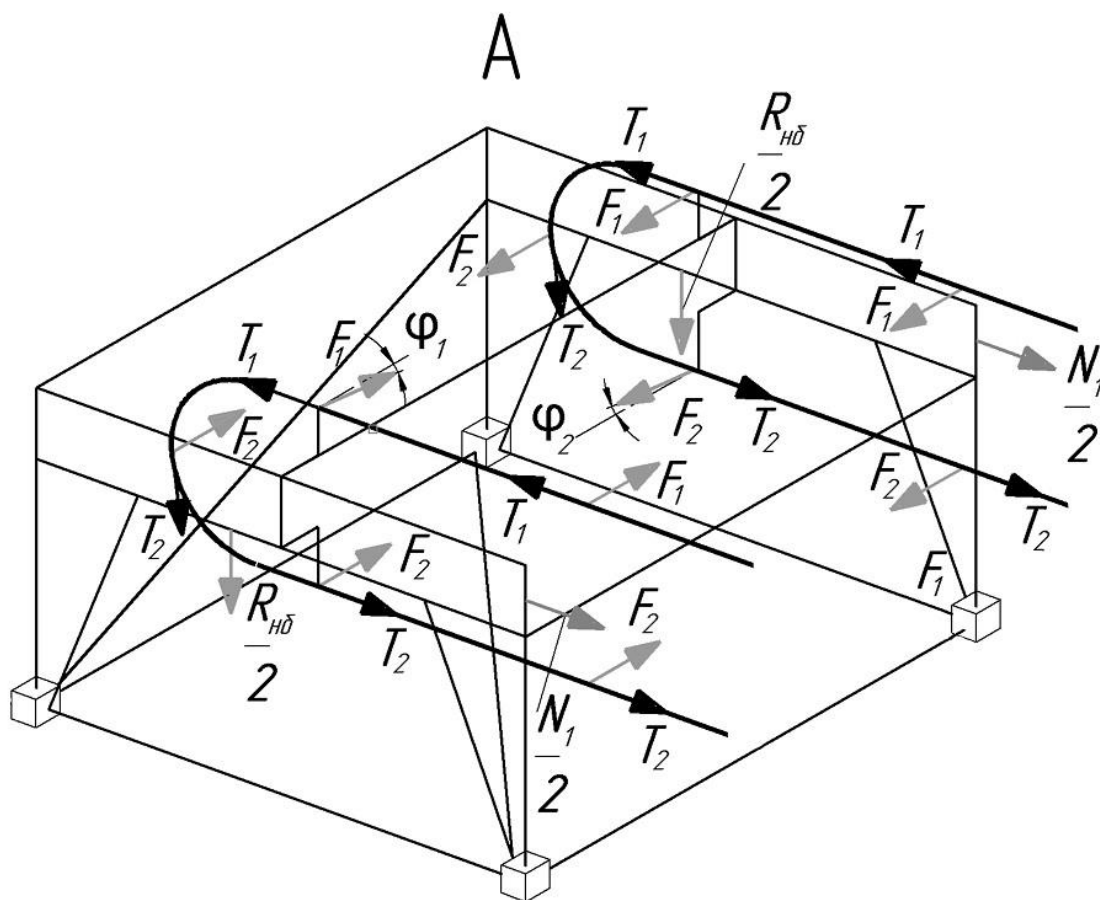


Рис. 7. Расчетная схема несущей конструкции натяжной станции КПЛ для проведения оптимального проектирования

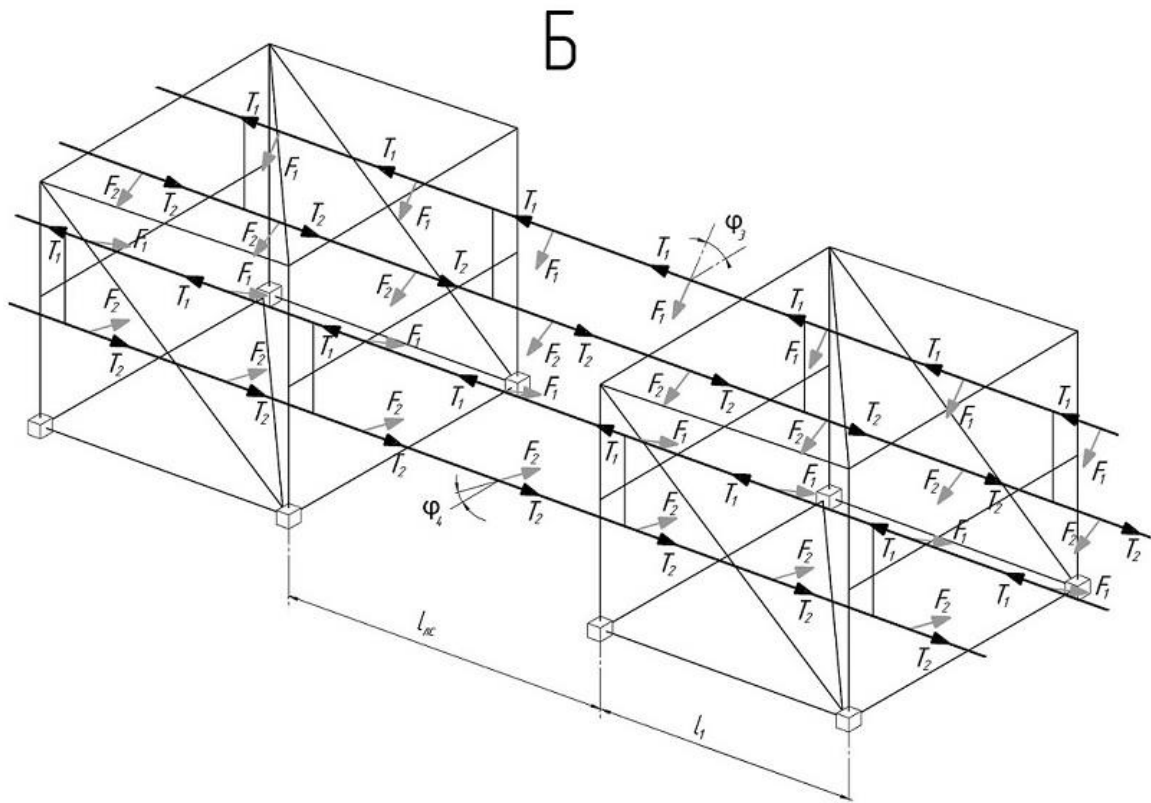


Рис. 8. Расчетная схема несущей конструкции линейной секции КПЛ для проведения оптимального проектирования

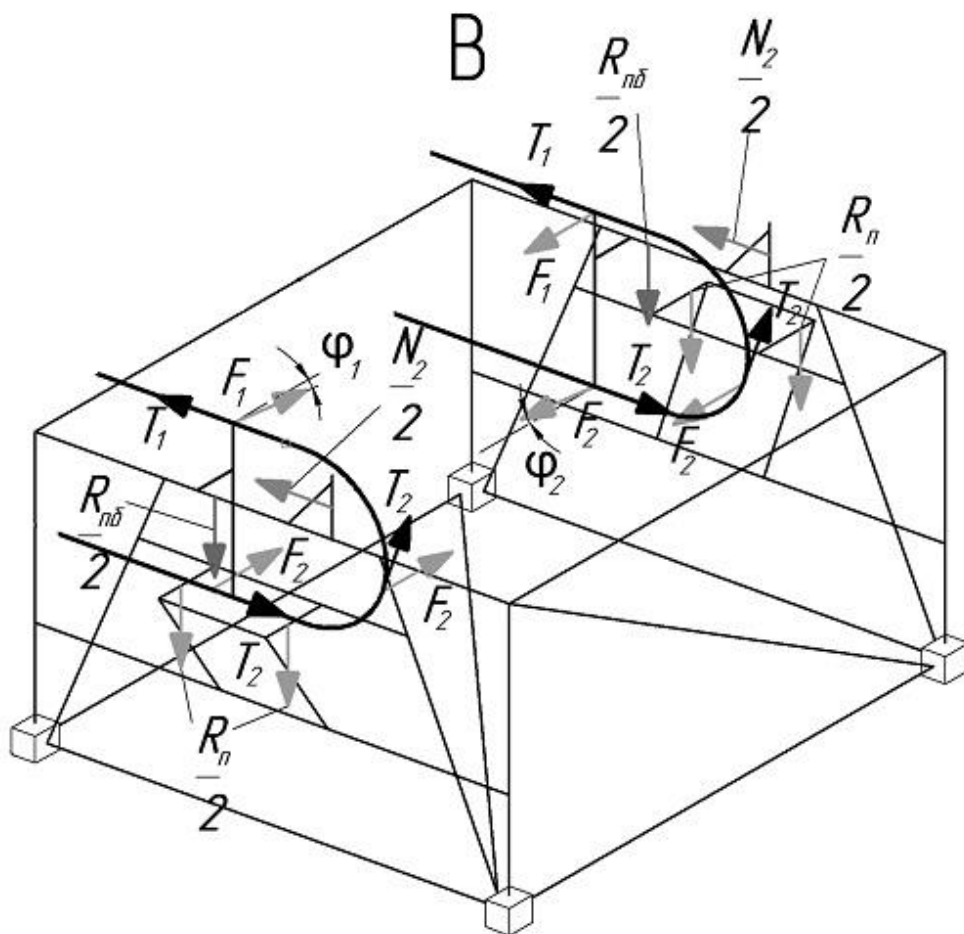


Рис. 9. Расчетная схема несущей конструкции приводной станции КПЛ для проведения оптимального проектирования

После выявления избыточных стержней и раскосов, происходит *перестройка металлоконструкции*. Она заключалась в удалении из каркасной модели элементов конструкции, имеющих минимальные напряжения. После чего каркасная модель исходного варианта МК меняет вид (рис. 10).

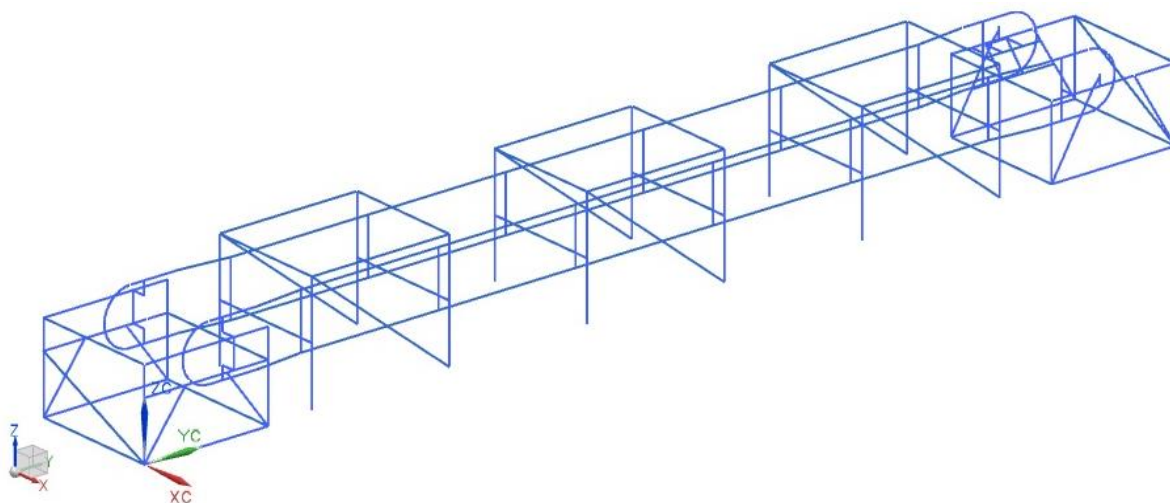


Рис. 10. Перестроенная геометрическая каркасная модель МК

Далее выполняются действия, аналогичные начальному этапу. По их окончании формируется новая сетка конечных элементов.

На данной стадии операций заканчивается процесс перестройки исходного варианта металлоконструкции в среде NX NASTRAN.

Следующим шагом осуществляется *проверка перестроенного варианта металлоконструкции КПП по первому и второму предельным состояниям* [10]. Последовательность выполнения аналогична действиям на начальном этапе.

Далее приступаем к процедуре оптимального проектирования в среде Altair HyperOpt.

Первоначально выполняется ввод исходных данных. Задаются ограничения, предварительно просчитываются прочностные ограничения (1)-(5).

Следующим действием на варьируемые параметры поперечных сечений деталей МК накладываются значения нижнего и верхнего пределов.

По окончании ввода исходных данных приступаем к определению оптимальных размеров профилей поперечного сечения металлоконструкции КПП.

По завершению процедуры оптимального проектирования получается требуемый техническим заданием вариант МК стационарного конвейера с подвесной лентой с оптимальными геометрическими размерами стержней и раскосов.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработаны математические модели и методика оптимального проектирования основных узлов металлоконструкции стационарных конвейеров с подвесной лентой, позволяющие на этапе проектирования создавать оптимальные по материалоемкости варианты металлоконструкции при условии соблюдения требуемых конструктивных, прочностных, жесткостных, коррозионных и монтажных ограничений.

2. Разработаны универсальные расчетные схемы основных узлов металлоконструкции стационарных конвейеров с подвесной лентой, стержни и раскосы которых представлены в виде варьируемых (управляемых) и неварьируемых (неуправляемых) параметров. Путем исключения избыточных конструктивных элементов (стержней и раскосов) из узлов металлоконструкции формируются окончательные варианты расчетных схем в соответствии с условиями технического задания на проектирование, которые в дальнейшем участвуют в процедуре оптимального проектирования. Повышенного технико-экономического эффекта от оптимизации возможно добиться при наличии максимально возможного числа управляемых

параметров, в результате чего можно ожидать существенного уменьшения металлоемкости оптимизируемой конструкции конвейера.

3. Разработанные математические модели и методика оптимального проектирования основных узлов металлоконструкции стационарных конвейеров с подвесной лентой реализованы в программном комплексе NX, в котором узлы металлоконструкции первоначально подвергаются расчету по первому и второму предельным состояниям в среде NX NASTRAN, после проводится процедура оптимального проектирования в среде Altair HyperOpt. Данные взаимосвязанные операции возможно осуществлять в одном программном комплексе NX, что значительно облегчает работу конструктора. Также данный комплекс позволяет проводить итерационное оптимальное проектирование. В нем имеется модуль автоматизированной оценки, исключающий избыточные стержни и раскосы, в которых возникают минимальные напряжения. При этом необходимо ввести ограничение в виде запрета на исключение стержней и раскосов, конструктивно влияющих на схему металлоконструкции. Таким образом, задав исходные данные для проектирования, программа самостоятельно определяет оптимальный результат без вмешательства со стороны конструктора.

Список литературы

1. Аверченков, В.И. Конвейеры с подвесной лентой / В.И. Аверченков, С.В. Давыдов, В.П. Дунаев, В.Н. Ивченко, С.В. Куров, М.Ю. Рытов, В.И. Сакало; Под общ. ред. В.И. Аверченкова, В.Н. Ивченко. – М.: Машиностроение – 1, 2004. – 256с.
2. Лагерев, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев // Инженерный журнал. Справочник. – 2009. – №10 – с.9 – 14.
3. Лагерев, А.В. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом / А.В. Лагерев, Д.Ю. Кулешов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №2. – с.50 – 56.
4. Лагерев, А.В. Универсальная методика оптимального проектирования металлоконструкций конвейеров с подвесной лентой / А.В. Лагерев, П.В. Бословяк // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №1. – С. 31 – 36.
5. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование узлов металлоконструкции конвейера с подвесной лентой в программном комплексе NX / А.В. Лагерев, П.В. Бословяк // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №2. – С. 38 – 44.
6. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование металлоконструкций стационарных конвейеров с подвесной лентой на основе разработанной базы конструктивных схем / А.В. Лагерев, П.В. Бословяк // Вестник развития науки и образования. – 2014. - №3. – С. 63-67.
7. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* / Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2011. – 173 с.
8. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* / Минрегион России. - М.: ОАО «НИЦ «Строительство», 2011. – 85 с.
9. Гончаров, П.С. NX для конструктора-машиностроителя / П.С. Гончаров, М.Ю. Ельцов, С.Б. Коршиков, И.В. Лаптев, В.А. Осюк. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 500 с.
10. 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.

Сведения об авторах

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

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

UNIVERSAL METHOD FOR OPTIMAL DESIGN MAIN STRUCTURAL ASSEMBLIES OF STEEL STRUCTURES STATIONARY CONVEYOR WITH HANGING RIBBON

P.V. Boslovyak, E.P. Zueva

Bryansk State Technical University

The technique and the detailed algorithm for optimal design of steel structures hospitalation of the conveyor with hanging ribbon. Developed a universal objective function together with the system-limited-subject to limits of main components of steel structures of stationary conveyor with hanging ribbon.

