



Научно-технический вестник

БРЯНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Б Р Я Н С К

2017(2)

ISSN 2413-9920

**Научно-технический
ВЕСТНИК
Брянского
государственного
университета**

**№ 2
2017**

**Химические науки
Технические науки
Науки о Земле**

**Nauchno-tekhnicheskii
VESTNIK
Bryanskogo
gosudarstvennogo
universiteta**

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

**№ 2
2017**

**Chemical Science
Engineering Science
Earth Science**

ББК 74.580.4

Н-34

Научно-технический вестник Брянского государственного университета. № 2 (2017). Брянск: РИО БГУ, 2017. – Точка доступа: <http://ntv-brgu.ru>

Размещено на официальном сайте журнала: 25.06.2017

Председатель Редакционного совета:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Council Chairman:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16+

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

© Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2017

© 2017 Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta



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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

Бабажанов С.Х., Дустова Ф.Х. (Ташкент, Республика Узбекистан)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-129-134

Исследование механизмов перемещения ткани на универсальных швейных машинах фирмы TOYODA 129

Ерохин В.В. (Брянск, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-135-141

Реализация геометрической задачи в станках с ЧПУ 135

Нуманов А.Р. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-142-146

Технологическое обеспечение геометрических характеристик поверхности алюминиевого сплава АК8 142

Шляхов С.М., Гаврилов Д.Ю. (Саратов, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-147-153

Кручение бруса круглого поперечного сечения с переменной по длине и поперечному сечению пористостью 147

Транспортное, горное и строительное машиностроение

Илесалиев Д.И. (Ташкент, Республика Узбекистан)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-154-162

К вопросу о вместимости складов тарно-штучных грузов 154

Лагерев А.В., Лагерев И.А. (Брянск, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-163-177

Перспективы внедрения инновационной технологии надземных пассажирских перевозок на основе подвесных пассажирских канатных дорог для модернизации системы общественного транспорта города Брянска 163

Толкачев Е.Н. (Брянск, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189

Математическая модель отказа приводов ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при разрыве электроцепи 178

Информатика, вычислительная техника и управление

Беломойцев Д.Е. (Москва, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-190-195

Разработка генетических операторов алгоритма составления учебных курсов индивидуального содержания 190

Электротехника

Вертугин А.А. (Алматы, Республика Казахстан)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-196-202

Повышение надежности электроснабжения промышленных предприятий за счет применения быстродействующего резервного источника питания 196

Безопасность деятельности человека

Лагерев А.В., Кончиц С.В., Блейшмидт Л.И. (Брянск, Российская Федерация)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220

Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации 203

**НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Лагерев И.А., Ковальский В.Ф., Мильто А.А., Лагерев А.В.

Патент RU № 165377 на полезную модель «Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки» 221

Лагерев И.А., Ковальский В.Ф., Мильто А.А., Лагерев А.В.

Патент RU № 165378 на полезную модель «Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки» 224

CONTENT

ENGINEERING SCIENCE

Machinery Building and Theoretical Engineering

Babazhanov S.H., Dustova F.H. (Tashkent, Uzbekistan)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-129-134

Research of mechanisms of moving of a fabric on universal cars of firm TOYODA 129

Erokhin V.V. (Bryansk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-135-141

Implementation of the geometrical problem in CNC metal cutting machine 135

Numanov A.R. (Saint-Petersburg, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-142-146

Technological support of geometric characteristics of aluminum alloy AK8 surface 142

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

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-147-153

Torsion of the bar of the round transverse section from the variable on length and the transverse section porosity 147

Transport, Mining and Construction Machinery

Ilesaliev D.I. (Tashkent, Uzbekistan)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-154-162

On the question of the capacity of warehouses of packaged-piece cargoes 154

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

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-163-177

Prospects of introduction of innovative technology overhead passenger traffic on the basis of the passenger ropeways for the modernization of the public transport system of the Bryansk city 163

Tolkachev E.N. (Bryansk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-??-??

Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at break in the electric chain 178

Informatics, Computer Science and Controlling

Belomoytsev D.E. (Moscow, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-190-195

The development of individual content educational courses composition algorithms genetic operators 190

Electrical Engineering

Vertugin A.A. (Almaty, Kazakhstan)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-196-202

Increasing the reliability of electricity supply of industrial enterprises for the account of application of a quick-running redundant power supply 196

Safety of Human Activities

Lagerev A.V., Konchits S.V., Bleyshmidt L.I. (Bryansk, Russian Federation)

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220

Risk assessment during operating self-propelled lifting jib cranes in conditions of insufficient information 203

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

Lagerev I.A., Kovalskiy V.F., Milto A.A., Lagerev A.V.

Patent RU No.165377. Device for connecting sections hoisting boom crane-manipulator 221

Lagerev I.A., Kovalskiy V.F., Milto A.A., Lagerev A.V.

Patent RU No.165378. Device for connecting sections hoisting boom crane-manipulator 224

УДК 677.1.052.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТКАНИ НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШВЕЙНЫХ МАШИНАХ ФИРМЫ TOYODA

Бабажанов С.Х., Дустова Ф.Х.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассматривается реечный механизм швейной машины фирмы «Toyota». Проведено исследование траектории движения зубьев рейки, а также характер изменения усилия прижатия рейки, перемещения сшиваемых деталей. Проведено сравнение расчётов, касающихся движения сшиваемых деталей, с результатами проведенных замеров, получена осциллограмма и определены усилия прижатия лапки.

Ключевые слова: рейка, реечный, механизм, лапка, челнок

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-129-134

Как отмечается в [1, 2], реечные механизмы широко используются в швейных машинах для перемещения сшиваемых деталей с выстоем. На швейной машине фирмы TOYODA. Применяются однореечные механизмы II и III классов - механизмы с одной рейкой, расположенной ниже сшиваемых деталей. Рассмотрение и анализ работы данного однореечного механизма, имеющего достаточно широкое распространение, является предметом настоящего исследования.

На рис. 1 показана траектория движение одной из точек рейки. Перемещение деталей начинается с момента, когда зубцы рейки поднимутся выше игольной пластины, т.е. от точки *a*, а оканчивается в точке *b*, когда зубцы уйдут под игольную пластину. Величина перемещения деталей *s* за цикл будет близка к проекции отрезка траектории *ab* на ось *x*, т.е. она зависит от габаритных размеров *B* и *H* траектории зубца. Механизм должен иметь регулировку размера *B*, размер *H* не регулируется и обычно равен 4...5 мм.

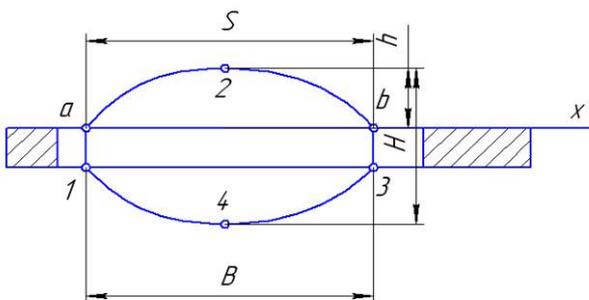


Рис. 1. Траектория движения зубьев рейки

Чтобы обеспечить выполнение показанной на рис. 1 траектории, механизм рейки должен иметь две кинематические цепи для перемещения рейки - по оси *x* и по оси *z*.

Прижимная лапка, осуществляющая прижатие деталей к рейке, должна создавать усилие, необходимое для перемещения деталей, препятствовать подъему деталей при выходе из них иглы и при этом создавать, по возможности, меньшее сопротивление движению деталей. Для большинства реечных механизмов характерны посадка нижней детали и увеличение длины стежков при повышении скорости ведущего вала машины. Эти явления возникают вследствие различных условий нагружения нижней детали, на которую действует рейка, и верхней детали, взаимодействующей с лапкой [1].

Усилие прижатия *N* деталей к рейке изменяется в течение цикла работы машины (рис. 2) и зависит от массы звеньев прижимного устройства *m_{np}*, приведенной к стержню лапки, а также податливости пружины лапки и податливости сшиваемых деталей. В начале перемещения деталей это усилие увеличивается (участок 1-2 на рис. 2), а затем -

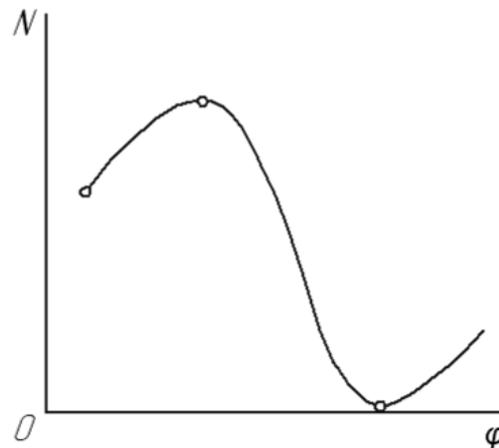


Рис. 2. Характер изменения усилия прижатия рейки в течение одного цикла работы швейной машины

падает до нуля (участок 2-3 на рис. 2). Поэтому на некотором отрезке цикла в районе точки 3 сшиваемые детали могут проскальзывать относительно рейки. Значения экстремума функции $N=f(\varphi)$ (где φ - угол поворота главного вала) возрастает с увеличением частоты вращения главного вала.

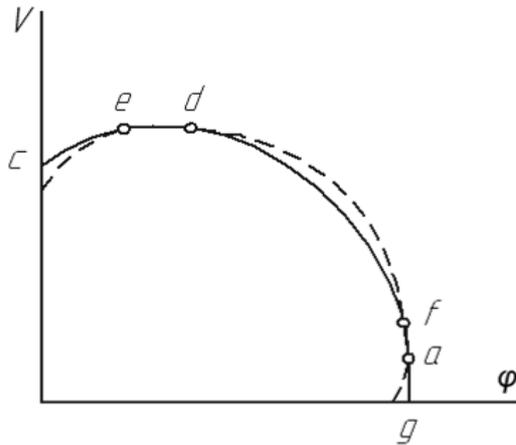


Рис. 3. Изменение скорости перемещения сшиваемых деталей в течение одного цикла работы швейной машины

Процесс перемещения сшиваемых деталей можно представить следующим образом (рис. 3). На участке *ce* нижняя и верхняя детали движутся со скоростями, меньшими горизонтальной составляющей скорости рейки v_x . Затем детали и рейки движутся примерно с одинаковыми скоростями (участок *ed*). В период уменьшения величин v_x и N скорость деталей, наоборот, увеличивается и превышает скорость рейки (участок *df*). Далее детали движутся вновь со скоростью, близкой к скорости рейки (участок *fa*), а в конце перемещения начинают проскальзывать относительно игольной пластины и лапки (участок *ag*).

$$\frac{d^2(x_1 - x_2)}{dt^2} = \frac{1}{m} \{N\mu_1 + N\mu_2 - [2N\mu + (T_1 - T_2)]\} = 0. \quad (1)$$

Поскольку в большинстве случаев $T_1 - T_2 > 0$, то из условия (1) следует неравенство:

$$\mu_1 + \mu_2 > 2\mu \text{ или } \mu_1 - \mu > \mu - \mu_2. \quad (2)$$

Из выражения (1) видно, что при увеличении силы сопротивления T_1 разность $\Delta = (\mu_1 + \mu_2) - 2\mu$ увеличивается и, следовательно, величина проскальзывания должна уменьшаться. Для реализации этого требова-

Очевидно, с изменением частоты вращения ведущего вала машины будут изменяться инерционные нагрузки и, как в следствие, длина стежков. Ранее проведенные исследования показывают, что с увеличением частоты вращения вала длина стежков возрастает.

Если рассматривать изделия, состоящие из деталей конечных размеров одинаковой массы m , то движение деталей можно представить следующим образом. Для нижней детали дифференциальное уравнения движения имеет вид

$$-m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + N\mu_1 - (N\mu + T_1) = 0,$$

где $\frac{d^2 x_1}{dt^2}$ - ускорение перемещения нижней детали; N - сила давления лапки на материал; μ_1, μ - коэффициенты трения между нижней деталью и рейкой и между деталями соответственно; T_1 - сила сопротивления перемещению нижней детали относительно машины.

Аналогично, дифференциальное уравнение движения верхней детали:

$$-m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + N\mu - (N\mu_2 + T_2) = 0,$$

где $\frac{d^2 x_2}{dt^2}$ - ускорение перемещения верхней детали; μ_2 - коэффициент трения между верхней деталью и лапкой; T_2 - сила сопротивления перемещению верхней детали относительно машины.

Чтобы движение происходило без проскальзывания одной детали относительно другой, необходимо обеспечить выполнение условия:

необходимо увеличить сопротивление перемещению нижней детали.

Для выполнения неравенства (2) необходимо увеличивать коэффициент трения μ_1 и уменьшать коэффициент трения μ_2 . Величина μ_1 зависит от свойств сшиваемых деталей (свойств волокон, структуры переплетения нитей, податливости деталей) и соответствующей им геометрии зубцов рейки (шага,

глубины, расположения). При уменьшении толщины, податливости сшиваемых деталей и длины стежков шаг зубцов уменьшается. Для уменьшения коэффициента μ_2 , как правило, полируют рабочую поверхность лапки.

Относительное проскальзывание деталей, возникающее вследствие невыполнения условия (1), является одной из причин неодинакового изменения длины сшитых деталей, называемого посадкой. Посадка, кроме того, зависит от деформации деталей, а иногда, от их провисания между зубцами рейки. На отрезке между последним переплетением нитей и наиболее удаленном от него зубцом рейки деталь, перемещаемая рейкой, сжимается, а деталь, соприкасающаяся с лапкой, растягивается [2].

Однореечный механизм II класса, применяемый в машинах типа 97 кл. ОЗЛ, имеет, как и другие аналогичные механизмы, цепь горизонтального перемещения и цепь подъема рейки (рис. 4).

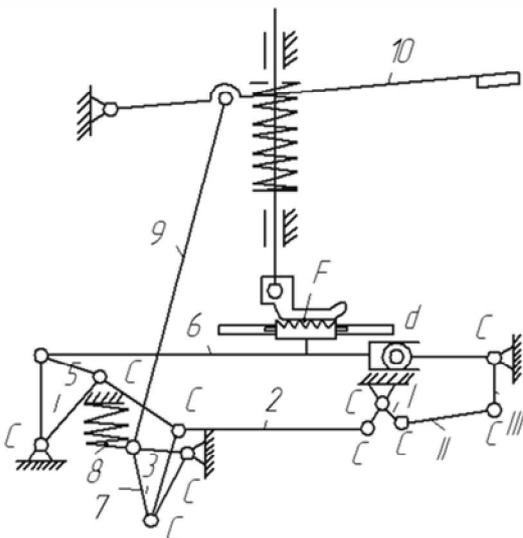


Рис. 4. Схема механизма II класса для перемещения рейки

Горизонтальное перемещение рейки передается от эксцентрика I, закрепленного на валу A, с помощью звеньев 2 - 6. На вилке 6 закреплена рейка F. Подъем рейки осуществляет ролик d, который получает движение от эксцентрика I через шатун II и угловой рычаг III.

Синтез кинематических цепей механизма выполняется по заданным циклограмме работы механизма, траектории точки рейки и условия изменения перемещения сшиваемых

деталей при регулировании. Кроме того, при проектировании учитывают изменения углов между звеньями и возможные ошибки положения рейки.

Как отмечалось, при перемещении сшиваемых деталей рейка периодически ударяет через них о лапку, т.е. работа механизма сопровождается упруго-пластическими ударами. Однако в силу того, что сшиваемые детали в зоне удара обладает незначительной энергоемкостью, в первом приближении пластическую деформацию деталей можно не учитывать. Тогда дифференциальное уравнение вертикального движения стержня лапки будет иметь вид (массу движущейся части и силы упругости сшиваемых деталей не учитываем)

$$m_{np} \frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{z}{\delta_1} + N_0 = N, \quad (3)$$

где $z = z_p + \Delta - \delta_2 N$; m_{np} - масса звеньев устройства лапки, приведенная к ее стержню; z и z_p - перемещения соответственно лапки и рейки; Δ - толщина сшиваемых деталей; δ_1 - податливость пружины лапки; δ_2 - податливость сшиваемых и рейки по оси z .

Обозначив $\frac{\delta_1 + \delta_2}{m_{np} \delta_1 \delta_2} = \kappa$ и

$$\frac{1}{m_{np} \delta_2} \left(N_0 + \frac{\Delta}{\delta_1} + \frac{z_p}{\delta_1} + m_{np} \frac{d^2 z_p}{dt^2} \right) = F(t), \text{ пре-}$$

образуем уравнение (3) к виду:

$$\frac{d^2 N}{dt^2} + \kappa^2 N = F(t). \quad (4)$$

Если представить перемещение рейки в виде $z_p = a \sin \Omega t$, то уравнение (4) запишется в виде:

$$\frac{d^2 N}{dt^2} + k^2 N = A + B \sin \Omega t, \quad (5)$$

где $A = \frac{1}{m_{np} \delta_2} \left(N_0 + \frac{\Delta}{\delta_1} \right)$;

$B = \frac{a}{\delta_2} \left(\frac{1}{m_{np} \delta_1} - \Omega^2 \right)$; a - числовой коэффициент;

Ω - угловая скорость.

Решением дифференциального уравнения (5) будет

$$N = c_1 \cos kt + c_2 \sin kt + \frac{B \sin \Omega t}{k^2 - \Omega^2} + \frac{A}{k^2},$$

где c_1 и c_2 - постоянные интегрирования.