Keywords: steel structures, conveyor with hanging ribbon, optimal design, optimization, objective function, constraint, the main structural nodes, algorithm, software complex

References

1. Averchenkov V.I., Davydov S.V., Dunaev V.P., Ivchenko V.N., Kurov S.V., Rytov M.Yu., Sakalo V.I. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with hanging ribbon. Moscow, Mashinostroenie-1, 2004. 256 p.
2. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport mashines, *Inzhenernyy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
3. Lagerev A.V., Kuleshov D.Yu. Dynamic processes of discrete section of a conveyor with suspended belt and distributed drive at transient state of work, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.2, pp. 50-56.
4. Lagerev A.V., Boslovyak P.V. Universalnaya metodika optimalnogo proektirovaniya metallkonstruktsiy konveyerov s podvesnoy lentoy [Universal method for optimal design of steel structures conveyors with hanging belt], *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 31 – 36.
5. Lagerev A.V., Boslovyak P.V. Optimalnoe proektirovanie uzlov metallkonstruktsii konveyera s podvesnoy lentoy v programmnom komplekse NX [Optimal design of joints of steel structures conveyor with hanging belt in the software package NX], *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.2, pp. 38 – 44.
6. Lagerev A.V., Boslovyak P.V. Optimalnoe proektirovanie metallkonstruktsiy statsionarnykh konveyerov s podvesnoy lentoy na osnove razrabotannoy bazy konstruktivnykh skhem [Optimal design of steel structures fixed conveyors with hanging belt designed on the basis of database design schemes], *Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2014, No.3, pp. 63-67.
7. SP 16.13330.2011. *Stalnye konstruktsii* [Steel Constructions]. Moscow, OAO “TsPP”, 2011. 173 p.
8. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdeystviya* [Loads and effects]. Moscow, OAO “NITs” “Stroitelstvo”, 2011. 85 p.
9. Goncharov P.S., Eltzov M.Yu., Korshikov S.B., Laptev I.V., Osiyuk V.A. *NX dlya konstruktora-mashinostroytelya* [NX for mechanical engineer]. Moscow, DMK Press, 2013. 500 p.
10. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskikh konstruktсий pod'yemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.

Authors' information

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

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

УДК 621.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК НА ПОДВИЖНОМ ШАССИ

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

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

Представлена модификация предложенной ранее методики для анализа динамики и прочности гидравлических крано-манипуляторных установок на неподвижном шасси. Модификация заключается в добавлении перед шасси крано-манипуляторной установки шарнира с шестью степенями свободы, обеспечивающего его подвижность. В разработанном программном комплексе KBCrane с помощью данной методики выполнен динамико-прочностной расчет крано-манипуляторной установки на плавучем средстве. На основе результатов расчета сделаны выводы о нагруженности элементов металлоконструкции КМУ.

Ключевые слова: динамика, кран-манипулятор, крано-манипуляторная установка, подвижное шасси, напряжение

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

В работах [1-3] была представлена методика динамического и прочностного анализа гидравлических кранов-манипуляторов, в которой крано-манипуляторная установка моделировалась системой шарнирно-сочлененных тел (рис. 1).

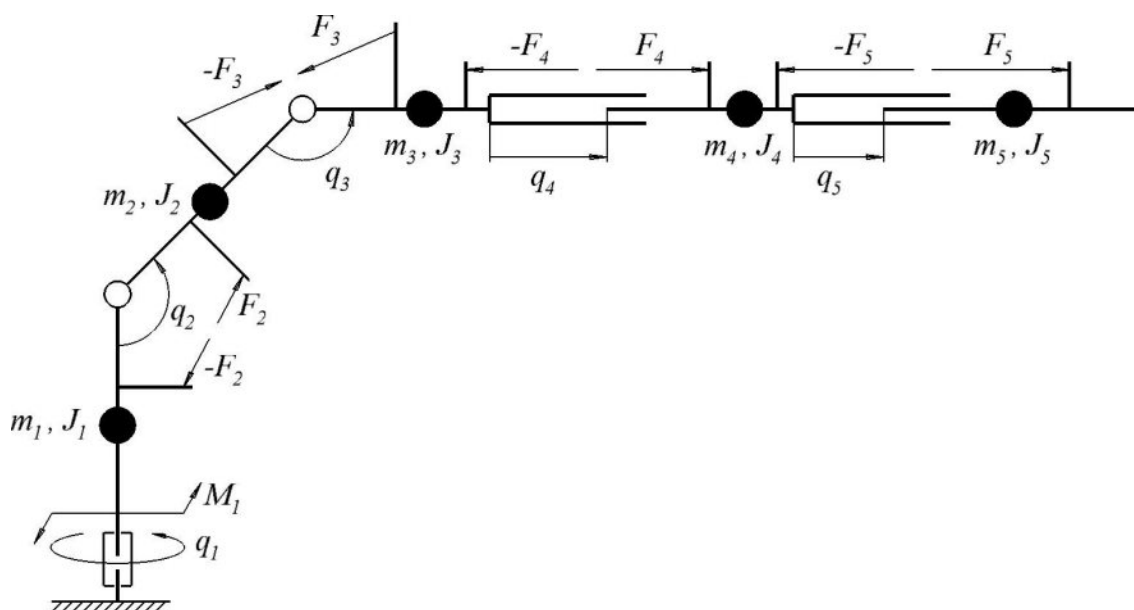


Рис. 1. Пример расчетной схемы крано-манипуляторной установки для решения задачи динамики: q_i – i -я обобщенная координата; m_i, J_i – масса и тензор инерции в центре тяжести i -го звена; F_i, M_i – усилия, передаваемые от i -го гидродвигателя

В предложенной методике были приняты допущения о недеформируемости звеньев крано-манипуляторной установки, зафиксированности основания и невесомости элементов гидропривода, позволившие использовать для решения задач динамики наименее ресурсоемкие алгоритмы [4]: алгоритм Ньютона-Эйлера (RNEA – Recursive Newton-Euler Algorithm) [5] и алгоритм составного твердого тела (CRBA – Composite Rigid Body Algorithm) [6]. Для вычисления напряжений в элементах металлоконструкции КМУ использовался алгоритм, базирующийся на положениях теории тонкостенных стержней [1].

В настоящей работе рассматривается модификация данной методики, позволяющая применять ее для анализа динамики и прочности крано-манипуляторной установки на по-

движном шасси. Идея модификации состоит во внедрении перед основанием крано-манипуляторной установки шарнира с шестью степенями свободы (рис. 2, а).

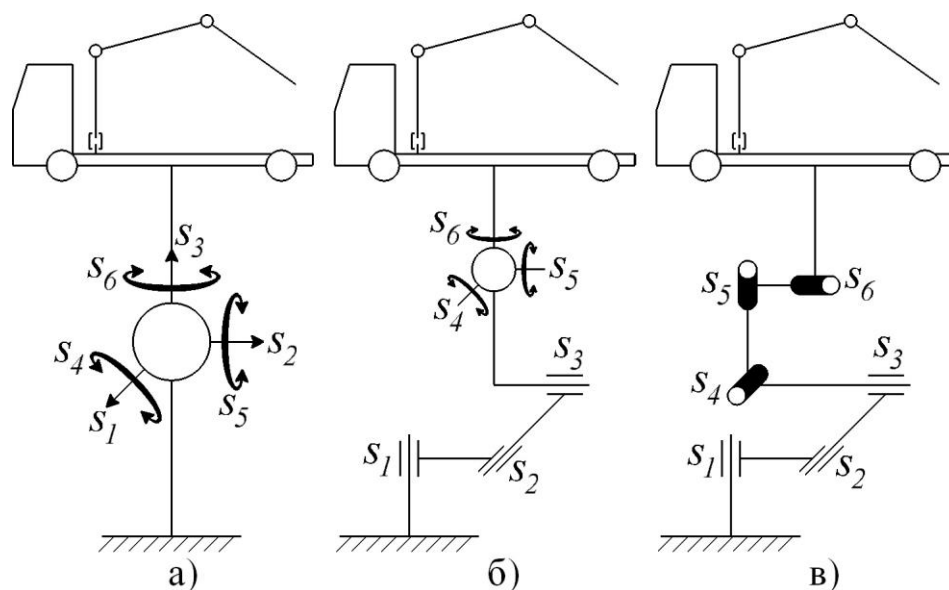


Рис. 2. Сочленение с шестью степенями свободы, моделируемое:
 а – единым шарниром; б – комбинацией сферического и призматических шарниров;
 в – набором петлевых и призматических шарниров

Аналогичный подход ранее был предложен в работе [7]. Он позволяет обойти обязательное условие неподвижности основания крано-манипуляторной установки, заложенное в алгоритмах RNEA и CRBA. Внедряемый шарнир может быть представлен как одним единым сочленением, обладающим шестью степенями свободы, так и набором сочленений. Использование сферического шарнира для моделирования трех вращательных степеней свободы (рис. 2, б) более предпочтительно, чем использование комбинации трех петлевых шарниров (рис. 2, в), так как данная конструкция не подвержена явлению шарнирного замка.

Наиболее актуально применение улучшенной методики при исследовании следующих ситуаций:

- разгон и торможение транспортного средства, на котором установлена крано-манипуляторная установка;
- движение транспортного средства с бортовой крано-манипуляторной установкой по криволинейной траектории;
- движение транспортного средства с бортовой крано-манипуляторной установкой по неровностям;
- эксплуатация крано-манипуляторной установки на плавучем средстве;
- оценка сейсмических воздействий на динамику и прочность крана-манипулятора.

В качестве примера в разработанном программном комплексе KVCrane Dynamics [8] смоделирована эксплуатация крано-манипуляторной установки машины АСТ-4-А [9, 10], совершающей колебания в направлениях, соответствующих степеням свободы s_3 и s_5 с периодом 8 с и амплитудами 0,5 м и 15° соответственно. В качестве исходных данных для моделирования использовались зависимости обобщенных ускорений \ddot{s}_3 и \ddot{s}_5 от времени (рис. 4). Расчет выполнен для двух вариантов ориентации стрелы относительно продольной оси судна s_2 : вдоль ($q_1 = 0^\circ$) и поперек ($q_1 = 90^\circ$). Для данных расчетных случаев в программном комплексе KVCrane Graphics [11] построены графики зависимости колебаний груза (q_4, q_5) и максимальных напряжений в стреле и рукояти (σ_2, σ_3) от времени (рис. 5).

В обоих моделируемых сценариях колебания судна приводили к раскачиванию груза в вертикальной плоскости: в первом случае ($q_1 = 0^\circ$) в направлении q_4 ($q_5 = q_6 = \text{const}$), во втором случае ($q_1 = 90^\circ$) в перпендикулярном ему направлении q_5 ($q_4 = q_6 = \text{const}$). Максимальные напряжения в стреле наблюдались в первом расчетном случае в области сочленения с поворотной колонной, когда крен судна и отклонение груза от вертикали были максимальными, и достигали 295 МПа, что на 52% больше уровня максимальных напряжений зарегистрированных в стреле при отсутствии качки судна (194 МПа).

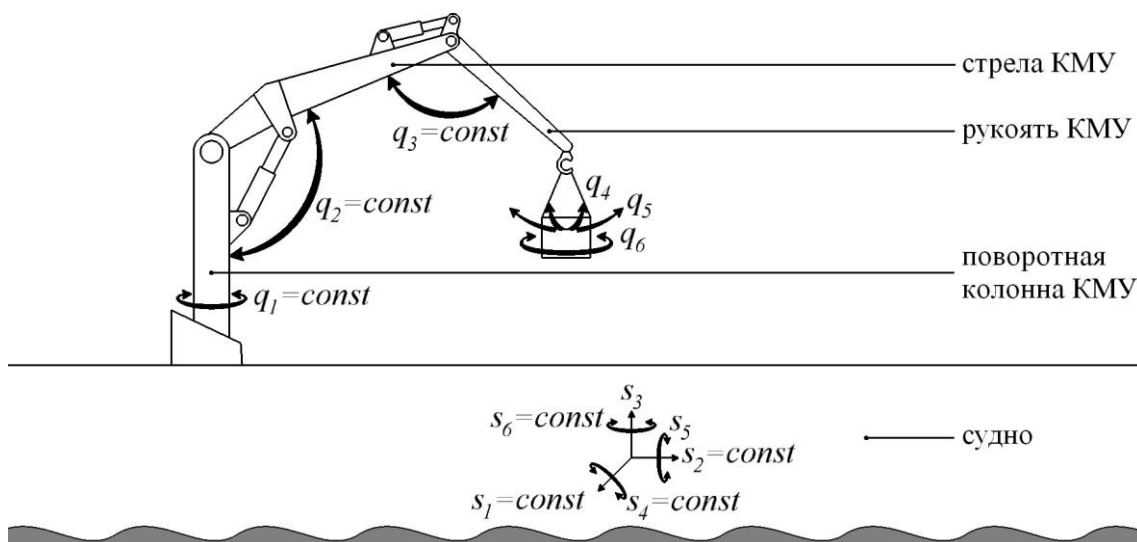


Рис. 3. Крано-манипуляторная установка на судне, раскачивающемся в направлениях s_3, s_5

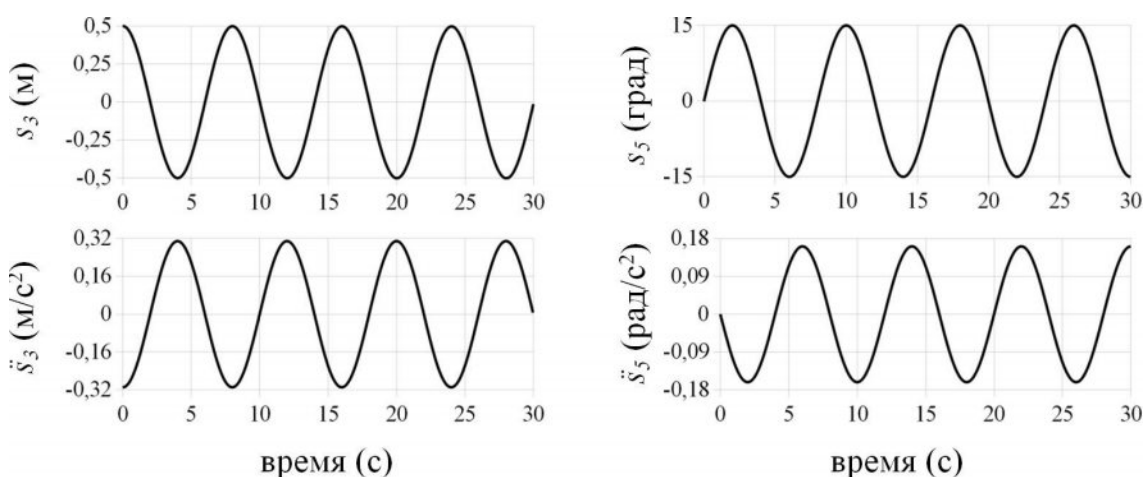


Рис. 4. Зависимости обобщенных координат s_3, s_5 и ускорений \ddot{s}_3, \ddot{s}_5 судна от времени

Наибольшие напряжения в рукояти зафиксированы во втором расчетном случае в области сочленения со стрелой, когда равнодействующая сил тяжести и инерции груза действовала на максимальном плече, и составили 106 МПа, что на 25% больше уровня наибольших напряжений зарегистрированных в рукояти при отсутствии раскачивания судна (85 МПа). Несмотря на то, что полученные значения максимальных напряжений не превышают предела текучести материала (390 МПа), для наиболее опасных случаев нагружения крано-манипуляторной установки целесообразно выполнить уточняющих расчет с использованием метода конечных элементов [12, 13].