Их величины определяются из начальных условий при $t=0$, и $N = N_0$:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dz_p}{dt} - \delta_2 \frac{dN}{dt} = 0;$$

$$N = \left(N_0 - \frac{A}{k^2} \right) \cos kt + \frac{a\Omega - \frac{\delta_2 B \Omega}{k^2 - \Omega^2}}{\delta_2 k} \sin kt + \frac{B}{k^2 - \Omega^2} \sin \Omega t + \frac{A}{k^2}.$$

Анализируя полученное выражение, можно установить, что изменение усилия прижатия лапкой сшиваемых деталей уменьшается, а продолжительность их контакта возрастает в случае облегчения движения подвижных звеньев прижимного устройства и увеличения податливости рейки по оси z .

Пружина лапки кроме обеспечения давления на сшиваемые детали также должна сравнительно легко деформироваться при заправке их под лапку. При верхнем положении лапки наибольшая величина усилия пружины, устанавливаемая из допускаемого усилия на рычажке для подъема лапки:

$$N_{\text{дон}} = N_0 + (h/\delta_1),$$

где h – высота подъема лапки.

Податливость пружины лапки

$$\delta_1 = \frac{h}{N_{\text{дон}} - N_0}.$$

Из курса сопротивления материалов известно, что

$$N_{\text{дон}} = \frac{\pi d^3}{8D_{cp}} [\tau], \quad \delta_1 = \frac{8D_{cp}^3 i}{Gd^4},$$

где d - диаметр проволоки (витка) пружины; D_{cp} - средний диаметр пружины; $[\tau]$ - допускаемое напряжение на срез материала пружины; i - число витков пружины; G - модуль сдвига материала пружины.

Приведенные равенства позволяют найти

$$\frac{d}{i} = \frac{\pi[\tau]}{G\delta_1 N_{\text{дон}}} D_{cp}^2. \quad (6)$$

С помощью этого выражения можно вычислить величину одного из искомым параметров, допустим d , а величинами двух остальных параметров (D_{cp} и i) необходимо задаться.

$$c_1 = N_0 - \frac{A}{k^2};$$

$$c_2 = \frac{a\Omega - \frac{\delta_2 B \Omega}{k^2 - \Omega^2}}{\delta_2 k}.$$

Тогда

Реечные механизмы образованы из большого числа звеньев, резко отличающихся по длине, и должны обеспечивать достаточно малые перемещения рейки. Поэтому цепи механизма необходимо рассчитывать на точность. Поскольку число элементов, вносящих погрешность и входящих в механизм рейки, достаточно велико, расчет на точность следует вести по вероятностным зависимостям. Считая погрешности некоррелированными случайными величинами, погрешность δ_Σ на выходном звене можно определить по формуле:

$$\delta_\Sigma = \frac{1}{k_\Sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 k_i^2 \delta_i^2}, \quad (7)$$

где k_Σ, k_i – коэффициенты рассеивания замыкающего и i -го звеньев соответственно; A - передаточное число i -й погрешности; δ_i – половина поля допуска на размер i -го звена; n - число погрешностей, учитываемых при расчете точности механизма.

Коэффициенты рассеивания k_i и k_Σ зависят от закона распределения соответствующей погрешности. Передаточные отношения A_i можно определить с помощью построения планов малых перемещений преобразованных механизмов и проведением экспериментальных исследований.

В связи с этим нами была разработана экспериментальная установка, позволяющая проводить измерения величины перемещения рейки и передаточное отношение A_i . На рис. 5 приведены рассчитанные значения точности δ и перемещения лапки от угловой скорости ω .

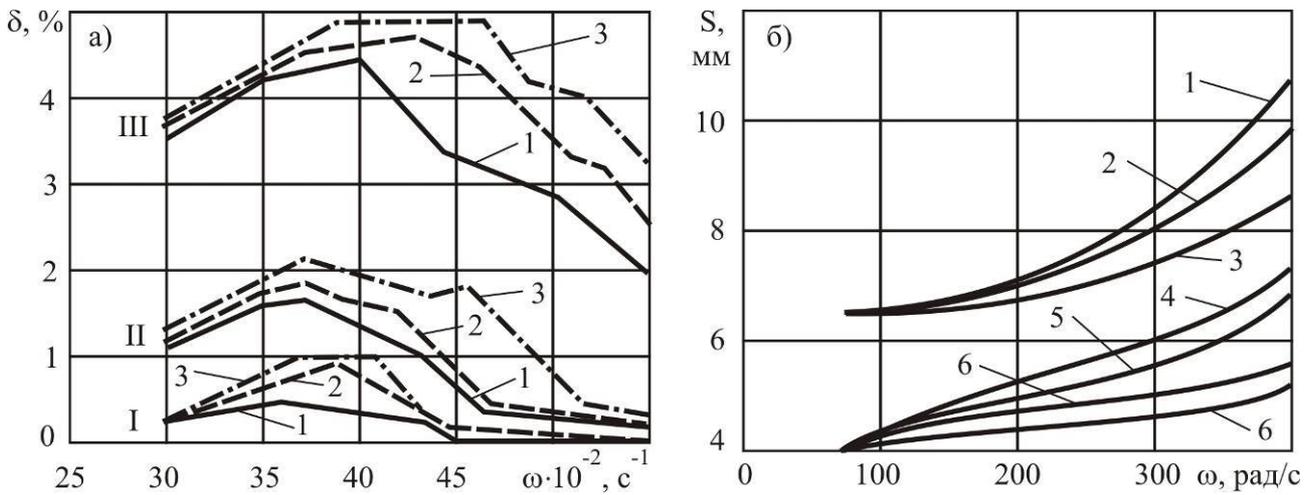


Рис. 5. Графики зависимости точности δ (а) и перемещения лапки S (б) от угловой скорости вращения ω главного вала (кривые 1...6 соответствуют номерам элементов рычажного механизма на рис. 4)

Результаты проведенных замеров для элемента 6 (лапки) рычажного механизма представлены в виде осциллограммы на рис. 6. Из полученных результатов видно, что усилие прижатия лапки за один оборот челнока изменяется по кривой 1, показанной на осциллограмме.

Выводы.

В работе получено дифференциальное уравнение вертикального движения стержня лапки для создания усилия прижатия сшиваемых тканей.

Установлено, что изменение усилия прижатия сшиваемых деталей лапкой уменьшается, а продолжительность их контакта возрастает при облегчении подвижных звеньев прижимного устройства и увеличения податливости рейки вдоль оси действия силы прижатия. Также выявлено, что пружина лапки, кроме обеспечения давления на сшиваемые детали, должна сравнительно легко деформироваться при заправке их под лапку.

Список литературы.

1. Джураев, А. Обоснование параметров упругой кинематической пары четырехзвенного рычажного механизма / А. Джураев, О. Муродов, Д. Мансурова // Проблемы текстиля. – 2010. - №1. - С. 12-15.
2. Мансурова, М. Определение максимального момента сжатия упругой опоры шарнира механизма перемещения материала швейной машины / М. Мансурова, Д. Мансурова, Б. Кучаров // Научно-технические проблемы в хлопкоочистительной, текстильной, легкой промышленности и полиграфическом производстве. - Ташкент, 2010.

Сведения об авторах

Бабаджанов Собит Хусанович – кандидат технических наук, доцент Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, zafar_makhmutov_88@gmail.com.

Дустова Фируза Хамраевна – ассистент Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, aridondjur82@mail.ru.

RESEARCH OF MECHANISMS OF MOVING OF A FABRIC ON UNIVERSAL CARS OF FIRM TOYODA

Babazhanov S.H., Dustova F.H.

Tashkent Institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

In article are considered research mechanism of sewing machine firm "Toyoda". The study of the trajectory of movement of the teeth of the rail, as well as the nature of the changing the rail, the movement of the parts to be sewn.

Keyword: rake, rack, pinion, foot, shuttle.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-129-134

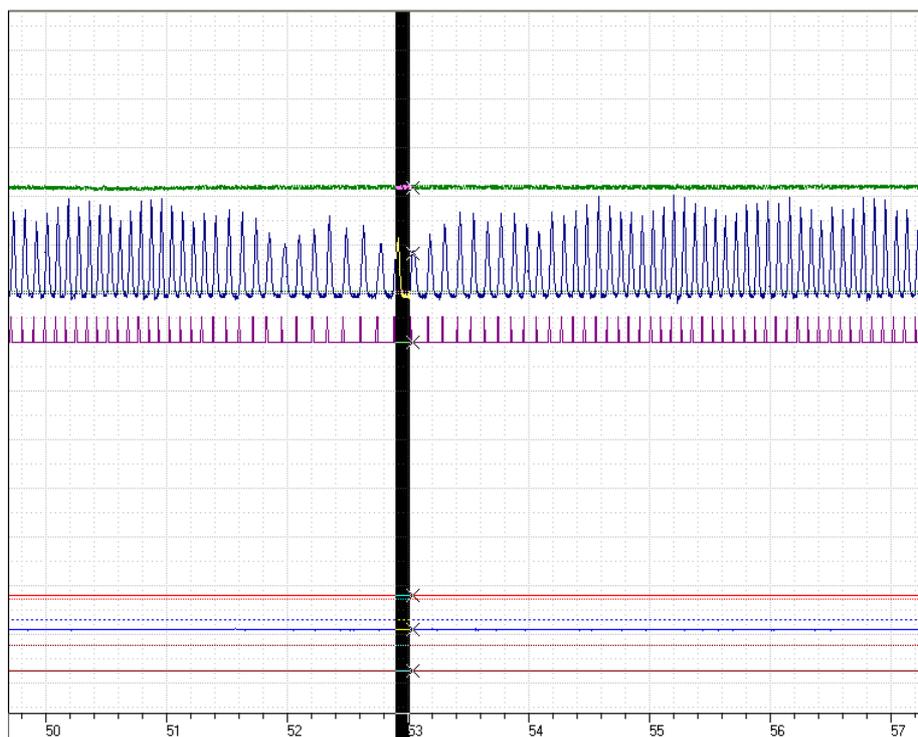


Рис. 6. Осциллограмма изменения усилия прижатия сшиваемых тканей лапкой рычажного механизма

References

1. Dzhuraev A., Murodov O., Mansurova D. Obosnovanie parametrov uprugoy kinematicheskoy pary chetyrekhzvennogo rychazhnogo mekhanizma. *Problemy tekstilya*, 2010, No.1, pp. 12-15.

2. Mansurova M., Mansurova D., Kucharov B. Opredelenie maksimalnogo momenta szhatiya uprugoy opory sharnira mekhanizma peremeshcheniya materiala shveynoy mashiny. *Naukoemkie tekhnologii v khlopkoochistitelnoy,*

tekstilnoy, legkoy promyshlennostyakh i poligraficheskom proizvodstve. Tashkent, 2010.

Authors' information

Sobit H. Babajanov - Ph.D., associate professor at Tashkent Institute of textile and light industry, zafar_makmutov_88@gmail.com.

Firuza H. Dustova – assistant at Tashkent Institute of textile and light industry, aridondjur82@mail.ru.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 621.9

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ В СТАНКАХ С ЧПУ

Ерохин В.В.

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

В статье рассматриваются задачи управления производственным процессом (технологическим процессом и технологическим оборудованием), наиболее подробно анализируется реализация геометрической задачи в станках с ЧПУ. Анализируется влияние решения геометрической задачи ЧПУ на точность обработки заготовки посредством реализации определенного алгоритма интерполяции и значений дискретности перемещений рабочих органов станка с ЧПУ. Приведена методика формирования заданной траектории движения исполнительного органа станка, посредством которого требуется обеспечить согласованное движение формообразующих координат по определенному закону в зависимости от заданной траектории режущей кромки инструмента. Рассмотрены достоинства и недостатки реализации интерполяции в системах ЧПУ различными методами, особое внимание уделено комбинированным методам реализации интерполяции.

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

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-135-141

Данная статья является продолжением и дополнением научной статьи [1].

Погрешность формообразования реальной детали не должна превышать допустимого предела, определяемого конструкторско-технологической документацией. Погрешности складываются из составляющих, вносимых [2, 3]:

1) системой управления – погрешность подготовительных расчетов и расчетов в интерполяционном цикле, накопленная погрешность интерполяции, погрешность, образованная информационными потерями при переходе к очередному кадру;

2) системой измерения – внутришаговая и накопленная погрешности измерительных преобразователей обратной связи по положению;

3) приводом – погрешность дрейф-характеристик, динамическая, скоростная и нагрузочная погрешности, погрешности шариковых винтовых механизмов;

4) несущей системой – геометрическая погрешность, погрешности упругих перемещений и температурных деформаций;

5) инструментом – погрешность настройки и погрешность, обусловленная изнашиванием;

6) деталью – геометрическая погрешность, погрешность установки и температурного деформирования.

Точность станков с ЧПУ дополнительно характеризуют следующие специфические состояния устройств управления:

- точность линейного позиционирования рабочих органов;

- точность размера зоны нечувствительности, т.е. отставание в смещении рабочих органов при смене направления движения;

- точность возврата рабочих органов в заданную точку;

- точность обработки в режиме круговой интерполяции;

- стабильность положения инструментов после автоматической смены.

Нормативы точности линейного позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ приведены в табл. 1 [4, 5].

При техническом контроле станков с ЧПУ выявляют как точность, так и стабильность, т.е. многократную повторяемость прихода рабочих органов в одно и то же положение, причем стабильность более значима для достижения точности обработки, чем сама точность. В табл. 2 приведены предельные значения нестабильности при линейном позиционировании [4, 5].

Общая ошибка при позиционировании рабочих органов станка $\Delta_p = \Delta + \delta$.

Наибольшая погрешность при отработке перемещения, например, на длине 300 мм по осям X и Y для станка класса точности П составит 17,2 мкм, а для станка класса В – 8,6 мкм.

Погрешности, доступные управлению, должны быть минимизированы, а погрешности, недоступные управлению, по возможности должны быть скомпенсированы.

Таблица 1

Накопительная погрешность Δ при одностороннем подходе к заданной координате, мкм

Класс точности станка	Перемещение на длине, мм															
	До 50		Св. 50 до 80		Св. 80 до 125		Св. 125 до 200		Св. 200 до 320		Св. 320 до 500		Св. 500 до 800		Св. 800 до 1250	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Н	8	12	10	10	12	20	16	25	20	30	25	40	40	50	40	65
П	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20	16	26	20	30
В	2	3	2,5	4	3	5	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16

Примечание. Классы точности станков: Н – нормальная точность, П – повышенная точность, В – высокая точность. Погрешность *a* относится к осям X, Y, W, R, погрешность *b* – к оси Z.

Таблица 2

Нестабильность δ достижения заданного положения при позиционировании, мкм

Класс точности станка	Перемещение на длине, мм									
	До 50		Св. 50 до 125		Св. 125 до 320		Св. 320 до 800		Св. 800 до 2000	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Н	9,6	15,0	12,0	18,0	15,0	24,0	24,0	36,0	36,0	60,0
П	4,8	7,2	6,0	9,6	7,2	12,0	12,0	18,0	18,0	30,0
В	2,4	3,6	3,0	3,8	3,6	6,0	6,0	9,6	9,6	15,0

Примечание. Отклонения *a* относится к осям X, Y, W, R, отклонения *b* – к оси Z.

При расчете эквидистанты, а также при безэквидистантном программировании (операторы G42, G41) переход от координат x_0, y_0 основного контура к координатам $x_э, y_э$ эквидистантного контура (рис. 1) осуществляется по формулам

$$x_э = x_0 \pm r_ф \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}; \quad y_э = y_0 \pm r_ф \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}$$

или

$$x_э = x_0 \pm r_ф \sin\alpha; \quad y_э = y_0 \pm r_ф \cos\alpha,$$

где $k = \frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\alpha$; $r_ф$ – радиус фрезы; α – угол наклона касательной в точке x_0, y_0 .

Если в алгоритмы интерполяции и алгоритмы управления приводами подачи входят составляющие вектора контурной скорости, то они определяются:

- для линейных контуров

$$V_x = \frac{V\Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}; \quad V_y = \frac{V\Delta y}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}},$$

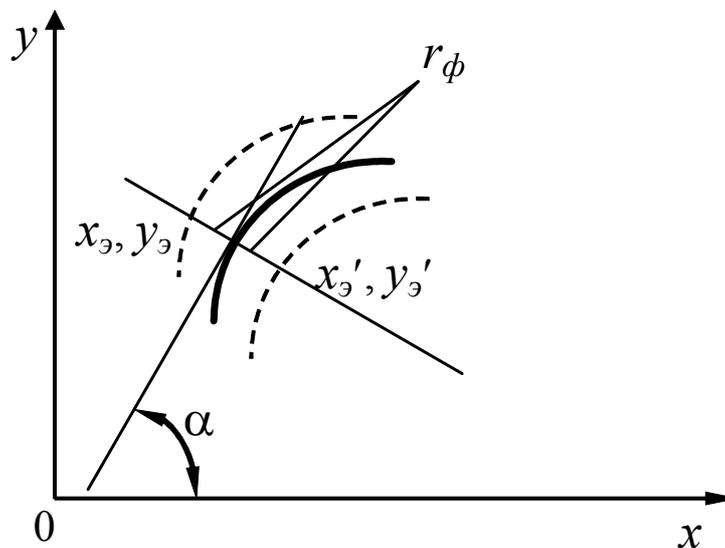


Рис. 1. Переход от координат основного контура к координатам эквидистантного контура

- для круговых контуров

$$V_x = \frac{Vx_i}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2}}; \quad V_y = \frac{Vy_i}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2}},$$

где V , V_x , V_y – соответственно контурная скорость подачи и ее составляющие; Δx , Δy – кадровые перемещения по осям X , Y ; x_i , y_i – координаты текущей точки дуги окружности относительно ее центра; x_u , y_u – координаты центра дуги относительно ее начальной точки.