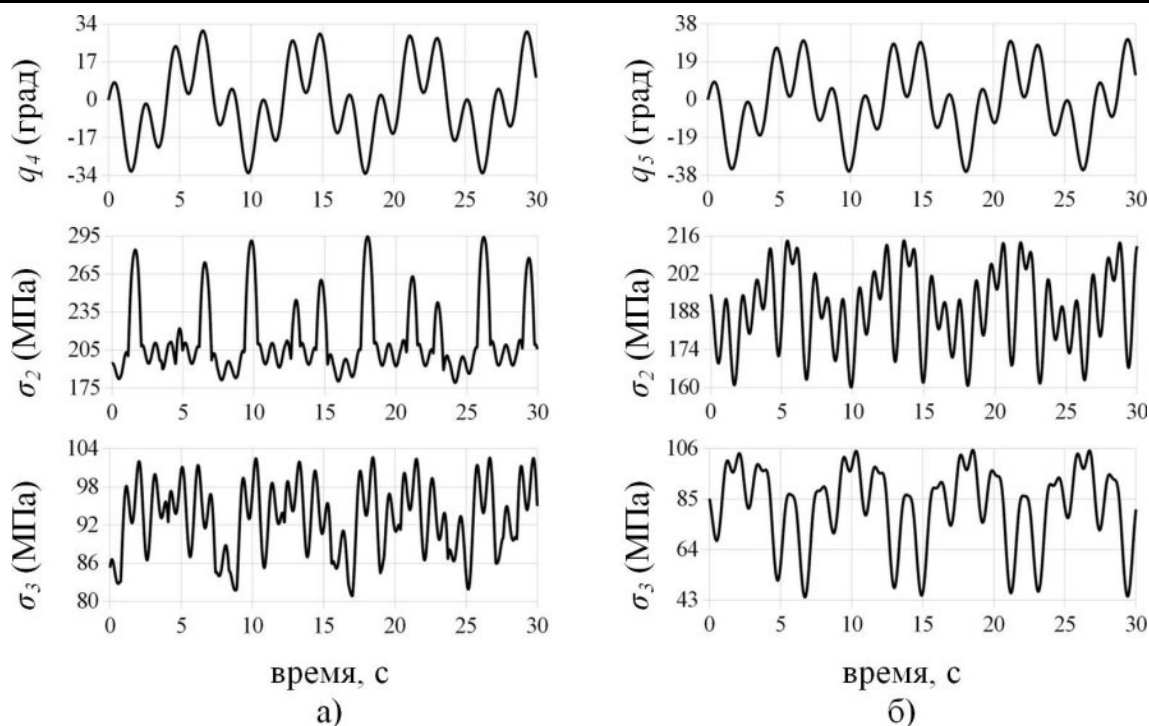


Рис. 5. Зависимости параметров моделируемой системы от времени:
 а – при ориентации стрелы крано-манипуляторной установки вдоль оси судна;
 б – поперек оси судна

Список литературы

1. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes // International Review on Modelling and Simulations. – 2014. – Vol. 7, N. 4. – P. 644–652.
2. Лагерев, А.В. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. - №3. - С. 24-31.
3. Лагерев, А.В. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических кранов-манипуляторов в задачах динамики / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. - № 4. - С. 21-26.
4. Featherstone R. Rigid Body Dynamics Algorithms. – N.Y.: Springer, 2008. – 272 p.
5. Luh J.Y.S., Walker M.W., Paul R.P.C. On-Line Computational Scheme for Mechanical Manipulators // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 1980. – Vol. 102, N 2. – P. 69–76.
6. Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 1982. – Vol. 104, N 3. – P. 205–211.
7. McMillan S., Orin D.E. Forward Dynamics of Multilegged Vehicles Using the Composite Rigid Body Method // IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 1998. – Vol. 1. – P. 464–470.
8. Лагерев, А.В. KBСrane Dynamics / А.В. Лагерев, А.А. Мильто // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014614195. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 17.04.14.
9. Лагерев, А.В. Модернизация крана-манипулятора самоходной энергетической машины АСТ-4-А / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.В. Говоров // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2010. - № 4. - С. 59-66.

10. Лагереv, А.В. Динамический анализ трехзвенного гидравлического крана-манипулятора / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2011. - № 3. - С. 9-16.

11. Лагереv, А.В. KBCrane Graphics / А.В. Лагереv, А.А. Мильто // Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014614196. - Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 17.04.14.

12. Лагереv, И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов // И.А. Лагереv. – Брянск: БГТУ, 2013. – 116 с.

13. 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.

Сведения об авторах

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

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

Мильто А.А. - инженер, miltoandrey@ya.ru.

THE STUDY OF DYNAMICS AND STRENGTH OF HYDRAULIC CRANE-MANIPULATING INSTALLATIONS ON A MOVABLE CHASSIS

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

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The modified version of previously reviewed technique for dynamics and stress analysis of fixed-base manipulators (articulating cranes) is suggested. The idea is to insert a fictitious six-degrees-of-freedom joint between a fixed support and manipulator's base thus eliminating fixed base motion constraints. The technique has been implemented in the software package KBCrane and used for dynamics and stress analysis of an articulating crane mounted on a ship rocking in waves. Based on the results of simulation the distribution and level of stress in the crane is estimated.

Key words: *articulating crane, dynamics, floating-base manipulator, stress.*

References

1. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes. *International Review on Modelling and Simulations*, 2014, Vol.7, No.4, pp. 644–652.

2. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for analysing hydraulic articulating crane dynamics, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.3, pp. 24-31.

3. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for stress analysis of beam elements of articulating cranes in case of dynamic load, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 21-26.

4. Featherstone R. *Rigid Body Dynamics Algorithms*. N.Y., Springer, 2008. 272 p.

5. Luh J.Y.S., Walker M.W., Paul R.P.C. On-Line Computational Scheme for Mechanical Manipulators, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 1980, Vol.102, No.2, pp. 69–76.

6. Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 1982, Vol.104, No.3, pp. 205–211.

7. McMillan S., Orin D.E. Forward Dynamics of Multilegged Vehicles Using the Composite Rigid Body Method, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1998, Vol.1, pp. 464–470.

8. Lagerev A.V., Milto A.A. *KBCrane Dynamics. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [KBCrane Dynamics. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2014614195, 2014.

9. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Govorov V.V. Crane-manipulator of mobile energy unit AST-4-a modernization, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, No.4, pp. 59-66.

10. 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.

11. Lagerev A.V., Milto A.A. *KBCrane Graphics. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [KBCrane Graphics. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2014614196, 2014.

12. Lagerev I.A. *Raschety gruzopod'yemnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Load-lifting machines calculations by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 116 p.

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

Authors' information

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

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

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

УДК 621.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТОВОГО КРАНА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.А. Лагереv

Брянский государственный университет имени академика И.Г.Петровского

Предложены математические модели и методика моделирования эксплуатационной нагруженности металлоконструкции мостового крана общего назначения в нормальных условиях эксплуатации. Рассмотрены вопросы подъема и опускания груза, передвижения грузовой тележки, передвижения крана вдоль пролета. Представлены результаты моделирования для действующего мостового крана.

Ключевые слова: мостовой кран, нагруженность, динамика, подъем груза, передвижение грузовой тележки, передвижение крана, компьютерное моделирование, имитационное моделирование.

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

Сегодня в России эксплуатируется более 130000 мостовых кранов различного типа. По данным Ростехнадзора более 70% из них отработали нормативные сроки службы. Такие краны должны проходить регулярные обследования с целью обеспечения соответствия их технического состояния требованиям безопасности.

После истечения сверхнормативного срока службы кран должен быть немедленно выведен из эксплуатации. Далее экспертная комиссия оценивает возможность дальнейшей эксплуатации грузоподъемной машины. Если дальнейшая эксплуатация небезопасна или не целесообразна, то кран должен быть списан. В некоторых случаях возможен капитальный ремонт грузоподъемной машины с восстановлением показателей надежности. Если кран отвечает всем требованиям безопасности и находится в исправном состоянии, разрешается его дальнейшая эксплуатация и назначается остаточный срок службы или остаточный ресурс. В любом случае для принятия обоснованного решения требуется точная оценка нагруженности несущей металлоконструкции крана.

Под нагруженностью понимается состояние объекта, обусловленное внешними воздействиями и условиями функционирования. Для элементов металлоконструкции крана основными характеристиками нагруженности являются внешние нагрузки или напряжения в опасных зонах. В целом задача оценки нагруженности металлоконструкции мостового крана достаточно сложна в силу влияния на нее множества факторов и наличия множества режимов работы крана. На сегодняшний день существует несколько принципиально разных подходов к описанию нагруженности. Для решения данной задачи также применяются численные методы моделирования динамики механических систем.

В данной статье предложена методика моделирования эксплуатационной нагруженности металлоконструкции мостового крана общего назначения. При этом факторы нагруженности рассматриваются как случайные величины и определяются в ходе имитационного моделирования [1; 2]. Процесс изменения напряжений в металлоконструкции крана при конкретном сочетании факторов нагруженности исследуется в детерминированной постановке с использованием многомассовых динамических моделей [3 – 5].

Значения факторов нагруженности мостовых кранов общего назначения определяются с использованием подходов имитационного моделирования. Имитационное моделирование технологического процесса подъема и перемещения грузов в течение длительного интервала времени может выполняться с учетом расположения основного и вспомогательного технологического оборудования в пределах конкретного производственного участка или цеха. На основании анализа взаимосвязей между различными объектами модели производственного участка вычисляются параметры, выражающие распределение факторов нагруженности. Исходя из особенностей производства, можно выделить несколько вариантов представления параметров распределения. При работе крана с грузами, масса которых варьируется в широ-

ком диапазоне, строится блок распределения массы поднимаемого груза. При малом числе транспортируемых объектов и при отсутствии четкого распределения операций определяется частота повторения конкретных значений массы груза. Оба подхода могут комбинироваться. Параметры распределения определяются после обработки последовательности значений, полученных после серии вычислительных опытов. В каждом вычислительном опыте текущее значение генерируется случайным образом с учетом ранее полученных значений [1]. При моделировании факторов нагруженности металлоконструкции мостового крана, обслуживающего производственный процесс с четко заданной технологией, строятся две взаимосвязанные модели: сетевая имитационная модель и модель производственного участка [2].

Для определения сил, действующих на металлоконструкцию при выполнении краном различных технологических операций разработаны следующие динамические модели:

- модель подъема груза;
- модель опускания груза;
- модель передвижения моста;
- модель передвижения грузовой тележки.

Модель подъема груза с учетом люфта и переменной жесткости канатно-блочной системы, податливости подкрановой конструкции показана на рис. 1. Модель опускания груза имеет аналогичную структуру, только двигатель работает на торможение опускаемого груза.

Элементы данной модели имеют следующее обозначение: m_0 – приведенная масса кранового моста, кг; m_1 – приведенная масса электропривода, кг; m_2 – масса груза, кг; m_3 – приведенная масса подкрановой конструкции, кг; x_0, x_1, x_2, x_3 – перемещения масс m_0, m_1, m_2, m_3 соответственно, м; c_0 – жесткость моста, Н/м; c_1 – жесткость подъемного каната, Н/м; c_{II} – жесткость подкрановой конструкции, Н/м; β_0 – коэффициент демпфирования моста, Нс/м; β_1 – коэффициент демпфирования грузовой подвески (каната, полиспаста, грузозахватных органов), Нс/м; β_{II} – коэффициент демпфирования подкрановой конструкции, Нс/м; Q – вес груза, кг; $P(\dot{x}_1)$ – приведенное движущее усилие привода механизма подъема, зависящее от скорости ротора электродвигателя, Н [5].

Процесс подъема груза делится на две стадии. Сначала груз неподвижно лежит на поверхности (доотрывная стадия), а потом происходит отрыв груза от основания и его перемещение вверх (послеотрывная стадия).

На доотрывной стадии происходит разгон электропривода, выбор люфтов в грузоподъемном механизме и постепенное натяжение грузового каната. При этом жесткость каната зависит от его натяжения S , т.е. $c_1 = c_1(S)$ [3]. Динамика исследуемой системы на доотрывной стадии описывается зависимостями

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x}_0 + c_0(x_0 - x_3) + \beta_0(\dot{x}_0 - \dot{x}_3) + c_1(S)(x_0 - x_1) + \beta_1(\dot{x}_0 - \dot{x}_1) = 0, \\ m_1 \ddot{x}_1 - P(\dot{x}_1) + c_1(S)(x_1 - x_0) + \beta_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) = 0, \\ m_3 \ddot{x}_3 + c_0(x_3 - x_0) + \beta_0(\dot{x}_3 - \dot{x}_0) + c_{II}x_3 + \beta_{II}\dot{x}_3 = 0. \end{cases}$$

Начальные условия для указанных выше уравнений

$$x_0(0) = 0, x_1(0) = 0, x_3(0) = 0, \dot{x}_0(0) = 0, \dot{x}_1(0) = v_0, \dot{x}_3(0) = 0,$$

где v_0 – приведенная окружная скорость вала электродвигателя на холостом ходу, м/с.

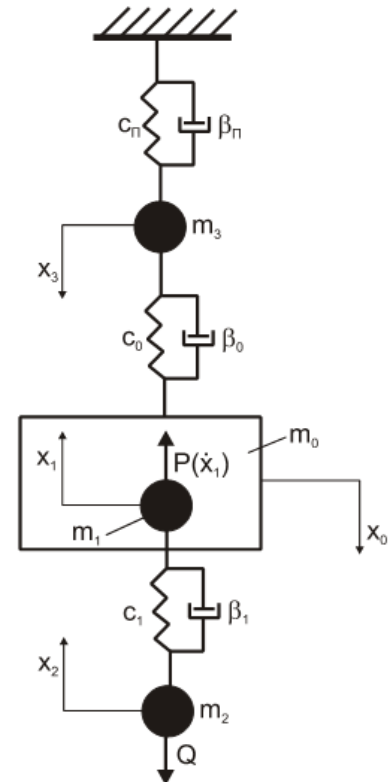


Рис. 1. Модель подъема (опускания) груза

Когда натяжение грузового каната становится равным весу груза ($S = Q$), происходит отрыв груза от основания и его вертикальный подъем. При этом грузовой канат наматывается на барабан механизма подъема и его длина уменьшается пропорционально перемещению массы m_2 , а жесткость каната постепенно растет $c_1 = c_1(x_2)$ [5]. Динамика исследуемой системы на послеотрывной стадии описывается зависимостями

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x}_0 + c_1(x_0 + x_2 - x_1) + \beta_1(\dot{x}_0 + \dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_0(x_0 - x_3) + \beta_0(\dot{x}_0 - \dot{x}_3) = 0, \\ m_1 \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_0 - x_2) + \beta_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0 - \dot{x}_2) - P(\dot{x}_1) = 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_1(x_0 + x_2 - x_1) + \beta_1(\dot{x}_0 + \dot{x}_2 - \dot{x}_1) + m_2 g = 0, \\ m_3 \ddot{x}_3 + c_0(x_3 - x_0) + \beta_0(\dot{x}_3 - \dot{x}_0) + c_{II} x_3 + \beta_{II} \dot{x}_3 = 0. \end{cases}$$

Начальные условия для указанных выше уравнений

$$x_0(0) = x_0(t_{\text{отр}}), x_1(0) = x_1(t_{\text{отр}}), x_2(0) = 0, x_3(0) = x_3(t_{\text{отр}}),$$

$$\dot{x}_0(0) = \dot{x}_0(t_{\text{отр}}), \dot{x}_1(0) = \dot{x}_1(t_{\text{отр}}), \dot{x}_2(0) = 0, \dot{x}_3(0) = \dot{x}_3(t_{\text{отр}}),$$

где $t_{\text{отр}}$ – время отрыва груза с основания (определяется в ходе решения), с.

Результаты численного моделирования для крана грузоподъемностью 2 т, пролетом 7 м (параметры динамической модели: $m_0 = 4460$ кг, $m_1 = 126000$ кг, $m_2 = 2000$ кг, $c_0 = 19200$ кН/м, $c_1 = 1720$ кН/м, $\beta_0 = 4,66$ кНс/м, $\beta_1 = 0,45$ кНс/м) и подкрановой конструкции, состоящей из стальных балок, приведены на рис. 2.

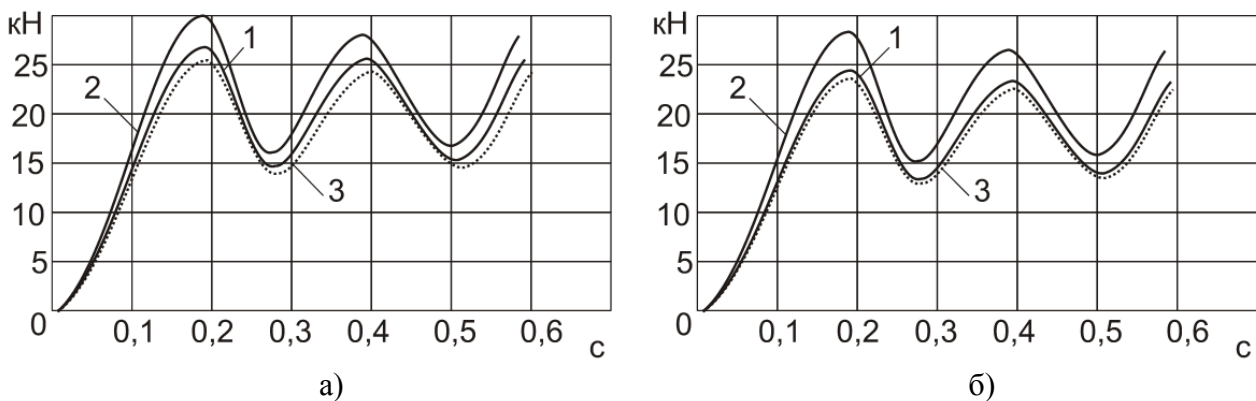


Рис. 2. Результаты моделирования подъема груза:
 а – усилие в металлоконструкции крана; б – натяжение каната;
 1 – с учетом динамики пути; 2 – без учета динамики пути;
 3 – экспериментальные данные [3]

Для исследования вертикальной динамики при передвижении моста крана используется следующая модель (рис. 3). В данной модели не учитываются эффекты взаимодействия ходовых колес с рельсом, указанные в [4]. На ходовые колеса мостового крана действуют случайные кинематические возмущения со стороны подкранового рельса $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$. В ходе моделирования случайные реализации строятся для каждой стороны крана по алгоритму, описанному в [6]. Возмущение под приводным колесом в каждый момент определяется с учетом пройденного краном пути. Возмущение под не приводным колесом смещено по времени. Считаем, что динамический процесс в металлоконструкции начинается после трогания крана с места, когда кран движется по неровному пути.