Для формирования заданной траектории движения исполнительного органа необходимо обеспечить согласованное движение формообразующих координат по определенному закону в зависимости от заданной траектории, т.е. должна быть решена система уравнений [5, 6]:

$$\begin{cases} F_1(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0; \\ F_2(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0; \\ \dots \\ F_{n-1}(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0; \\ F_n(\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dots, \dot{X}_n) = V(t), \end{cases} \quad (1)$$

где F_n – функция, определяющая модуль контурной скорости (например, для ортогональных декартовых координат это квадратный корень из суммы квадратов временных производных по координатам); $V(t)$ – функция, описывающая закон изменения контурной скорости во времени t .

Уравнения (1) и (2), составляющие задачу интерполяции, могут быть решены различными способами.

Уравнения (1) могут быть записаны в явном и неявном виде, параметрической и дифференциальной форме и т.п. Для каждой формы записи могут быть применены различные способы решения, начиная от непосредственного функционального расчета и кончая разнообразными численными методами. Уравнения могут быть решены по начальным опорным точкам за один или несколько циклов расчета, когда точки, рассчитанные на предыдущем этапе, используются как опорные (многоэтапная интерполяция).

Совокупность формы описания системы уравнений (1) и соответствующего способа совместного решения систем (1) и (2) называется методом интерполяции.

Существуют следующие методы реализации интерполяции [5]:

- оценочная функция (ОФ);

- цифра за цифрой;
- цифровые дифференциальные анализаторы (ЦДА);
- прогноз и коррекция;
- таблично-аналитический (или таблично-алгоритмический).

При использовании методов ЦДА система (1) записывается как система уравнений в частных производных, которая численно интегрируется различными способами. При использовании метода ОФ решение системы (1), заданной уравнениями в неявной форме, представляет собой процесс решения оптимизационной задачи, минимизирующей левые части системы уравнений (1). Наряду с этими двумя методами имеется третий метод с утвердившимся названием – таблично-алгоритмический метод, при котором решения системы уравнений (1) табулируются в опорных точках, а промежуточные точки определяются по одному из известных методов интерполяции. Остальные методы, как правило, еще не получили утвердившихся названий, принятых в отечественной литературе, а для зарубежных работ характерны различные названия даже для одних и тех же методов интерполяции. Для решения конкретных задач формообразования разрабатываются методы, основанные на комбинации различных традиционных способов, которые называются комбинированными методами интерполяции.

Вид интерполяции определяется формой траектории, которая образуется при управлении по двум или трем ортогональным осям поступательного движения в соответствии с системой уравнений (1). Наиболее распространены линейная и круговая интерполяции, так как контуры большинства деталей ограничены отрезками прямых и дуг окружностей, реже применяются винтовая и параболическая интерполяции.

Основными достоинствами метода ОФ являются:

1) отсутствие накопления погрешности, результатом чего является целочисленность расчетов, т.е. отсутствие в них дробных значений дискрет;

2) значения погрешности интерполяции, не превышающая значения величины единицы дискреты расчета;

3) простота проектирования алгоритма интерполяции.

Недостатком метода шаговой ОФ является то, что в своем основном виде этот метод приводит к колебаниям контурной скорости в $\sqrt{2}$ раз для плоской и $\sqrt{3}$ раз для пространственной обработки. Для поддержания контурной скорости необходимо использовать более сложные алгоритмы.

Методы «цифра за цифрой» позволяют успешно решать большинство задач управления формообразованием как традиционных (воспроизведение траектории, построение эквидистанты, управление контурной скоростью) так и специальных (работа в локальной системе координат, разворот инструмента по нормали и т.п.). Однако сравнительно невысокое быстродействие этих методов не позволяет решать указанные задачи только с их помощью. Наиболее успешно эти методы могут быть использованы в комбинации с другими методами расчета.

Недостатком методов ЦДА является невозможность получения больших скоростей перемещений из-за ограничений на частоту прерываний. Применение ЦДА для воспроизведения сложных кривых ограничивается сложностью вычислений производных и извлечения квадратного корня, а также сложностью построения эквидистанты к произвольным кривым второго порядка, так как для всех кривых кроме окружности и эвольвенты эквидистанта не является кривой того же порядка (например, эквидистанта эллипса представляет собой дробнорациональную кривую, эквивалентную кривой восьмого порядка и, естественно, не может интерполироваться в реальном масштабе времени аппаратными средствами большинством ЧПУ). Применение метода ЦДА оправдано, если в системе ЧПУ имеются функции подачи на оборот, разгона и торможения.

Комбинирование традиционных методов реализации интерполяции позволило соединить достоинства и недостатки традиционных методов интерполяции, проявляющиеся в определенных системах ЧПУ и при определенных требованиях к процессу управления по точности, быстродействию, гибкости алгоритмов и другим параметрам.

Комбинирование традиционных методов интерполяции осуществляется по самым

разнообразным схемам, но в порядке усложнения можно выделить три основные схемы:

- при вычислительных операциях;
- на уровне структуры интерполятора;
- при интеграции задач в интерполяторе.

Комбинирование методов на уровне структуры интерполятора более значительно увеличивает точность и быстродействие алгоритмов реализации интерполяции. Обеспечение определенного уровня универсальности достигается структурным комбинированием методов, встречающейся при многоэтапной интерполяции. Обычно используются две разновидности двухэтажной интерполяции:

- 1) интерполяция с коррекцией;
- 2) интерполяция с микроинтерполяцией.

Общим для этих методов является нахождение интерполируемой точки, удовлетворяющей решению системы уравнений (1) и (2) в два этапа, причем определенная в результате первого этапа точка не удовлетворяет системе, а на втором этапе по результатам первого определяется точное решение.

Различие методов состоит в том, что при первой разновидности интерполяции простым и нетрудоемким способом на первом этапе находится точка, удовлетворяющая уравнению (2) и являющаяся приближенным решением траекторного уравнения, а на втором корректируются ее координаты. При второй разновидности интерполяции на первом этапе с высокой точностью рассчитывается точка на интерполируемой траектории, причем условие (2) обычно не соблюдается, а для его выполнения на втором этапе осуществляется интерполяция по несложному закону между двумя точками на траектории.

Часто первый этап называют грубой интерполяцией, а второй – точной. Однако эти термины имеют неодинаковый смысл для указанных разновидностей. Для первой разновидности под грубой интерполяцией подразумевается приближенный расчет (загрубление метода интерполяции), а для второй разновидности термин связан с укрупненным (грубым) шагом интерполяции.

Целью применения обеих вариантов двухэтапной интерполяции является уменьшение трудоемкости интерполяционных расчетов при соблюдении требуемой точности. Для первого варианта интерполяции это

достигается путем упрощения алгоритма грубой интерполяции и работы с малыми приращениями алгоритма точной интерполяции. Точность обеспечивается алгоритмом коррекции.

Для второго варианта интерполяции ускорение расчетов обеспечивается постоянным шагом алгоритма грубой интерполяции, позволяющим перейти к рекуррентным расчетам и заменить сдвигом операции умножения и деления, и простым алгоритмом точной интерполяции. Точность обеспечивается выбором требуемого шага грубой интерполяции.

Если в формообразовании участвуют оси вращательного движения, тогда при интерполяции в системе осевых координат наблюдается лишь косвенная связь между видом интерполяции и формой траектории (при линейной интерполяции по двум осям в цилиндрической системе координат результирующей кривой является архимедова спираль). При интерполяции большого числа координат, часть из которых являются угловыми (при многокоординатной обработке или управлении промышленным роботом с большим числом степеней подвижности), часто используют параметрическое представление системы уравнений (1), причем под видом интерполяции понимают вид зависимости координатных перемещений от параметров. При решении задач такого рода встречается термин «сплайн-интерполяция», указывающий не на вид интерполяции, который может широко варьироваться, а на характер сопряжения отдельных участков траекторий, аппроксимирующей требуемый закон движения.

Для рассмотрения методов интерполяции необходимо отметить характерные для принципов управления различия, которые не зависят от метода и вида интерполяции.

Методы интерполяции делятся на две большие группы в зависимости от применяемого принципа управления [4-6]:

1. Управление с помощью изменения масштаба времени при постоянном управляющем воздействии (шаговый или импульсный метод управления);

2. Управление с помощью изменения управляющего воздействия при неизменной частоте управления (кодовый метод управ-

ления). В первых системах ЧПУ, имевших интерполяторы, применялись шаговые методы интерполяции из-за простоты их аппаратной реализации. С выхода интерполятора программная информация распределялась по управляемым координатам в унитарном коде, т.е. приводы получали задание в виде последовательности импульсов. Такой вид задания естественен для шаговых приводов и следящих приводов с аппаратно-замкнутой обратной связью по положению. Первые программно-реализуемые интерполяторы были ориентированы на приводы тех же типов, поэтому исторически разработка шаговых методов интерполяции предшествовала разработке кодовых.

При шаговом методе управления информация на привод подается по двум каналам: «движение в + (плюс)» и «движение в – (минус)». Частота следования задающих импульсов определяет скорость перемещения, а интеграл от частоты, т.е. сумма импульсов, – положение по данной координате. Каждый импульс производит передвижение на одну основную единицу длины (дискрету). Размеры в системах ЧПУ выражаются целым числом дискрет, величины типичных дискрет равны 1 или 10 мкм.

При кодовом методе управления информация на привод подается по одному каналу, чаще всего в виде аналогового сигнала, причем знак задания определяет направление, величина задания – скорость, интеграл от задания – положение.

Наряду с термином «принцип управления» используется термин «принцип интерполяции», под которым понимается тип выходной величины интерполятора – перемещение, скорость или ускорение. Однако необходимость формирования указанных величин определяется структурой исполнительного привода, поэтому принцип интерполяции имеет значение лишь при наличии соответствующего программного контура регулирования.

Применение комбинированных методов реализации интерполяции, т.е. геометрической задачи, на уровне вычислений позволило увеличить точность и быстродействие методов интерполяции, а комбинирование на структурном уровне позволило обеспечить гибкость программного обеспечения. При-

менение комбинированных методов при интеграции задач в интерполяторе не ограничивается только этим. Оно обуславливается стремлением наиболее успешно решить в рамках интерполяционных структур задачи, тесно связанные с интерполяцией.

Список литературы

1. Ерохин, В.В. Выбор методов реализации геометрической задачи управления устройствами ЧПУ в технологическом оборудовании / В.В. Ерохин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №1. – С. 18-25.
2. Белов, М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козырук. – М.: Академия, 2006. – 368 с.
3. Ерохин, В.В. Системы автоматизированного управления производственным процессом / В.В. Ерохин, М.П. Топорков. – Брянск: БГТУ, 2004. – 99 с.
4. Ерохин, В.В. Системы управления производственным процессом / В.В. Ерохин, М.П. Топорков, Т.А. Моргаленко. – Брянск: БГТУ, 2009. – 158 с.
5. Ерохин, В.В. Автоматизированные системы проектирования и управления технологическим процессом / В.В. Ерохин, Е.А. Памфилов. – Брянск: БГИТА, 2011. – 368 с.
6. Сосонкин, В.Л. Систем числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос, 2005. – 296 с.

Сведения об авторе

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

IMPLEMENTATION OF THE GEOMETRICAL PROBLEM IN CNC METAL CUTTING MACHINE

Erokhin V.V.

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

The article deals with the tasks of managing the production process (technological process and technological equipment), the most detailed analysis of the implementation of the geometric problem in CNC machines. The influence of the solution of the geometric CNC problem on the accuracy of workpiece machining is analyzed by implementing a certain interpolation algorithm and the values of the discreteness of the movements of the working bodies of the CNC machine. The technique of forming a given trajectory of motion of the machine's executive organ is given, by means of which it is required to ensure the coordinated movement of the shaping coordinates according to a certain law, depending on the specified trajectory of the cutting edge of the tool. The advantages and disadvantages of the implementation of interpolation in CNC systems by various methods are considered, and particular attention is paid to combined methods of realizing interpolation.

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

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-135-141

References

1. Erokhin V.V. Select method of implementing the control device of geometrical problems in the process equipment CNC. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.1, pp. 18-25. (In Russian)
2. Belov M.P., Zementov O.I., Kozyaruk A.E. *Inzhiniring elektroprivodov i sistem avtomatizatsii* [Engineering of electric drives and automation systems]. Moscow, Akademiya, 2006. 368 p. (In Russian)
3. Erokhin V.V., Toporkov M.P. *Sistemy avtomatizirovannogo upravleniya proiz-*

vodstvennym processom [Automated control systems of production processes]. Bryansk, BSTU, 2004. 99 p. (In Russian)

4. Erokhin V.V., Toporkov M.P., Morgalenko T.A. *Sistemy upravleniya proizvodstvennym processom* [Control systems production process]. Bryansk, BSTU, 2009. 158 p. (In Russian)

5. Erokhin V.V., Pamfilov E.A. *Avtomatizirovannye sistemy proektirovaniya i upravleniya tekhnologicheskim processom* [The automated systems of design and control of technological

process]. Bryansk, BGITA, 2011. 368 p. (In Russian)

6. Sosonkin V.L., Martinov G.M. *Sistemy chislovogo programmno upravleniya* [Systems CNC]. Moscow, Logos, 2005. 296 p. (In Russian)

Author' information

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

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 629.3.02

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК8

Нуманов А.Р.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия

Получена зависимость, описывающая влияние продольной подачи и радиуса при вершине инструмента на среднее арифметическое отклонение неровностей профиля R_a при точении сплава АК8. Статистический анализ полученной модели с использованием критериев Кохрена, Стьюдента и Фишера показал пригодность полученной модели с 95 % вероятностью предсказывать результаты эксперимента.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, шероховатость поверхности, технологическое обеспечение, планирование эксперимента, статистический анализ.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-142-146

Введение

Обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений связано с обеспечением требуемых параметров шероховатости их рабочих поверхностей. Для решения этой задачи (обеспечения требуемой шероховатости в процессе обработки) необходимо установить взаимосвязь между геометрическими характеристиками поверхности и условиями их обработки.

Анализируя литературные данные [1-4] можно отметить, что наибольшее влияние на характеристики шероховатости поверхности оказывают радиус при вершине инструмента и подача. Рассматривая обработанную поверхность как след движения резца, была предложена формула по определению высоты неровностей профиля H , исходя из чисто геометрических соображений [5]:

$$H = \frac{S^2}{8r},$$

где S - продольная подача резца, мм/об; r - радиус при вершине, мм.

Величина высоты неровностей профиля, определённая по данной формуле, будет несколько отличаться от действительной, так как она не учитывает целый ряд факторов (деформации поверхностного слоя, вибрации и др.), влияющих на образование шероховатости.

При современном представлении о выборе параметров описания профиля шероховатой поверхности [2-4], можно применить следующую систему параметров: R_a , R_q , S_m , S , t_p . В первом приближении достаточно R_a и S_m .

Целью работы является получение зависимости, описывающей влияние продольной подачи и радиуса при вершине инструмента на среднеарифметическое отклонение неровностей профиля R_a вида

$$R_a = f(S, r)$$

для последующего анализа связей неровностей с эксплуатационными показателями S и r .

1. Характеристика использованных материалов, оборудования и инструмента

Характеристика обрабатываемого материала:

- алюминиевый сплав АК8 ГОСТ4784-97;
- предел прочности: 460 МПа;
- твердость по шкале Бринелля: 130 НВ.

Характеристика использованного станочного оборудования:

- токарно-винторезный станок модели 16К20;
- высота центров: 200 мм;
- диапазон частоты вращения шпинделя: 12,5...1600 об/мин;
- диапазон подач суппорта станка: 0,05...0,8 мм/об;
- мощность электродвигателя: 10 кВт;
- техническое состояние: среднее.

Характеристика режущего инструмента:

- резец токарный, проходной;
- поперечное сечение державки $b \times h = 16 \times 25$ мм;
- материал режущей части: сплав ВК8;
- главный передний угол $\gamma = 8^\circ$;
- главный задний угол $\alpha = 8^\circ$;
- главный угол в плане $\phi = 45^\circ$;
- вспомогательный угол в плане $\phi' = 45^\circ$.

Для контроля твердости заготовки использовался твердомер динамический ТЭМП-2У производства НПП «Технотест» (Россия), протестированный с помощью образцовых мер твердости МТБ ГОСТ9031-78. Характеристики портативного твердомера «ТЭМП-2У»:

- диапазоны измерения твердости по шкалам

Роквелла: 22...68 HRC,
Бринелля: 100...450 HB,
Виккерса: 100...950 HV,
Шора: 22...99 HSD;

- время одного измерения: 1,0 с;

- относительная погрешность показаний твердомера: ±5 %.

Шероховатость поверхности контролировалась аттестованным портативным профилометром модели SURFTESTSJ-210 производства «Mitutoyo» (Япония). Основные характеристики портативного профилометра SURFTESTSJ-210:

- цифровой фильтр: фильтр Гусса, 2CR75, PC75;

- длина сечения

$\lambda_c = 0,08\text{ мм}; 0,25\text{ мм}; 0,8\text{ мм}; 2,5\text{ мм},$

$\lambda_s = 2,5\text{ мкм}; 8\text{ мкм};$

- базовая длина: 0,8 мм; 0,25 мм; 0,8 мм; 2,5 мм;

- число базовых длин: 1...10;

- параметры вычисления: $R_a, R_q, R_z, R_p, R_{max}$ и др.