На рис. 3 введены дополнительные обозначения элементов: m_6 – приведенная масса концевой балки к опорному узлу, кг; $m_{к0}$ – приведенная масса концевой и главной балок, кг; m_k – приведенная масса буксового узла и ходового колеса, кг; c_k – жесткость опорного узла, Н/м; β_k – коэффициент опорного узла, Нс/м.

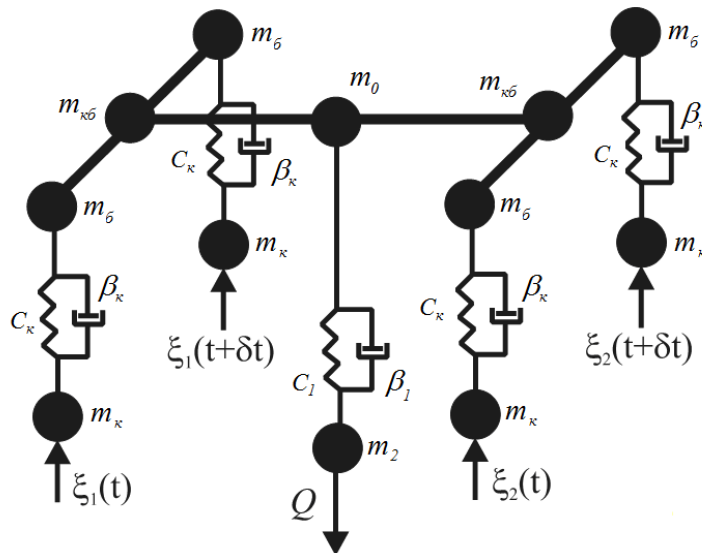


Рис. 3. Модель передвижения крана

Результаты моделирования для исследуемого крана показаны на рис. 4. Перемещение крана из-за неидеальности пути вызывает большие усилия в металлоконструкции, особенно в начале движения и при прохождении крана через стыки рельсов. Динамический процесс является многочастотным. Его многочастотность объясняется наличием различных частот в кинематическом возмущении.

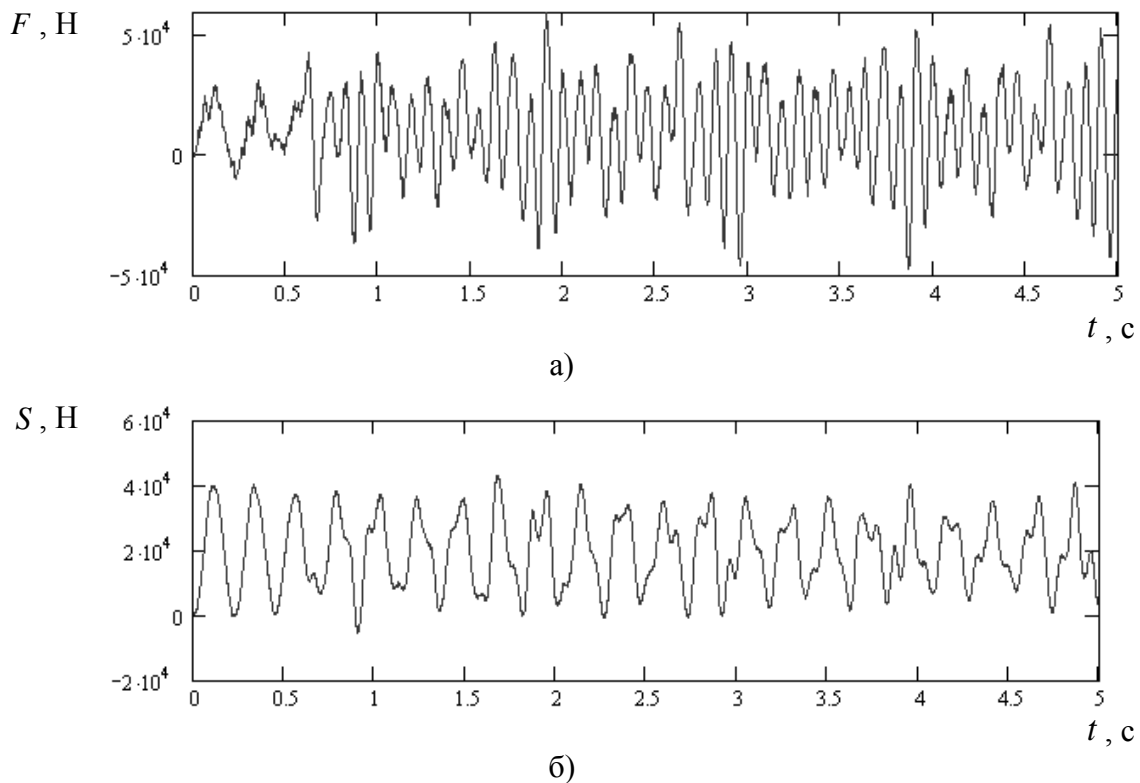


Рис. 4. Результаты моделирования передвижения моста:
а – график изменения силы в мосту; б – график изменения силы в канате

Для исследования нагруженности при передвижении тележки использована известная итерационная методика [7; 8], на основании которой определяется динамический прогиб главной балки и максимальные напряжения.

С использованием разработанной компьютерной программы для исследуемого крана было получено семейство реализаций процесса изменения напряжений в опасных местах ме-

таллоконструкции. Всего смоделировано 100 реализаций, описывающих нагруженность исследуемого крана в течение года. Каждая реализация содержит примерно 1,9...2,3 млн. циклов изменения напряжений и описывает около 800 циклов работы крана. Фрагмент реализации приведен на рис. 5.

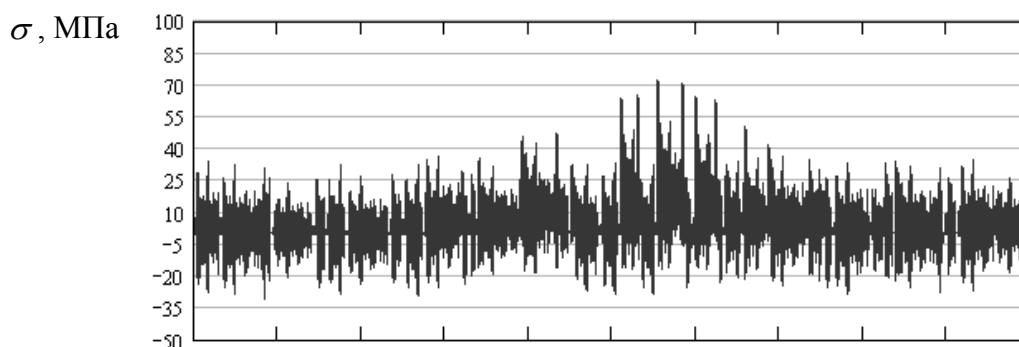


Рис. 5. Фрагмент реализации в центральном сечении главной балки

Разработанные модели и реализующие их прикладные компьютерные программы могут использоваться при проектировании и проведении экспертизы промышленной безопасности мостовых кранов общего назначения. Результаты работы внедрены в ООО «Промбезопасность» (г. Брянск).

Список литературы

1. Лагерев, И.А. Моделирование факторов нагруженности металлоконструкции мостового крана на основе сетевой имитационной модели / И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – №2. – С. 74-81.
2. Лагерев, И.А. Имитационное моделирование факторов нагруженности металлоконструкции мостового крана / И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – №4. – С. 65-70.
3. Лобов, Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н.А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
4. Лобов, Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н.А. Лобов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.
5. Лагерев, И.А. Влияние подкрановой конструкции на динамическую нагруженность мостового крана / И.А. Лагерев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – № 5-3. – С. 3-10.
6. Ушкалов, В.Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей / В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, С.Ф. Редько. – Киев: Наук. думка, 1982. – 360 с.
7. Филиппов, А.П. Колебания деформируемых систем. / А.П. Филиппов. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
8. Мучников, В.М. Некоторые методы расчета упругих систем на колебания при подвижной нагрузке / В.М. Мучников. – М.: Госстройиздат, 1953. – 130 с.

Сведения об авторе

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

OVERHEAD CRANE DYNAMICS SIMULATION

I.A.Lagerev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Overhead crane in normal operation conditions loading simulation methodic and models are present in this article. Simulation results for real overhead crane are received. This research was supported by the grant no. MK-92.2014.8 of the President of Russian Federation for young scientist support.

Keywords: *overhead crane, dynamics, lifting, moving.*

References

1. Lagerev I.A. Simulation of a bridge crane metal construction loading parameters, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, No.2, pp. 74-81.
2. Lagerev I.A. Simulation of a bridge crane metal construction loading parameters, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, No.4, pp. 65-70.
3. Lobov N.A. *Dinamika gruzopodyemnykh kranov* [The load-lifting cranes dynamics]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 160 p.
4. Lobov N.A. *Dinamika peredvizheniya kranov po relsovomu puti* [Dynamics of movement of the cranes along the track]. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana, 2003. 232 p.
4. Lagerev I.A. Dynamic forces in a bridge crane metal construction under the influence of crane track construction, *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, No.5-3, pp. 3-10.
5. Ushkalov V.F., Reznikov L.M., Redko S.F. *Statisticheskaya dinamika relsovykh ekipazhey* [Statistical dynamics of rail vehicles]. Kiev, Naukova dumka, 1982. 360 p.
6. Filippov A.P. *Kolebaniya deformiruemyykh sistem* [Oscillations of deformable systems]. Moscow, Mashinostroenie, 1970. 736 p.
7. Muchnikov B.M. *Nekotorye metody rascheta uprugikh sistem na kolebaniya pri podvizhnoy nagruzke* [Some methods of computation of elastic systems oscillations on the movable load]. Moscow, Gosstroyizdat, 1953. 130 p.

Author' information

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

УДК 621.867

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОДВЕСОК ДИСКРЕТНОГО УЧАСТКА КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ

Е.Н. Толкачев

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Представлена математическая модель дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, реализующая движение ведущего ролика приводной подвески в различных режимах. Проведен анализ динамики подвесок дискретного участка и всего конвейера. Представлены результаты моделирования.

Ключевые слова: математическая модель, ленточный конвейер, подвесная лента, распределенный привод, дискретный участок, подвеска, режимы движения.

Ленточные конвейеры, на протяжении многих лет находили широкое применение в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, пищевых производствах и других отраслях промышленности. Однако конструкция таких конвейеров содержит ряд трудноустраняемых недостатков описанных в работах [1-3]. Являющиеся по большей части результатом взаимодействия грузонесущей ленты со стационарно установленными роликовыми опорами приведенные недостатки негативно сказывающихся при эксплуатации.

В рамках усовершенствования и модернизации ленточных конвейеров традиционной конструкции в настоящее время ведется разработка альтернативных машин непрерывного транспорта. Наиболее перспективной из представленных машин является конвейер с подвесной лентой [1, 4], который в последних технических решениях имеет распределенный привод [5-7]. Общий вид конструкции с обозначениями основных узлов изображен на рис. 1.

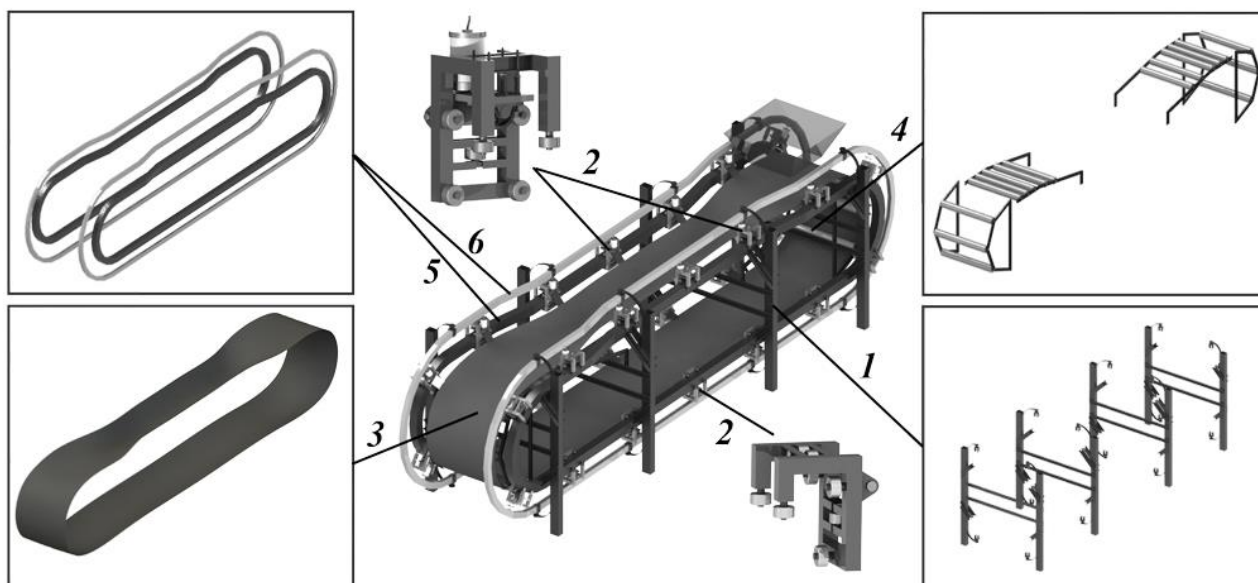


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:

1 – став; 2 – подвески; 3 – лента; 4 – стационарные роликовые опоры;

5 – направляющие качения; 6 – токоведущие троллеи.

Главной отличительной чертой конвейера являются подвески, которые представлены в двух исполнениях. Одни – ведомые – удерживают грузонесущее полотно в подвешенном положении и служат для его перемещения, другие – ведущие – оборудованы индивидуальным приводом и необходимы для приведения всей системы в движение. Располагаемые вдоль трассы конвейера с определенным шагом, ведущие и ведомые подвески условно объединены в группы, называемые дискретными участками.

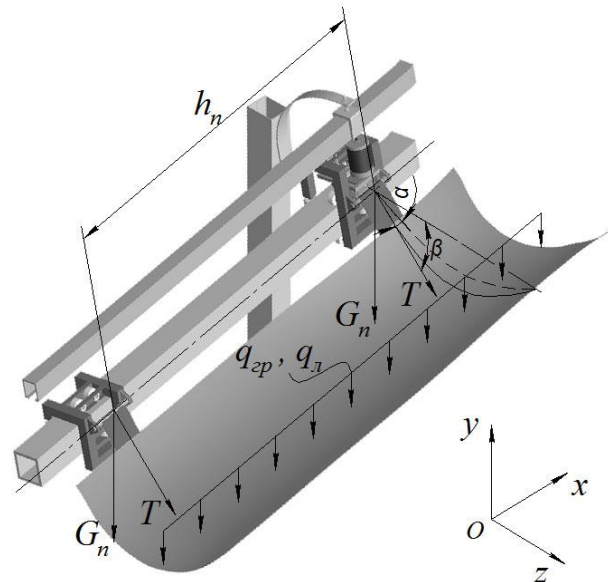


Рис. 2. Расчетная схема дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Существующая методика расчета конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом заключается в определении длины дискретных участков, обеспечиваемых необходимой тяговой силой парой симметрично расположенных приводных подвесок [5].

Целью работы является анализ тяговой способности дискретного участка конвейера на основе математического моделирования.