2. Краткая характеристика метода исследования

Один из методов получения информации о закономерностях, присущих процессу обработки, является активный эксперимент [3, 6-8]. В теории эксперимента математическое описание чаще всего представляется в виде полинома путем разложения его в ряд Тейлора. Математической моделью рассматриваемого процесса является функция

$$y = f(x_1, x_2).$$

Форма связи между рассматриваемыми параметрами может быть представлена в виде

$$R_a = C S^m r^n, \quad (1)$$

где R_a – среднее арифметическое отклонение неровностей профиля; C – постоянный коэффициент; S – подача; r – радиус при вершине резца; m, n – показатели степени влияния S и r на величину R_a .

Для замены нелинейной зависимости линейной произведено логарифмирование. После логарифмирования обеих частей

$$\ln R_a = \ln C + m \ln S + n \ln r.$$

Введя соответствующие обозначения, получим уравнение:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (2)$$

где $y = \ln R_a$; x_1, x_2, b_0 – логарифмы соответственно S, r, C ; b_1, b_2 – показатели степени m и n .

3. Эксперимент и обработка его результатов

Задача заключается в экспериментальном получении линейной аппроксимации уравнения (1) с использованием статистического метода планирования эксперимента при минимальном количестве опытов. Уровни факторов и интервалы варьирования после логарифмирования приведены в табл. 1.

Для упрощения расчетов использовано кодирование факторов при помощи уравнений преобразования

$$x_1 = \frac{2(\ln S - \ln S_{\max})}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} + 1;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln r - \ln r_{\max})}{\ln r_{\max} - \ln r_{\min}} + 1, \quad (3)$$

т.е. за единицу подачи принята величина $(\ln 0,46 - \ln 0,19) : 2$, а за единицу радиуса при вершине $(\ln 2 - \ln 0,5) : 2$. Таким образом, подача и радиус при вершине преобразуются путем их деления на принятые единицы.

Для упрощения расчетов использовано кодирование факторов при помощи уравнений преобразования

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	Уровни факторов		Интервал варьирования
	Верхний	Нижний	
$S / \ln S$	0,46 / -0,7766	0,19 / -1,6608	0,125 / -2,0795
$R / \ln r$	2 / +0,6931	0,5 / -0,6932	0,75 / -02883

$$x_1 = \frac{2(\ln S - \ln S_{\max})}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} + 1;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln r - \ln r_{\max})}{\ln r_{\max} - \ln r_{\min}} + 1, \quad (3)$$

т.е. за единицу подачи принята величина $(\ln 0,46 - \ln 0,19) : 2$, а за единицу радиуса при

вершине $(\ln 2 - \ln 0,5) : 2$. Таким образом, подача и радиус при вершине преобразуются путем их деления на принятые единицы.

Результаты опытов и матрица планирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования

Номер опыта	Случайный порядок реализации	x_0	x_1		x_2		$R_a, \text{мкм}$	$\bar{R}_a, \text{мкм}$	$\bar{y} = \ln \bar{R}_a$
		код	код	$S, \text{мм/об}$	код	$r, \text{мм}$	Повторные опыты	Средний результат	
1	2						2,101	2,06	0,7227
	9	+1	+1	0,46	+1	2	2,151		
	4						1,913		
2	6						0,567	0,58	-0,5448
	1	+1	-1	0,19	+1	2	0,586		
	8						0,591		
3	3						10,305	10,32	2,3032
	12	+1	+1	0,46	-1	0,5	10,303		
	5						10,347		
4	7						2,030	2,15	0,7654
	11	+1	-1	0,19	-1	0,5	1,939		
	10						2,076		

* - фиктивная переменная $x_0 = +1$

С учетом выполненных преобразований общий вид функции отклика

$$\bar{y} = a_0 = a_1x_1 + a_2x_2.$$

После определения коэффициентов регрессии получаем

$$\bar{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 = 0,81 + 0,7013x_1 - 0,72x_2.$$

Статистический анализ полученной модели состоял из оценки дисперсии воспроизводимости, проверки значимости коэффициентов уравнения и проверки адекватности модели. Так как во всех точках одинаковое число повторных опытов, то для оценки дисперсии воспроизводимости был использован критерий Кохрена.

Критерий Кохрена G - отношение наибольшей дисперсии, полученной в опытах, к сумме дисперсий всех опытов

$$G = \frac{\max S_i^2}{\sum_i S_i^2},$$

где k - число опытов в эксперименте.

Так как $G_{кр} > G$ то гипотеза об однородности дисперсий принимается.

Проверка значимости коэффициентов модели произведена с помощью t -критерия Стьюдента, представляющего собой отношение абсолютной величины оцениваемого коэффициента a_i к величине его квадратичной ошибки $S_{(ai)}$:

$$t = \frac{|a_i|}{S_{(ai)}},$$

где a_i - значения коэффициентов a_0, a_1, a_2 .

Так как $t_i > t_{кр}$, то коэффициент a_i признается значимым. В нашем случае коэффициенты a_0, a_1, a_2 - значимы.

Математическая модель в виде уравнения связи выходного параметра и переменных, включающая только значимые коэффициенты, принимает вид:

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 = 0,81 + 0,70x_1 - 0,72x_2, \quad (4)$$

Найденное уравнение необходимо проверить на адекватность исследуемому объекту, т.е. установить, насколько хорошо оно предсказывает данные, получаемые в ходе эксперимента.

Пригодность уравнения предсказывать результаты эксперимента в рассматриваемой области с требуемой точностью проверяется путем расчета критерия Фишера (F -критерия):

$$F = \frac{S^2_{(a)}}{S^2_{(y)}},$$

где $S^2_{(a)}$ – дисперсия адекватности; $S^2_{(y)}$ – дисперсия воспроизводимости.

Так как в нашем случае $F_{табл} = 5,3$, а найденное $F = 0,1086$ – уравнение (4) признается адекватным функции отклика.

Уравнение в преобразованных переменных x_i имеет вид

$$\hat{y} = 0,81 + 0,70x_1 - 0,72x_2.$$

Для получения уравнения в натуральных значениях факторов подставляем их значения из формул преобразования (3) и производим потенцирование. После потенцирования получаем

$$R_a = e^{2,68} S^{1,55} r^{-1,04}.$$

Заключение

1. Получена зависимость, описывающая влияние продольной подачи и радиуса при вершине инструмента на среднее арифметическое отклонение неровностей профиля R_a при точении алюминиевого сплава АК8, которую можно использовать для последующего анализа связи неровностей с эксплуатационными показателями.

2. Статистический анализ полученной модели с использованием критериев Кохрена (оценка дисперсии воспроизводимости), Стьюдента (значимость коэффициентов модели) и Фишера (адекватность функции отклика) показал пригодность полученной модели с 95 % вероятностью предсказывать результаты эксперимента.

Список литературы

1. Верещака, А.С. Резание материалов / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высш. шк., 2009. – 553 с.
2. Макаров, А.Д. Оптимизация процесса резания / А.Д.Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
3. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 340 с.
4. Иванов, И.А. Анализ режимов восстановления профиля поверхности катания колесных пар на основе различных методов расчета / И.А. Иванов, А.Н. Воробьев, Д.А. Потахов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. - 2013. - №3 (23). – С. 41-47.
5. Соколовский, А.П. Научные основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. - М–Л.: Машгиз, 1955. – 51 с.
6. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Марков, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Кацев, П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / П.Г. Кацев – М.: Машиностроение, 1974. – 156 с.
8. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука 1965. – 340 с.
9. Иванов, И.А. Обработка металлов резанием / И.А. Иванов, С.В. Урушев, А.Ф. Богданов, А.М. Будюкин, А.А. Эстлинг. – СПб.: ПГУПС, 2003. – 121 с.

Сведение об авторе

Нуманов Алишер Рустамович – магистрант кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», alisher.4999@mail.ru.

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF ALUMINUM ALLOY AK8 SURFACE

Numanov A.R.

St. Petersburg State University of Railway Transport Emperor Alexander I,
St. Petersburg, Russian Federation

A dependence describing the influence of the longitudinal feed and radius at the tool tip on the arithmetic average deviation of the roughness of the profile Ra during the rotation of the AK8 alloy is obtained. Statistical analysis of the obtained model using the Cochran, Student and Fisher criteria showed the suitability of the obtained model with a 95% probability of predicting the results of the experiment.