Расчетная схема дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом строится с учетом ряда допущений:

- 1) подвески дискретного участка представлены дискретными массами, соединенными друг с другом упруго-вязкими связями;
- 2) каждая дискретная масса характеризует подвеску с сопряженным с ней участком ленты и грузом и представлена роликом с приведенными к его центру силами и массами;
- 3) насыпной груз равномерно распределен между подвесками;
- 4) пренебрегается неизбежным продольным провисанием ленты под действием груза и ее поперечными колебаниями, приводящим к возникновению дополнительных сопротивлений;
- 5) ролики подвесок являются абсолютно жесткими, недеформируемыми элементами;
- 6) подвески на разноименных направляющих расположены абсолютно симметрично и имеют равные перемещения, скорости и ускорения;
- 7) расчет производится для подвесок, расположенных на одном контуре (на одной направляющей качения);
- 8) система совершает плоское движение;
- 9) холостые ролики подвесок вращаются без проскальзывания.

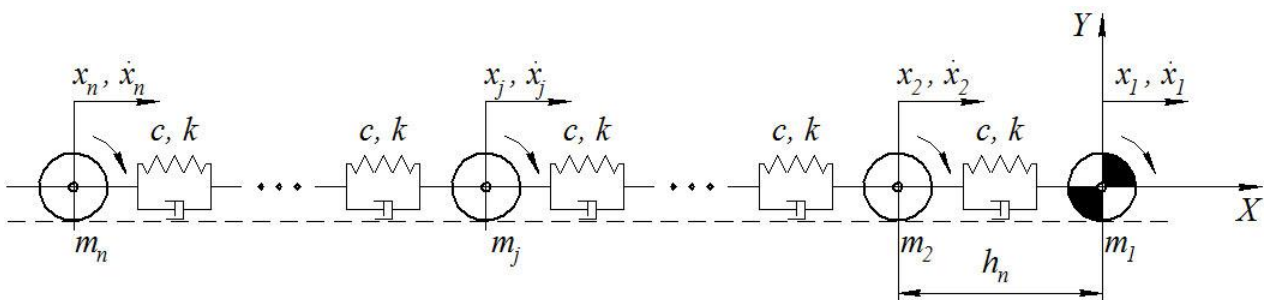


Рис. 3. Общая схема дискретного участка

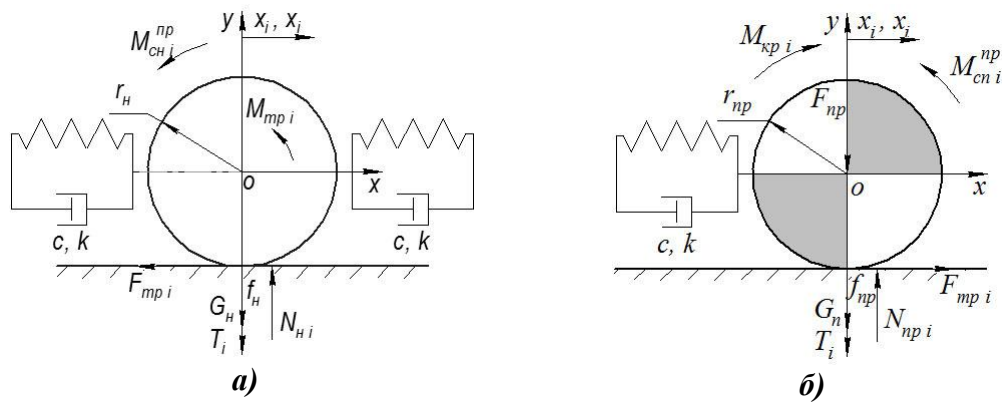


Рис. 4. Расчетные схемы роликов: а – холостого; б – приводного

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

Система уравнений для приводного ролика (рис. 4, б) ведущей подвески имеет вид

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

где \ddot{x}_n, \ddot{y}_n – линейные ускорения ведущего ролика в направлении соответствующих осей; $\ddot{\varphi}_n$ – угловое ускорение ведущего ролика относительно оси вращения; \dot{x}, x – скорости и перемещения роликов подвесок; m_n, J_{on} – приведенные масса и момент инерции приводной подвески; G_n, G''_n – силы тяжести приводной подвески и прижимной секции приводной подвески; T – усилие от тяжести груза и ленты, действующее со стороны крепления подвески с лентой; F_{npi} – сила, действующая на ведущий ролик со стороны прижимного устройства; N_{npi} – сила нормальной реакции опорной поверхности; F_{cu} – сила сцепления ведущего ролика с опорной поверхностью; M_{kp} – крутящий момент мотор-редуктора приводной подвески; M_{Σ}^{np} – приведенный момент сопротивления движению приводной подвески; f_{np} – коэффициент трения качения ведущего ролика с опорной поверхностью; c – приведенная жесткость упругого элемента (ленты); k – коэффициент сопротивления демпфирующего элемента; r_{np} – наружный радиус ведущего ролика; α – угол наклона подвески в вертикальной плоскости; β – угол наклона бортов ленты к горизонту; $i = 1..n$ – порядковый номер подвески.

Движение ведомых роликов промежуточной (рис. 4, а) и концевой неприводных подвесок описываются следующими дифференциальными отношениями:

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

и

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

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

Так как при движении подвесок ролик не отрывается от поверхности качения, то получается, что

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

а, значит, и

$$\ddot{y}_{ni} = \ddot{y}_n = 0.$$

Учитывая, что ведомые ролик подвесок вращаются без проскальзывания, справедливо уравнение кинематических связей:

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

Приводные ролик ведущих подвесок движутся в одном из возможных режимов качения.

1. Буксование.

Скорость точки соприкосновения ролика с опорной поверхностью больше нуля

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

и сила трения определяется по выражению

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

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

2. Скольжение (юз).

Скорость точки соприкосновения ролика с опорной поверхностью меньше нуля

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

Сила трения равна:

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

3. Чистое качение.

Скорость точки соприкосновения ролика с опорной поверхностью равна нулю

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

Сила трения определяется, полученным на основе уравнения кинематических связей, выражением:

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

После преобразований систем уравнений движения подвесок с учетом характера движения роликов, получим:

– ускорение центра масс неприводного ролика ведомой промежуточной подвески:

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

– ускорение центра масс неприводного ролика ведомой концевой подвески:

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

– ускорение центра масс и угловое ускорение приводного ролика ведущей подвески:

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

Динамическое поведение дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом определяется решением системы дифференциальных уравнений первого порядка, количество которых определяется числом приводных и неприводных подвесок в составе участка.

Для анализа тяговой способности выполним моделирование динамики дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом (рис. 5) при двух различных сочетаниях технических параметров ведущей подвески (табл.).

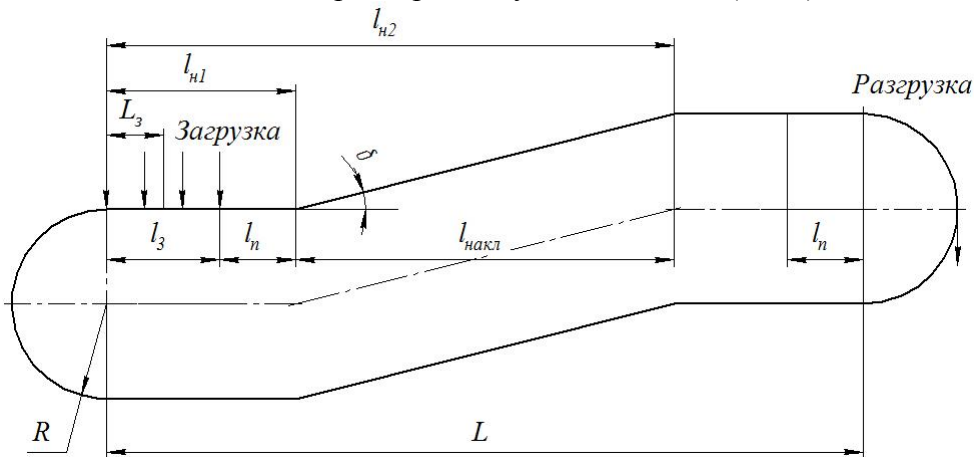


Рис. 5. Конфигурация трассы конвейера

Таблица

Технические параметры ведущей подвески

Вариант расчета	Номинальный крутящий момент привода подвески ($M_{крн}$), Н·м	Сила прижатия прижимного устройства подвески (F_{np}), Н
1	20	280
2	6,5	230

Моделируемый конвейер содержит на одном контуре 12 подвесок, 4 из которых приводные. Дискретный участок в таком случае включает 1 ведущую и 2 ведомые подвески. Технические характеристики конвейера: $Q_p = 100$ т/ч, $\rho = 1,4$ т/м³, $\varphi = 45^\circ$, $L_{mp} = 15,14$ м, $L = 6$ м, $L_3 = 0,6$ м, $l_3 = 0,6$ м, $R = 0,5$ м, $l_{накл} = 4$ м, $l_{n1} = 1$ м, $l_{n2} = 5$ м, $\delta = 5^\circ$, $l_n = 0,5$ м,

$$r_n = 0,07 \text{ м}, \quad r = 0,025 \text{ м}, \quad r_0 = 0,006 \text{ м}, \quad m_{\text{НП}} = 5,5 \text{ кг}, \quad m_{\text{П}} = 15 \text{ кг}, \quad m_{\text{ПС}} = 5 \text{ кг}, \\ \rho_{\text{л}} = 1,1 \text{ кг/м}^3, \quad f_1 = 0,0077, \quad \mu_1 = 0,5, \quad f_2 = 0,001, \quad \mu_2 = 0,02.$$

Система дифференциальных уравнений динамики дискретного участка имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{d\tau} = \dot{x}_1; \\ \frac{d\dot{x}_1}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_1 - H_1)} \left[F_{cu}(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\varphi}_1) + (G_{\text{П}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_1 - H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 - H_1) - \right. \\ \left. + c \cdot (x_2 - x_1) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1 - H_1)}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \right]; \\ \frac{d\varphi_1}{d\tau} = \dot{\varphi}_1; \\ \frac{d\dot{\varphi}_1}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_1 - H_1)} \left[M_{\text{кр}}(\dot{\varphi}_1) - F_{cu}(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\varphi}_1) \cdot r_n - M_{\text{ПРИВ1}}(x_1 - H_1) - \right. \\ \left. - f_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}}) \right]; \\ \frac{dx_2}{d\tau} = \dot{x}_2; \\ \frac{d\dot{x}_2}{d\tau} = \frac{r}{J_{\text{нн}}(x_2 - H_2) + M_{\text{нн}}(x_2 - H_2) \cdot r^2} \left[-M_{\text{ПРИВ2}}(x_2 - H_2) + r \cdot [(G_{\text{Н}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_2 - H_2)) \cdot \right. \\ \left. \cdot \sin \gamma(x_2 - H_2) + c \cdot (x_1 - 2x_2 + x_3) + (2\xi \sqrt{M_n(x_2 - H_2)}) \cdot (\dot{x}_1 - 2\dot{x}_2 + \dot{x}_3)] - \right. \\ \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_{\text{Н}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_2 - H_2)) \cdot \cos \gamma(x_2 - H_2) \right]; \\ \frac{dx_3}{d\tau} = \dot{x}_3; \\ \frac{d\dot{x}_3}{d\tau} = \frac{r}{J_{\text{нн}}(x_3 - H_3) + M_{\text{нн}}(x_3 - H_3) \cdot r^2} \left[-M_{\text{ПРИВ2}}(x_3 - H_3) + r \cdot [(G_{\text{Н}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_3 - H_3)) \cdot \right. \\ \left. \cdot \sin \gamma(x_3 - H_3) + c \cdot (x_2 - x_3) + (2\xi \sqrt{M_n(x_3 - H_3)}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_3)] - \right. \\ \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_{\text{Н}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_3 - H_3)) \cdot \cos \gamma(x_3 - H_3) \right]; \end{array} \right.$$

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

$$F_{cu}(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\varphi}_1) = \begin{cases} \mu_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 > 0; \\ -\mu_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 < 0; \\ \frac{1}{J_n(x_1 - H_1) + M_n(x_1 - H_1) \cdot r_n^2} \left[M_n(x_1 - H_1) \cdot r_n \cdot (M_{\text{кр}}(\dot{\varphi}_1) - \right. \\ \left. - M_{\text{ПРИВ1}}(x_1 - H_1) - f_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}})) - \right. \\ \left. - J_n(x_1 - H_1) \cdot ((G_{\text{П}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_1 - H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 - H_1) - \right. \\ \left. + c \cdot (x_2 - x_1) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1 - H_1)}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)) \right] \end{cases}$$

Представленную систему уравнений решаем численным интегрированием методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Значения технических параметров ведущей подвески в первом случае расчета (табл.) определены на основе методики [5] из условия преодоления сопротивлений на участке подъема грузовой ветви. Полученные результаты моделирования представлены на рис. 6 – рис. 10 (кривая 1).

По характеру изменения коэффициента буксования, перемещений и скоростей при движении дискретного участка вдоль трасы видно, что качение ведущего ролика приводной подвески на наклонном участке грузовой ветви (1 – 5 м) сопровождается проскальзыванием, однако подвески его преодолевают. Тем не менее, на концевом поворотном участке с холостой на грузовую ветвь (13,57 – 15,14 м) величина коэффициента достигает максимума, что свидетельствует о неспособности подвесок преодолеть такой крутой участок подъема.

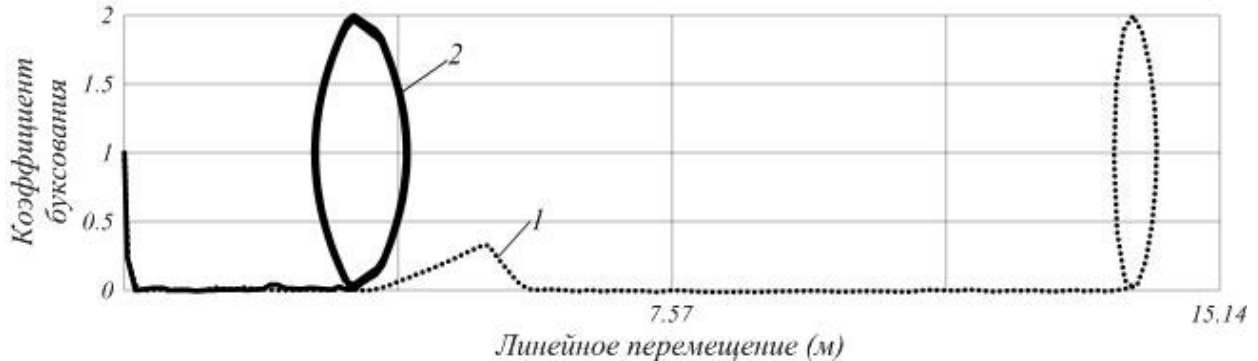


Рис. 6. Зависимость коэффициента буксования от линейного перемещения при вариантах расчета 1 и 2

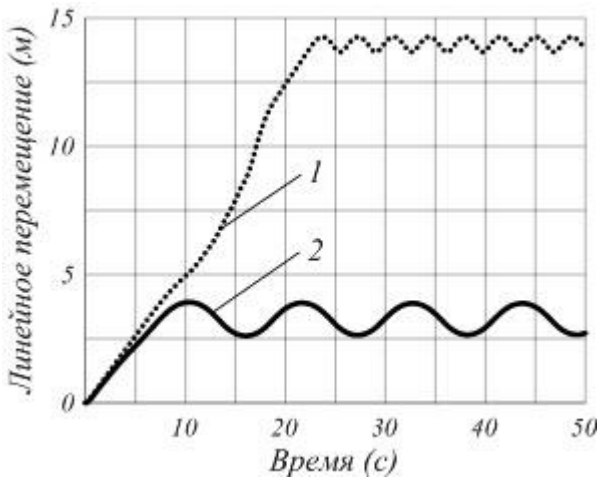


Рис. 7. Зависимость линейного перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени при вариантах расчета 1 и 2

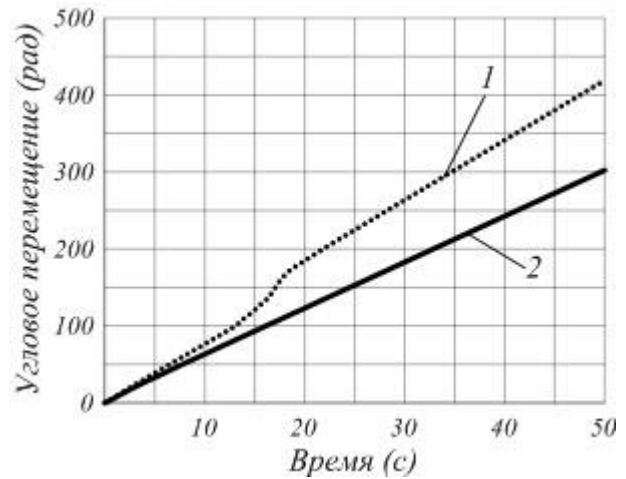


Рис. 8. Зависимость углового перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени при вариантах расчета 1 и 2

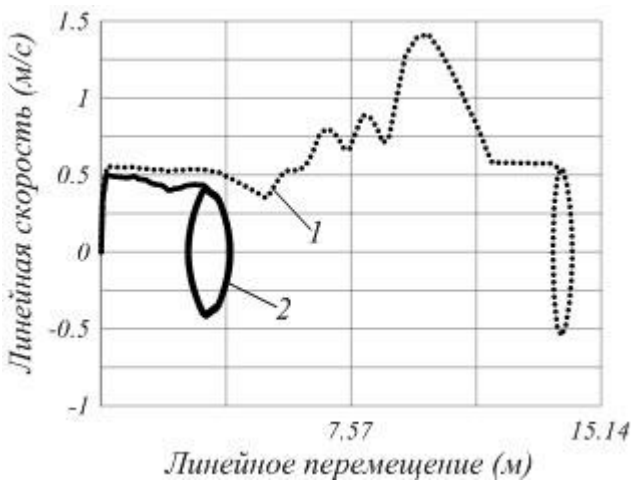


Рис. 9. Зависимость линейной скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения при вариантах расчета 1 и 2

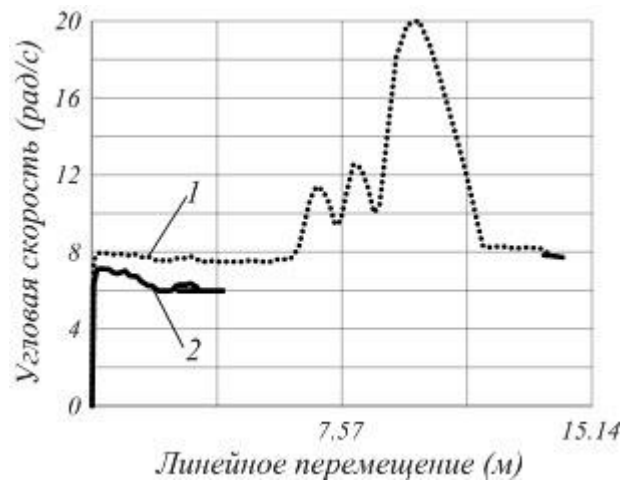


Рис. 10. Зависимость угловой скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения при вариантах расчета 1 и 2

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для обеспечения работоспособности дискретного участка необходимо увеличивать величину крутящего момента привода ведущей подвески, а также силу прижатия прижимного устройства подвески. Однако конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом представляет собой замкнутую систему, в которой недостатки тяговой способности одних ведущих подвесок компенсируются ее излишками в других за счет перераспределения усилий между ними лентой.

Сформулированный вывод подтверждается результатами моделирования динамики конвейера с подвесной лентой при работе всех четырех дискретных участков (рис. 11 – 15). Основные технические параметры остались неизменными, а величина крутящего момента ведущих подвесок и сила прижатия ролика в них значительно уменьшилась (расчетный вариант 2 таблицы).

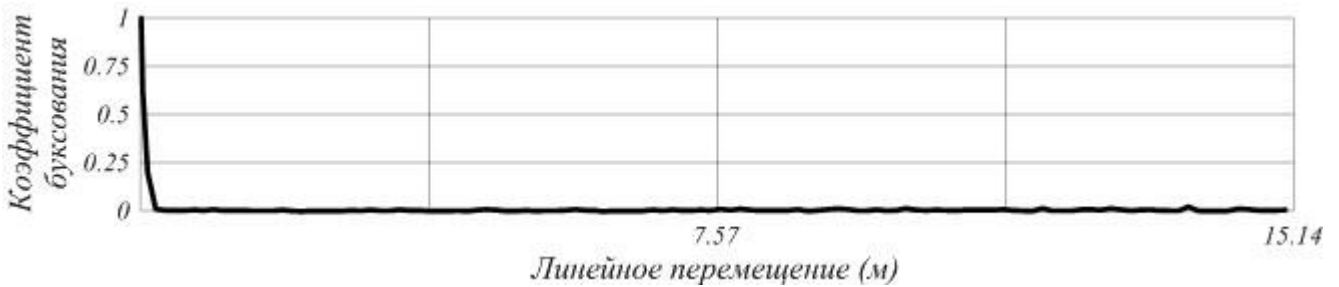


Рис. 11. Зависимость коэффициента буксования от линейного перемещения

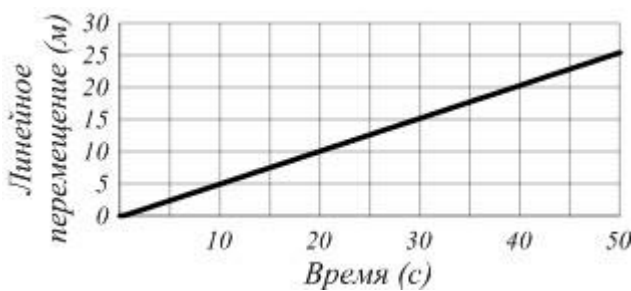


Рис. 12. Зависимость линейного перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени

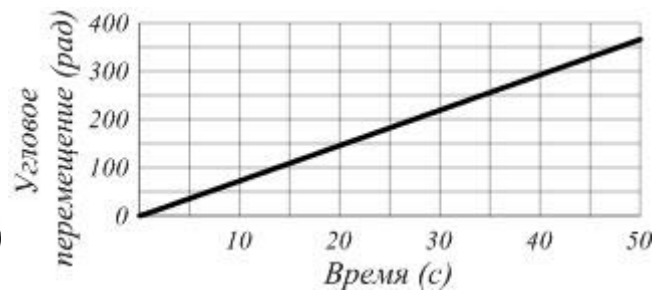


Рис. 13. Зависимость углового перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени

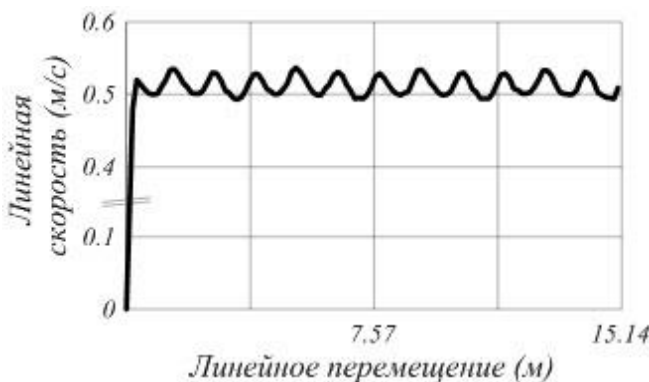


Рис. 14. Зависимость линейной скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения

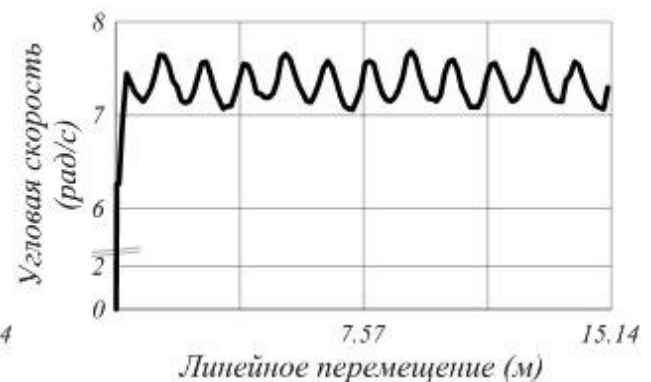


Рис. 15. Зависимость угловой скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения

Как видно из представленных графических зависимостей движение ведущих подвесок при работе конвейера достаточно стабильно. Буксование роликов, приводящее к остановке

подвесок, отсутствует на всем протяжении трассы. Незначительное буксование возникает только лишь во время неустановившегося движения, что имеет место при такой кинематической схеме транспортирующей установки.

Таким образом, установлено, что расчет величины крутящего момента ведущих подвесок способом определения тяговой способности дискретных участков по максимально возникающим сопротивлениям приводит к образованию избыточной общей мощности. Поэтому расчет таких конвейеров целесообразно проводить на основе математического моделирования и оптимизации [8], на что направлены проводимые исследования.

Список литературы

1. Аверченков, В.И. Конвейеры с подвесной лентой // В.И.Аверченков, С.В.Давыдов, В.П.Дунаев и др. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 256 с.
2. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
3. Swinderman R.T. Foundations-3. The Practical Resource for Total Dust and Material Control / R.T. Swinderman, L.J. Goldbeck, A.D. Marti. – Martin Engineering Neponset, Illinois. USA, 2002. – 216 p.
4. Патент РФ № 2118285 Конвейер с подвесной лентой / Ю.А.Подопригора, Заворотнов Н.Г. и др. - Оpubл. 27.08.1998. – Бюл. № 32.
5. 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.
6. Лагерев, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №3. – С. 44 – 52.
7. Лагерев, А.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния ленты конвейера с подвесной лентой в зоне промежуточной разгрузки / А.В. Лагерев, Е.М. Селянин // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. – №1. – С. 359 – 365.
8. Лагерев, А.В. Оптимизация шага установки промежуточных опорных конструкций вдоль линии канатного метро / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного университета. – 2014. – №1. – С. 22 – 30.

Сведения об авторе

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

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF SUSPENSIONS OF DISCRETE SECTION OF THE CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE

E.N. Tolkachev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

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

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

References

1. Averchenkov V.I., Davydov S.V., Dunaev V.P., Ivchenko V.N., Kurov S.V., Rytov M.Yu., Sakalo V.I. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with hanging ribbon. Moscow, Mashinostroenie-1, 2004. 256 p.
2. Spivakovskiy A.O., D'uchkov B.K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 487 p.
3. Swinderman R.T., Goldbeck L.J., Marti A.D. *Foundations-3. The Practical Resource for Total Dust and Material Control*. Martin Engineering Neponset, Illinois. USA, 2002. 216 p.
4. Patent RU 2118285. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Podoprigora Yu.A., Zavorotnov N.G. Published 27.08.1998. Bulletin No.32.
5. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenernyy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
6. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44 – 52.
7. Lagerev A.V., Selyanin E.M. Modeling of stress-strain state of a conveyor belt with hanging ribbon in the zone of intermediate unloadings, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 359 – 365.
8. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Cable transport system “kanatnoe metro” towers distance optimisation, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 22 – 30.

Authors' information

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

УДК 631.95; 332.334

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЛИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ В НОВЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

М.В. Долганова

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Аннотация: в статье дана оценка эколого-экономической эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения в Брянской области в новых социально-экономических условиях, приводятся динамика площади земель сельскохозяйственного назначения, показатели эффективности использования земельных ресурсов за ряд лет. Обоснованы основные направления по дальнейшему повышению эффективности использования земельных ресурсов Брянской области в условиях рынка.

Ключевые слова: земельные ресурсы, сельское хозяйство, сельскохозяйственные угодья, землепользование, эффективность землепользования, Брянская область.

Важным аспектом ведения сельского хозяйства выступает рациональное использование земли как главного средства производства. От того, насколько эффективно используются земельные ресурсы в агроформированиях, зависит экономическое благополучие не только товаропроизводителей, но и товаропотребителей.

Экономические реформы конца прошлого века, ориентированные на разгосударствление экономики через приватизацию имущества и земли, привели к трансформации всей системы земельных отношений и породили возникновение целого ряда проблем как на страновом, так и на региональном уровнях, связанных с падением эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения, растущей деградацией почвенно-земельных ресурсов, снижением их плодородия, нарушением научно обоснованной системы земледелия и т.д. В этой связи актуальными становятся вопросы оценки сельскохозяйственного землепользования и его территориальной организации, повышения эффективности использования потенциала продуктивных земель сельскохозяйственного назначения и формирования условий устойчивого воспроизводства земельных ресурсов.

Современные аспекты управления земельными ресурсами, процессом их воспроизводства нашли отражение в работах И. Буздalова, А. Варламова, С. Волкова, В. Добрынина, А. Емельянова, Н. Комова, Н. Кузнецова, О. Лепке, П. Лойко, И. Минакова, В. Назаренко, Е. Непомнящего, Э. Шукшина и др. Однако, несмотря на значительное количество исследований по проблемам использования земель в сельском хозяйстве, многие теоретические и методические вопросы, связанные с эффективностью воспроизводства продуктивных земель сельскохозяйственного назначения в современных условиях, остаются не до конца изученными, а ряд положений носит дискуссионный характер. Работ, посвященных оценке эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного землепользования Брянской области в новых социально-экономических условиях, нет, что подчеркивает актуальность исследования.

Экономическая эффективность использования земли характеризуется сопоставлением результатов сельскохозяйственного производства с площадью или стоимостью земли. Но, учитывая особый характер этого ресурса (ограниченный размер, длительный период возобновления и т.д.), расчет эффективности здесь имеет некоторую специфику и характеризуется системой показателей, основными из них являются стоимостные. При сравнительной характеристике эффективности использования земли также могут применяться косвенные показатели: натуральные и относительные [8].

За период с 1990 по 2013 гг. произошли достаточно большие изменения в категории земель сельскохозяйственного назначения Брянской области. Их суммарная площадь сократилась на 499,2 тысяч гектар (в 1,3 раза) и составила 1977, 4 тыс. га, что связано с растущим промышленным и гражданским строительством, а также ухудшением качественного состояния земель, усилением загрязнения отходами производства, действием водной эрозии, де-

фляции, заболачивания и других факторов [2]. Все это приводит к снижению уровня землеобеспечения населения и если не преодолеть создавшуюся ситуацию, то положение в землепользовании области в ближайшее время может стать катастрофическим.

Произошло сокращение площади сельскохозяйственных угодий на 35,7 тыс. га (с 1797,2 тыс. га (1990 г.) до 1761,5 тыс. га (2013 г.)), пашни – на 133 тыс. га (с 1252,9 тыс. га (1990 г.) до 1119,6 тыс. га (2013 г.)) – более 15 % к уровню 1990 г., сократился удельный вес пашни в структуре сельскохозяйственных угодий с 69,75 до 63,5 % и посевов сельскохозяйственных культур в площади с 98 до 69,6 % [2].

Как свидетельствуют статистические данные [1, 7], посевная площадь в хозяйствах всех категорий Брянской области за анализируемый период сократилась в 1,7 раза, в том числе под зерновыми в 2 раза, картофелем, овоще-бахчевыми в 2,4 раза, кормовыми культурами в 1,5 раза. Вместе с тем значительно возросли посевные площади в крестьянских (фермерских) хозяйствах (15,9 % от посевных площадей в хозяйствах всех категорий). Существенно снизились валовой сбор продуктов растениеводства (зерна в 1,8 раза (на 503,8 тыс. т), картофеля в 1,7 раза (на 702,3 тыс. т)) и производство основной животноводческой продукции (молока в 2,5 раза и в 7 раз шерсти). Засеянные площади ежегодно не убираются в полном объеме. В среднем по основным культурам остались не убранными в 2013 году – 15,0 % [3].

Произошло ухудшение материально-технической базы сельского хозяйства: на 1000 га пашни приходится 3,3 трактора (в 1990 г. – 14,5), на 1 га всей посевной площади вносится 56 кг минеральных удобрений (1990 г. – 212 кг), органических – 1,3 т (1990 г. – 8,8 т), что не компенсирует даже естественного выбытия микроэлементов из почвы в процессе минерализации [1].

Анализ динамики использования земли в сельском хозяйстве области на основе натуральных показателей (табл. 1) выявил, что экономическая эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения неуклонно снижается.

Таблица 1

Экономическая эффективность использования земли в сельском хозяйстве Брянской области

Производство основных видов продукции растениеводства и животноводства	1990 год	2013 год
	тонн/на 100 га пашни	
Зерно	93,9	44,4
Картофель	133,3	88,3
Овощи	13,7	10,9
	тонн/на 100 га сельскохозяйственных угодий	
Молоко	47,4	18,8
Мясо	11,6	11,5
Шерсть	0,012	0,002

За анализируемый период значительно сократилось производство валовой продукции сельского хозяйства в расчете на 1 га сельскохозяйственных угодий. Так, если в 1985–1990 гг. было произведено в расчете на 1 га сельскохозяйственных угодий (в ценах 2013 г.) 38,6 тыс. руб., то в 2010–2013 гг. – 24,6 тыс. руб., или на 5,4 % меньше.

Снижение экономической эффективности землепользования можно объяснить тем, что в ходе реализации аграрных реформ, в результате недостаточно продуманных действий по реорганизации сельскохозяйственных предприятий, практически был разрушен действовавший в сельском хозяйстве порядок землепользования, произошло разукрупнение сельскохозяйственных предприятий, формирование и развитие новых форм хозяйствования, таких как фермерские хозяйства и хозяйства населения, произошли изменения в масштабах производства, структурные преобразования, усилились территориальные различия, в значительной мере изменились каналы реализации продукции.

Отсутствие законодательной базы и сокращение бюджетного финансирования мероприятий по охране и рациональному использованию земельных ресурсов, способствовало снижению ответственности землевладельцев и землепользователей, а также органов власти и

местного самоуправления за экологическое состояние окружающей среды и плодородие почв, что отрицательно повлияло на качественное состояние сельскохозяйственных земель области [2-6].

Средневзвешенное содержание гумуса за 20 лет снизилось с 2,16 до 2,10 %. В настоящее время почвы с очень низким и низким содержанием гумуса распространены на 41 % пахотных земель (1993 г. – 26 %), а общая неблагоприятная обстановка по содержанию органического вещества складывается на 67 % пашни. Главная причина отрицательного баланса гумуса (445 кг/га) и тенденция уменьшения его содержания – недостаточное применение органических удобрений [5, 6].

Кислые почвы в области занимают 402,4 тыс. га или 39 % пашни, из них сильно- и среднекислые – 152,9 тыс. га или 15 %. До 2000 года, в результате целенаправленной работы по известкованию кислых почв, происходило постепенное сокращение кислых почв и за 20 лет их площади уменьшились на 38 %, с 2001 года отмечается их увеличение в 298 хозяйствах области на 70 тыс. га.

Доля почв с пониженным содержанием фосфора в целом по области сократилась с 73 % в 1971 г. до 27 % в 2013 году или в 4,5 раза. Однако, в последние 10 лет произошло резкое снижение объемов проведения фосфоритования и применения фосфорных удобрений, что может изменить сложившуюся тенденцию [6]. 712,4 тыс. га (1992 г. – 610 тыс. га) или 69 % пахотных земель области имеют пониженное содержание обменного калия, что связано резким уменьшением за последние годы применения калийных минеральных удобрений. Низкий и средний уровень обеспеченности обменным магнием характерен для 87 % почв, более 50 % – имеют недостаточное содержание подвижной серы [6].

Неудовлетворительное качественное и культуртехническое состояние сельскохозяйственных угодий, мелиоративная неустроенность, продолжающиеся процессы заболачивания, закустаривания, залесения и эрозионной деградации – приводят к значительным их потерям. За анализируемый период значительно сократились объемы противоэрозионных, агрохимических, осушительных и оросительных мелиораций, сокращены посадки лесных защитных насаждений, уменьшаются объемы работ по рекультивации земель.

Основной вывод, который можно сделать из приведенного анализа таков: в Брянской области, располагающей значительными площадями сельскохозяйственных угодий и пашни, сельскохозяйственные земли используются недостаточно эффективно. Ведение сельского хозяйства можно охарактеризовать как экстенсивное – задействовано большое количество ресурсов, при этом отдача от каждой единицы ресурса низкая (значительно ниже потенциально возможного уровня).

Таким образом, основные задачи не только руководства региона, но и конкретных землепользователей – сохранение площади и улучшение состояния сельскохозяйственных земель, недопустимость их сокращения и нецелевого использования, повышение эколого-экономической эффективности землепользования, решение которых основывается на разработке и осуществлении организационно-экономических, агротехнических и мелиоративных мер, совершенствовании правового механизма охраны почв как природного ресурса, создание правовой базы для рыночного оборота земель сельскохозяйственного назначения.

Необходимо провести инвентаризацию всех земель на территории муниципальных районов области, что позволит создать полноценную информационную базу о состоянии земель и их динамике, увеличить количество и качество научно-исследовательских работ, т.к. высокая эффективность землепользования невозможна без научного подхода.

Список литературы

1. Брянская область. 2014: Статистический сборник / Брянскстат. Брянск: 2014. - 428 с.
2. Доклад о состоянии и использовании земель в Брянской области в 2013 году. Брянск: 2014. - 90 с.
3. Информация о результатах параллельного контрольного мероприятия с муниципальными контрольно-счетными органами Брянской области «Аудит эффективности использова-

ния земель Брянской области в 2010–2012 годах» // Информационный бюллетень №1 (17). Брянск, 2014. - 108 с.

4. Непомнящий, Е.Ю. Эколого-экономические условия повышения эффективности сельскохозяйственного региона: автореферат дисс... кандидата экономических наук. М.: 2007. - 27 с.

5. О комплексной программе повышения плодородия почв Брянской области: Постановление администрации Брянской области от 23 марта 1993 года № 73. URL: <http://docs.cntd.ru/document/974000715>.

6. Природные ресурсы и окружающая среда // Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2013 г. – Брянск: 2014. - 218 с.

7. Народное хозяйство Брянской области 1986–1990 гг. Статистический сборник: Областное управление статистики. – Брянск: 1994. - 360 с.

8. Минаков, И.А. Экономика отраслей АПК / И.А. Минаков, Л.А. Сабетова, Н.И. Куликов, О.В. Соколов [и др.]; под ред. И.А. Минакова. - М.: КолосС, 2004. - 464 с.

Сведения об авторе

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

ECOLOGICAL-ECONOMIC EFFICIENCY OF USE OF LAND IN AGRICULTURE OF THE BRYANSK REGION IN THE NEW SOCIO-ECONOMIC CONDITIONS

Dolganova M.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Abstract: the article assesses the ecological and economic efficiency of use of agricultural land in the Bryansk region in the new socio-economic conditions, summarizes the dynamics of the area of agricultural land, utilization of land resources for a number of years. The article substantiates the main directions for further enhancing the efficiency of land resources of the Bryansk region in the conditions of the market.

Keywords: *land resources, agriculture, farmland, land tenure, efficiency of land use, Bryansk region.*

References

1. *Bryanskaya oblast. 2014: Statisticheskii sbornik / Bryanskstat.* Bryansk, 2014. 428 p.
2. *Doklad o sostoyanii i ispolzovanii zemel v Bryanskoj oblasti v 2013 godu.* Bryansk, 2014. 90 p.
3. *Informaciya o rezultatakh parallelnogo kontrolnogo meropriyatiya s munitsipalnymi i kontrolno-schetnymi organami Bryanskoj oblasti «Audit effektivnosti ispolzovaniya zemel Bryanskoj oblasti v 2010–2012 godakh» // Informatsionnyi byulleten №1 (17).* Bryansk, 2014. 108 p.
4. Nепomnyashchiy E.Yu. *Ekologo-ekonomicheskie usloviya povysheniya effektivnosti selskokhozyaystvennogo regiona: avtoreferat diss... kandidata ekonomicheskikh nauk.* М, 2007. 27 p.
5. *O kompleksnoy programme povysheniya plodorodiya pochv Bryanskoj oblasti: Postanovlenie administratsii Bryanskoj oblasti ot 23 marta 1993 goda № 73.* URL: <http://docs.cntd.ru/document/974000715>.
6. *Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda. Godovoy doklad ob ekologicheskoy situacii v Bryanskoj oblasti v 2013 g.* Bryansk, 2014. 218 p.
7. *Narodnoe khozyaystvo Bryanskoj oblasti 1986–1990 gg. Statisticheskii sbornik: Oblastnoe upravlenie statistiki.* Bryansk, 1994. 360 p.
8. Minakov I.A., Sabetova L.A., Kulikov N.I., Sokolov O.V. *Ekonomika otrasley APK [Economy branches of AIC].* М, KolosS, 2004. 464 p.

Author' information

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

УДК 336.211.1

ЗЕМЕЛЬНО-ОЦЕНОЧНОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВЫГОНИЧСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. Лазаренкова¹, О.П. Москаленко²

¹ - ООО "РАО "ГеоКадастрИнформ"

² - Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

На основе обобщения имеющихся методик ценового зонирования городов предложен вариант оценки пространственных условий административно-территориальных образований и выведена формула определения относительной (балльной) оценки земель. Предложенная методика определения балльной оценки земли основана на изучении социально-экономических и пространственных условий территории административно-территориальных образований. Результаты расчетов для земельно-оценочного зонирования территории Выгоничского района представлены на картосхемах.

Ключевые слова: земельно-оценочное зонирование, относительная (балльная) оценка земель.

Особую роль в развитии земельного рынка играет зонирование территории. Зонирование территорий можно рассматривать в трех аспектах: как правовую меру или инструмент регулирования хозяйственной и иной деятельности, как правовой институт и как функцию управления.

В целях управления земельными ресурсами района целесообразно применять методы земельно-оценочного зонирования территории при определении относительной и абсолютной стоимостей земельной собственности.

Большое количество работ по земельно-оценочному зонированию проводилось и проводятся для территории городов. Похожие работы велись и в странах ближнего зарубежья. Разработаны методики проведения земельно-оценочного и ценового зонирования территории города. Но для территории административных районов нет единой действующей методики. Авторское видение проблемы отражено в изложенных подходах, которые предполагают комплексный учет разнокачественных показателей при оценке земель административных районов.

В зависимости от приоритетных целей различают виды зонирования: функциональное, правовое, финансовое, экологическое, кадастровое зонирование и т. д. Земельно-оценочное зонирование - это разделение территорий муниципальных образований (районов, поселений, населенных пунктов) в целях определения ценовых зон и обеспечения заинтересованных лиц информацией о стоимости земельной собственности, регулирования сделок купли-продажи земельных участков. Формирование ценовых зон - это результат взаимодействия группы факторов, которые имеют как количественные, так и качественные характеристики, что существенно осложняет разработку критериев оценки. Поэтому предложен вариант разработки балльной оценки.

В качестве исходной информации используются картографические материалы (материалы публичной кадастровой карты, топографические карты) официальные результаты государственной кадастровой оценки земель, данные социально-экономического развития района. Картографические материалы выполнены с использованием геоинформационных систем (ГИС) Autodesk MAP, MapInfo Professional.

При зонировании территории использован принцип иерархической системы, т.е. переход от меньших территориальных единиц к более крупным путем обобщения имеющихся материалов. Оценка выполнена на уровне населенных пунктов - по «ключам», на уровне поселений - учтены все поселения с дальнейшим обобщением результатов.

Выгоничский район как муниципальное образование состоит из одного городского и девяти сельских поселений. В ходе реализации федерального закона № 131-ФЗ «О местном самоуправлении» в Выгоничском муниципальном районе образовано 10 поселений: 1 городское - Выгоничское и 9 сельских - Кокинское, Красносельское, Лопушское, Орменское, Скрябинское, Сосновское, Утынское, Хмелевское, Хутор-Борское. Земельные ресурсы райо-

на в значительной степени используются для нужд сельского хозяйства, которое имеет пригородный характер, а так же в качестве земель населенных пунктов. Значительная часть земель отнесена к категории земель лесного фонда.

В настоящее время на территории Выгоничского района Брянской области применяются результаты государственной кадастровой оценки различных категорий земель, утвержденные Администрацией Брянской области:

В приложении к постановлению Администрации Брянской области от 30.11.2012 г. № 1112 опубликованы кадастровая стоимость земельных участков, удельные показатели кадастровой стоимости по земельным участкам, кварталам, населенным пунктам.

Средние взвешенные по площади значения удельных показателей кадастровой стоимости земельных участков (далее УПКСЗ) земель населенных пунктов по кадастровым кварталам Выгоничского кадастрового района изменяются в пределах от 38,78 руб./кв.м. до 210,98 руб./кв.м. [1].

Анализируя имеющиеся данные, можно составить схему ценового зонирования территории Выгоничского района, зная УПКС земельных участков на территории района. УПКС изменяются от 0,0858 руб./кв.м. до 2,3958 руб./кв.м для земель сельскохозяйственного назначения, от 1,52 руб./кв.м до 81,13 руб./кв.м. для земель промышленности иного специального назначения, 85,19 руб./кв.м. для земель особо охраняемых природных территорий, 0,2988 руб./кв.м. для земель лесного фонда, 5,14 руб./кв.м для земель в составе садоводческих объединений [2].

Возможны два варианта схем ценового зонирования: схема ценового зонирования по кадастровым кварталам и схема ценового зонирования по населенным пунктам с использованием значений УПКС.

Обобщая результаты ценового зонирования и имеющиеся результаты стоимости 1 кв.м непосредственно по выбранным ключевым населенным пунктам, можно определить минимальные и максимальные размеры стоимости земельных участков. Средняя стоимость 1 кв.м. варьируется от 34,12 руб./кв.м до 304,39 руб./кв.м.

Блок социально-экономических критериев для земельно-оценочного зонирования территории Выгоничского района составляют:

- 1) коэффициент оценки пространственных условий;
- 2) коэффициент условий жизни населения;
- 3) коэффициент экономической привлекательности.

При оценке пространственных условий использованы элементы методики, предложенной А.В. Ольшевским и В.М. Яцухно [3]. Пространственные условия оказывают влияние на результаты хозяйственной деятельности, степень сельскохозяйственной освоенности территории, стоимость земельных участков, выступающих объектом собственности. При оценке земельных участков учитываются факторы микро-положения, а при оценке поселений - факторы мезо-положения.

Степень компактности территории является одной из главных характеристик, способствующих равномерному пространственному развитию региона. Компактность территории каждой административно-территориальной единицы (АТЕ) Выгоничского района оценивалась по результатам сравнения ее площади с площадью равновеликого круга. Рассчитанные таким образом показатели принимают значения от 0 до 1, т. е. от самой некомпактной фигуры (близкой по форме к прямой линии) до самой компактной - круга.

Степень изрезанности территории Выгоничского района и извилистость их границ устанавливались с использованием коэффициента расчлененности, который определялся как отношение длины границ АТЕ к длине окружности равновеликого круга.

В качестве количественного показателя формы АТЕ Выгоничского района использован коэффициент удаленности, основанный на расчете расстояний от отдельных объектов до геометрического центра фигуры. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Оценка благоприятности пространственных условий поселений проводилась по 5 показателям экспертным путем. Значениям коэффициентов соответствуют баллы: 1 - наименее

благоприятные условия, 2 - средний уровень благоприятности пространственных условий, 3 - наиболее благоприятные условия. Для оценки использовались количественные характеристики, приведенные в табл. 2.

Таблица 1
Расчет балльной оценки пространственных условий Выгоничского района

Наименование поселения	Площадь, кв.км	Протяженность границ, км	Коэффициент компактности	Коэффициент расчлененности	Коэффициент удаленности	Коэффициент густоты дорожной сети	Средний балл
Выгоничское городское	31,86	98,46	0,18	5,50	3,00	4,69	1,80
Кокинское сельское	66,58	41,83	0,69	1,45	2,70	3,24	2,60
Красносельское сельское	42,40	34,11	0,68	1,48	4,78	2,30	2,40
Лопушское сельское	13,71	54,14	0,24	4,13	4,86	3,59	1,60
Орменское сельское	267,20	117,2	0,49	2,02	2,73	1,85	1,60
Скрябинское сельское	9,18	44,7	0,24	4,16	5,94	6,26	1,60
Сосновское сельское	46,30	31,79	0,76	1,32	5,92	2,25	2,20
Утынское сельское	99,40	52,35	0,67	1,48	6,82	1,11	1,80
Хмелевское сельское	179,95	93,09	0,34	2,94	5,72	2,27	1,40
Хутор—Борское сельское	100,70	56,28	0,63	1,58	2,79	1,72	2,00

Таблица 2
Ранжирование результатов оценки пространственных условий

Показатели	Интервал значений	Балл
Площадь, га	8,0 ... 10,0	1
	10,01 ... 30,0	2
	30,01 ... 80,01	3
Коэффициент компактности	0,0 ... 0,40	1
	0,41 ... 0,60	2
	0,61 ... 1	3
Коэффициент расчлененности	1,76 ... 6,0	1
	1,51 ... 1,72	2
	1,20 ... 1,50	3
Коэффициент удаленности	5,0 ... 6,9	1
	3,0 ... 4,99	2
	1 ... 2,99	3
Коэффициент густоты дорожной сети	1,0 ... 2,8	1
	2,81 ... 4,6	2
	4,61 ... 6,6	3

Результаты балльной оценки пространственных условий поселений отражены на рис. 1.

Для характеристики условий жизни населения, используя доступную информацию, можно вычислить ежемесячно поступающий объем денежных средств для населения (условно назовем его коэффициентом условий жизни населения):

$$U=QN,$$

где U - коэффициент условий жизни населения; Q - средняя номинальная начисленная заработная плата по полному кругу предприятий района; N - численность трудовых ресурсов.



Рис. 1. Оценка пространственных условий поселений Выгоничского района Брянской области

По результатам расчетов составлена картосхема оценки условий жизни населения (рис. 2).

Экономическая привлекательность выражена через коэффициенты привлекательности промышленного производства и деятельности сельскохозяйственных организаций. Коэффициент привлекательности промышленного производства S_p представляет собой соотношение количества отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами предприятий обрабатывающей промышленности к количеству отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами предприятий по всем видам экономической деятельности:

$$S_p = \frac{V_{обр.пр.}}{V_{общ}}$$

где $V_{обр.пр.}$ - количество отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами предприятиями обрабатывающей промышленности; $V_{общ}$ - количество отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами предприятий по всем видам экономической деятельности.

Коэффициент деятельности сельскохозяйственных организаций S_s определяем по формуле

$$S_s = \frac{G_{орг}}{G}$$

где $G_{орг}$ - продукция сельскохозяйственных организаций; G - сельскохозяйственная продукция в хозяйствах всех категорий.

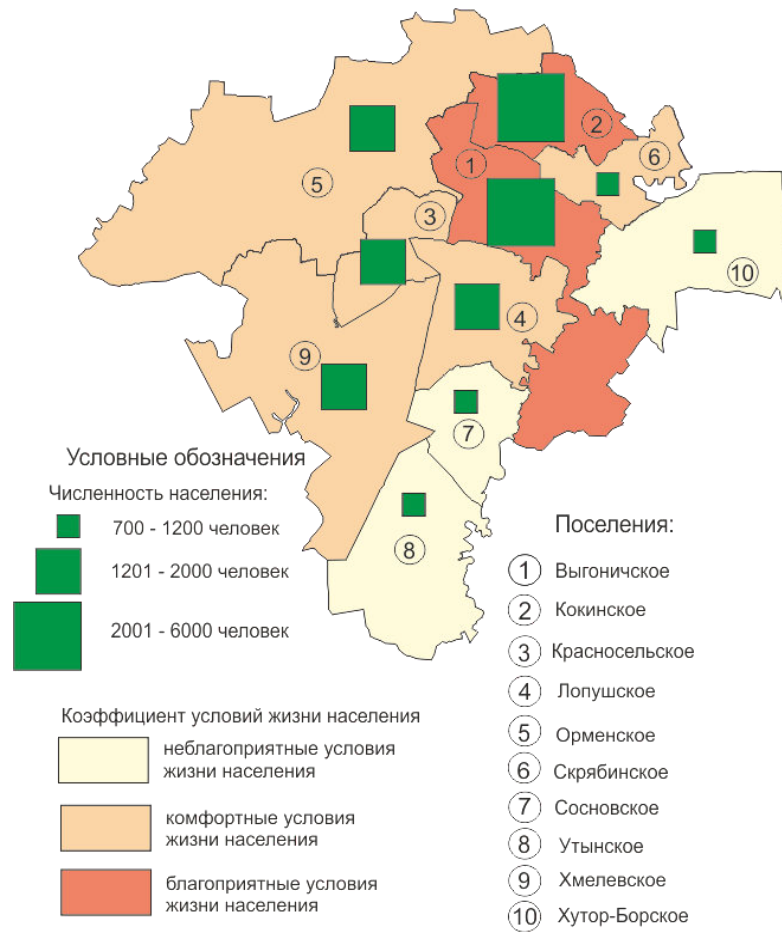


Рис. 2. Оценка условий жизни населения Выгоничского района

Экономическая привлекательность района - это усредненный показатель коэффициента привлекательности промышленного производства и коэффициента деятельности сельскохозяйственных организаций.

Для расчета показателя комплексной оценки земли C использованы ранговые значения вычисленных коэффициентов:

$$C = \frac{U + S}{R} + Pr,$$

где U – ранг коэффициента условий жизни; S – ранг коэффициента экономической привлекательности; R – ранг коэффициента удаленности; Pr – ранг коэффициента пространственных условий.

Результаты земельно-оценочного зонирования территории Выгоничского района Брянской области представлены на рис. 3.

Предложенный подход к определению балльной оценки земли основан на изучении социально-экономических и пространственных условий территории муниципального образования. Дальнейшая разработка методики требует выполнения факторного анализа комплекса условий регионального развития. Результаты земельно-оценочного зонирования территории могут использоваться в качестве инструмента совершенствования территориальной организации хозяйства административного района.

Результаты комплексной оценки территории Выгоничского района

Поселение	Балл комплексной оценки	Оценочная категория
Выгоничское городское	3,7	доступные земли
Кокинское сельское	4,5	дорогие земли
Красносельское сельское	3,8	доступные земли
Лопушское сельское	3,0	доступные земли
Орменское сельское	2,5	дешевые земли
Скрябинское сельское	3,0	дешевые земли
Сосновское сельское	4,0	дорогие земли
Утынское сельское	3,6	доступные земли
Хмелевское сельское	4,2	дорогие земли
Хутор-Борское сельское	2,6	дешевые земли

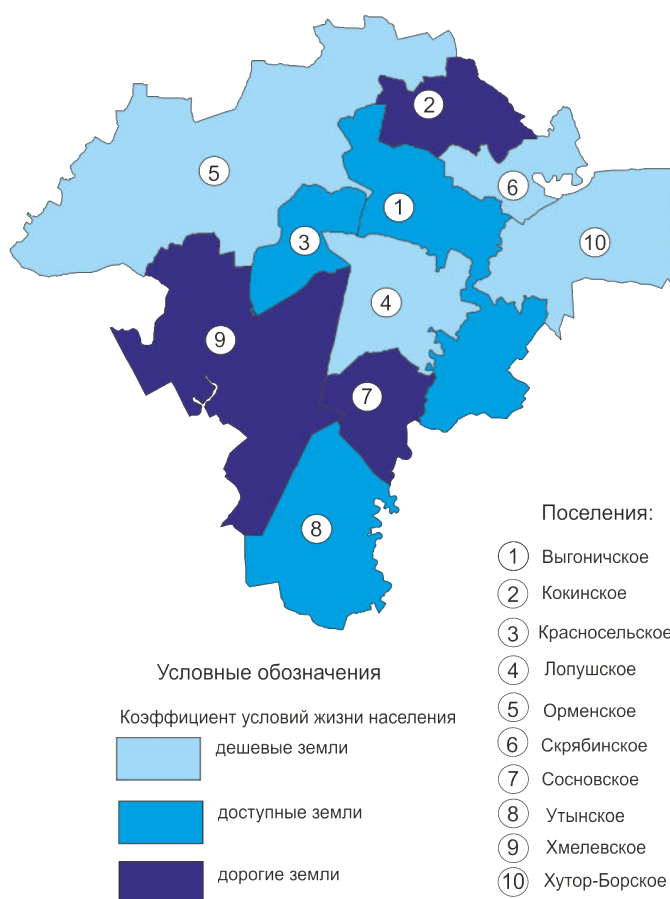


Рис. 3. Схема земельно-оценочного зонирования территории Выгоничского района Брянской области

Список литературы

1. Постановление Администрации Брянской области от 30 ноября 2012 г. № 1112 (ред. 15.09.2014) «Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земель населенных пунктов» [Электронный ресурс] / URL: <http://old.bryanskobl.ru/region/law/view.php?id=10614&type=1>.

2. Постановление Администрации Брянской области от 26 февраля 2007 г. № 111 «Об утверждении средних показателей кадастровой стоимости земельных участков по категори-

ям земель и видам функционального использования в разрезе муниципальных районов Брянской области» [Электронный ресурс] / URL: <http://www.cfo-info.com/okrug8e/rajonbs/read7fqwcw.htm>.

3. Ольшевский, А.В. Оценка пространственных условий административно-территориальных единиц Беларуси / А.В. Ольшевский, В.М. Яцухно // Вестник БГУ. Серия 2. Химия, биология, география. – 2010. - № 3. – С. 97-101.

Сведения об авторах

Лазаренкова Елена Владимировна - инженер по землеустройству ООО «РАО «ГеоКадастрИнформ», lasarel13@yandex.ru.

Москаленко Ольга Павловна – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского, asik54@mail.ru.

LAND-ASSED ZONING OF VYGONICHI DISTRICT OF THE BRYANSK REGION

E.V. Lazarenkova ¹, O.P. Moskalenko ²

¹ - ООО “РАО “GeoKadastrInform”

² - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

On the basis of generalization of existing methods of price zoning of cities offered the option of estimating the spatial conditions of the administrative-territorial units and removed the formula for determining the relative (point) land evaluation. Proposed methodology for determining point assessment of the land is based on the study of socio-economic and spatial conditions in the territory of the administrative-territorial formations. The results of calculations for the land-assed zoning of Vygonichi district of the Bryansk region are represented on the maps.

Key words: *land-assed zoning, determining the relative land evaluation.*

References

1. *Postanovlenie Administratsii Bryanskoy oblasti ot 30 noyabrya 2012 g., N 1112.* Available at: <http://old.bryanskobl.ru/region/law/view.php?id=10614&type=1>.
2. *Postanovlenie Administratsii Bryanskoy oblasti ot 26 fevralya 2007 g., N 111.* Available at: <http://www.cfo-info.com/okrug8e/rajonbs/read7fqwcw.htm>.
3. Olshevskiy A.V., Yatsukhno V.M. *Otsenka prostranstvennykh usloviy administrativno-territorialnykh edinits Belarusi* [Evaluation of spatial conditions of administrative-territorial units of Belarus], *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya, biologiya, geografiya*, 2010, No.3, pp. 97-101.

Authors' information

Lazarenkova Elena Vladimirovna - Engineer of land use planning at ООО “РАО “ГеоКадастрИнформ”, lasarel13@yandex.ru.

Moskalenko Olga Pavlovna - Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of geography, ecology and land management at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, asik54@mail.ru.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 153945

ПРИВОДНАЯ ПОДВЕСКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015102372

Приоритет полезной модели 26 января 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 13 июля 2015 г.

Срок действия патента истекает 26 января 2025 г.

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU⁽¹¹⁾

153945⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
B65G15/60 (2006.01)



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 17.08.2015 - действует

(21), (22) Заявка: 2015102372/11, 26.01.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.01.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.01.2015

(45) Опубликовано: 10.08.2015

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Лагереv Александр Валерьевич (RU),
Толкачев Евгений Николаевич (RU),
Гончаров Кирилл Александрович (RU),
Кулешов Дмитрий Юрьевич (RU)

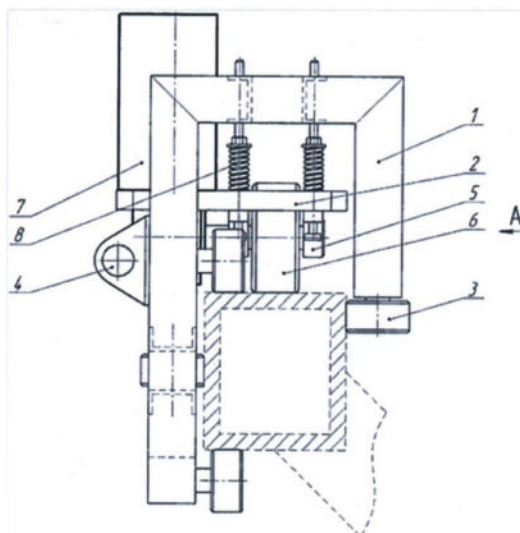
(73) Патентообладатель(и):

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

(54) ПРИВОДНАЯ ПОДВЕСКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

Формула полезной модели

Подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, состоящая из металлоконструкции с установленными на ней роликoвыми узлами, узлом крепления ленты, прижимным устройством с мотор-редуктором, на выходном валу которого закреплен приводной ролик, отличающаяся тем, что металлоконструкция имеет прямоугольную пространственную конфигурацию с попарно и одиночно расположенными на ней опорными роликoвыми узлами, мотор-редуктор установлен на отдельной секции, которая оборудована прижимным устройством, имеющим возможность регулирования усилия прижатия, а выходной вал мотор-редуктора опирается на подшипниковые опоры, между которыми располагается приводной ролик, имеющий поверхность качения, выполненную из фрикционного материала.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 153946

ТРЕХЗВЕННЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ КРАН-МАНИПУЛЯТОР

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014149984

Приоритет полезной модели **10 декабря 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **13 июля 2015 г.**

Срок действия патента истекает **10 декабря 2024 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **153 946** (13) **U1**

(51) МПК
B66C 23/44 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

(21)(22) Заявка: 2014149984/11, 10.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.12.2014

(45) Опубликовано: 10.08.2015 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) **ТРЕХЗВЕННЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ КРАН-МАНИПУЛЯТОР**

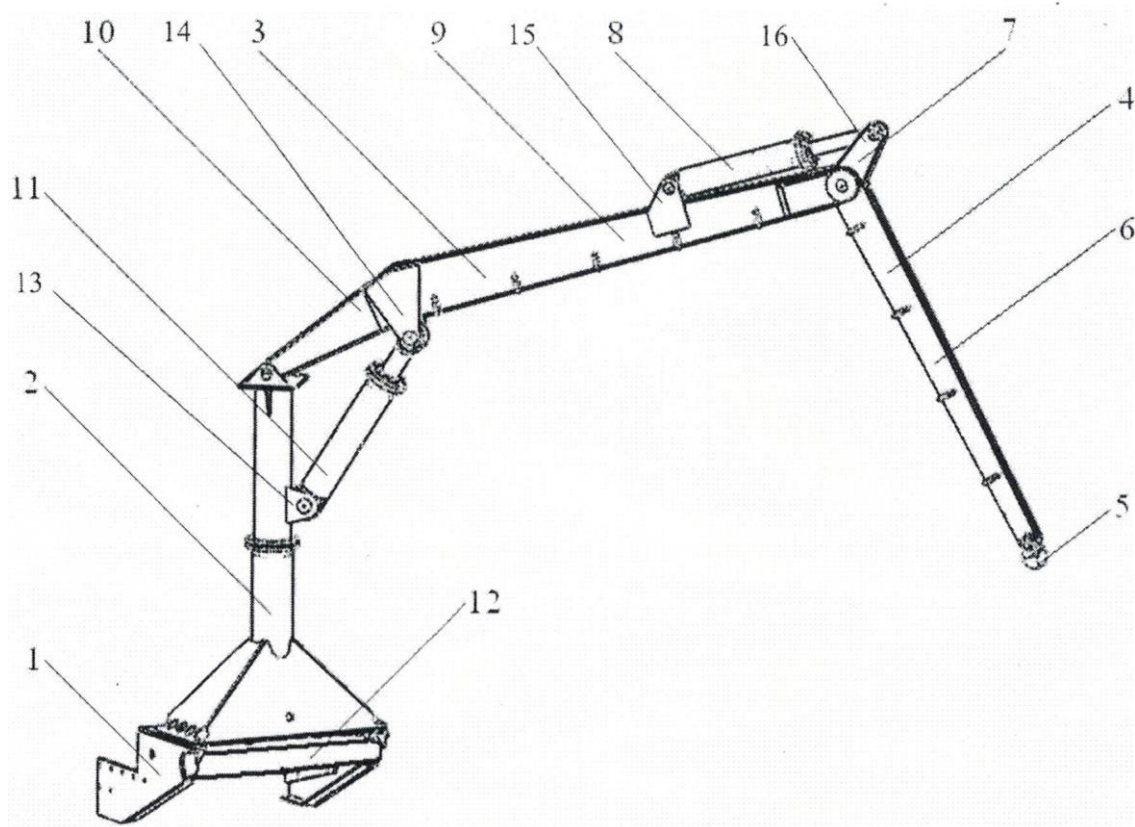
(57) Формула полезной модели

1. Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор, состоящий из закрепленной на раме базового транспортного средства опорной конструкции, поворотной колонны, стрелы, рукояти с закрепленным на конце грузозахватным органом, а также силовыми гидроцилиндрами механизмов поворотного движения стрелы и рукояти, узлы крепления которых к металлоконструкции крана-манипулятора включают по две попарно неподвижно закрепленные на металлоконструкции проушины, изготовленные из толстостенного листового проката и имеющие соосные отверстия для установки в них соединительной оси для образования цилиндрического шарнирного соединения с корпусом гидроцилиндра, отличающийся тем, что со стороны одной из боковых плоскостей проушины в ее перемычках выполняется, расположенный радиально относительно отверстия, паз глубиной не менее $2/3 \dots 3/4$ толщины листового проката, который затем наплавляется материалом, имеющим коэффициент ударной вязкости выше, чем коэффициент ударной вязкости основного материала проушины.

2. Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор по п.1, отличающийся тем, что со стороны обеих боковых плоскостей проушины выполняются симметрично два паза, имеющие одинаковую глубину, ширину и форму поперечного сечения, причем суммарная глубина обоих пазов составляет не менее $2/3 \dots 3/4$ толщины листового проката.

RU 153946 U1

RU 153946 U1



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

отдел инновационного развития

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

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ry