Keywords: Aluminum alloy, surface roughness, technological support, experiment planning, statistical analysis.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-142-146

References

1. Vereshchaka A.S., Kushner V.S. *Rezanie materialov* [Cutting of materials]. Moscow, Vysshaya shkola, 2009. 553 p. (in Russian)

2. Makarov A.D. *Optimizatsiya protsessov rezaniya* [Optimization of the cutting process]. Moscow, Mashinostroenie, 1976. 278 p. (in Russian)

3. Granovskiy G.I., Granovskiy V.G. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Moscow, Vysshaya shkola, 1985. 340 p. (in Russian)

4. Ivanov I.A., Vorobev A.N., Potakhov D.A. Analysis of regimes for the recovery of the rolling surface profile of wheel pairs on the basis of various calculation methods. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznykh dorog*, 2013, No. 3 (23), pp. 41-47. (in Russian)

5. Sokolovskiy A.P. *Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Scientific foundations of engineering technology]. Moscow-Leningrad, Mashgiz, 1955. 515 p. (in Russian)

6. Adler Yu.P., Markov E.V., Granovskiy Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske op-*

timalnykh usloviy [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1976. 279 p. (in Russian)

7. Katsev P.G. *Statisticheskie metody issledovaniya rezhushchego instrumenta* [Statistical methods for studying the cutting tool]. Moscow, Mashinostroenie, 1974. 156 p. (in Russian)

8. Nalimov V.V., Chernova N.A. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimentov* [Statistical methods for planning experiments]. Moscow, Nauka, 1965. 340 p. (in Russian)

9/ Ivanov I.A., Urushev S.V., Bogdanov A.F., Budyukin A.M., Estling A.A. *Obrabotka metallov rezaniyem* [Processing of metals by cutting]. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2003. 121p. (in Russian)

Author' information

Alisher R. Numanov – master of the chair «Metal technology» at St. Petersburg State University of Railway Transport Emperor Alexander I, alisher.4999@mail.ru.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 539.3

КРУЧЕНИЕ БРУСА КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ ПО ДЛИНЕ И ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ ПОРИСТОСТЬЮ

Шляхов С.М., Гаврилов Д.Ю.

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

Статья посвящена задаче нахождения уровня вторичных касательных напряжений, возникающих в сечениях из-за переменной по длине пористости. Решение такой задачи позволяет учесть вторичные касательные напряжения при определении несущей способности пористого бруса. Распределение пористости по поперечному сечению задается рациональным образом - исходя из ранее решенных задач по подбору пористости при кручении бруса круглого поперечного сечения, по длине бруса – по линейному закону. Целью исследования является определение уровня вторичных касательных напряжений и оценка их значения.

Ключевые слова: пористость, кручение, круг, рациональность, брус, касательные напряжения, модуль сдвига, суперэлемент, вторичные касательные напряжения.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-147-153

Вопросы оптимального проектирования конструкций приобретают в последнее время все большую значимость и актуальность. Имеется ряд направлений оптимизации. Одним из них является управление свойствами внутренней структуры материала. Теоретические исследования по возможности управлять упругими характеристиками при кручении (модулем сдвига G) рассматриваются в работах К.А. Лурье [1]. Пример решения рационального распределения модуля сдвига G по прямоугольному сечению бруса при кручении представлен в работе Рейтмана М.И. и Шапиро Г.С. [2]. Большой вклад в изучение свойств пористых материалов внесли Кашталян Ю.А., Белов С.В., Кингери У.Д., Бутарович Д.О. [3-6]. Пористые материалы обладают рядом специфических свойств: пониженной теплопроводностью, повышенной звукоизоляцией, хорошей ударной вязкостью. Кроме того, в теплоэнергетике пористые материалы являются единственно возможными жаропрочными материалами, выполненными из керамики или пористых металлов, полученных методом порошковой металлургии.

Другим направлением является регулирование свойств материала уровнем пористости. Задачи изгиба брусев пористой структуры разных профилей поперечного сечения подробно рассмотрены в [9-11].

В настоящей работе рассматривается задача оценки уровня вторичных касательных напряжений, возникающих при кручении бруса с переменной по поперечному сечению и длине пористостью. Актуальность

ставящейся задачи обусловлена необходимостью учета вторичных касательных напряжений при оценке несущей способности конструкции.

Рассмотрим сплошной цилиндр радиусом r и длиной l с переменной по длине и поперечному сечению пористостью. Торцы цилиндра свободны от закреплений. На цилиндр действует крутящий момент $M_{кр}$. Положим, что цилиндр имеет среднюю длину, т.е. ставится задача нахождения уровня вторичных касательных напряжений, возникающих в сечениях из-за переменной по длине пористости. Допускаем, что краевыми эффектами можно пренебречь.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние цилиндра. Для решения задачи используем метод суперэлементов. Разбиваем цилиндр по длине l на m коротких цилиндров (суперэлементов), условно называемых «дисками». Длина каждого диска равна шагу разбиения $h_z = 0,1l$ по оси z . Распределение пористости по сечению диска задаем квадратичной параболой, как приближенной аппроксимацией результатов решения [7, 8]. В пределах каждого суперэлемента принимаем уровень пористости равномерным по его длине, средним по суперэлементу (рис. 1) на каждом радиусе. В соответствии с методом конечных элементов для оценки напряженно-деформированного состояния отдельного диска разобьем его поперечное сечение по радиусу на n равных по толщине кольцевых элементов. Известно, что упругие характеристики материала – ка-

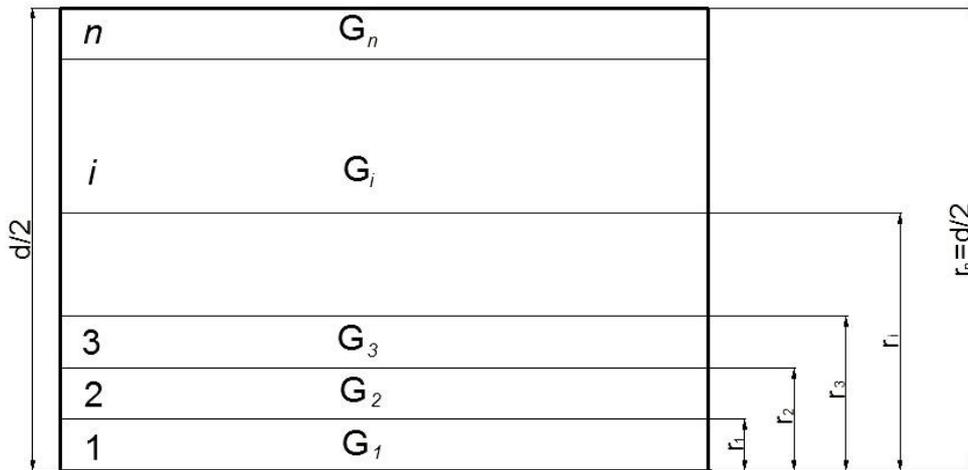


Рис. 1. Схема разбиения поперечного сечения бруса на элементы

сательные напряжения τ и модуль сдвига G являются функциями пористости материала [3, 4]. Соответственно G_1, G_2, \dots, G_n - модули сдвига отдельных кольцевых элементов; r_i, δ - средний радиус кольцевого элемента и его толщина.

В свою очередь, сердцевина бруса считается первым слоем, и, соответственно, G_1 - модуль сдвига сердцевины вала, а r_0 - ее внешний радиус.

Распределяем прикладываемый к валу крутящий момент $M_{кр}$ по слоям:

$$M_{кр} = M_1 + M_2 + \dots + M_n = \sum_{i=1}^n M_i. \quad (1)$$

Полярные моменты инерции сечения для средней части вала и кольцевых элементов диффузионного слоя определяем по формулам

$$I_{p1} = \frac{\pi d_0^2}{32}; \quad I_{pi} = 2\pi r_i^3 \delta.$$

$$M_{кр} = M_1 + M_1 \frac{G_2 I_{p2}}{G_1 I_{p1}} + M_1 \frac{G_3 I_{p3}}{G_1 I_{p1}} + \dots + M_1 \frac{G_k I_{pk}}{G_1 I_{p1}} = M_1 \left(1 + \frac{G_2 I_{p2}}{G_1 I_{p1}} + \frac{G_3 I_{p3}}{G_1 I_{p1}} + \dots + \frac{G_k I_{pk}}{G_1 I_{p1}} \right),$$

откуда

$$M_1 = \frac{M_{кр}}{\left(1 + \frac{G_2 I_{p2}}{G_1 I_{p1}} + \frac{G_3 I_{p3}}{G_1 I_{p1}} + \dots + \frac{G_k I_{pk}}{G_1 I_{p1}} \right)}. \quad (5)$$

Из выражений (3) - (5) получим уравнение для расчета величины крутящего момента в i -м слое суперэлемента

Принимая во внимание гипотезу плоских сечений и нескривляемости радиусов, запишем условие совместности деформаций для слоев:

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \dots = \theta, \quad (2)$$

где $\theta_i = \frac{M_i}{G_i I_{pi}}$. Поэтому условие (2) можно записать как

$$\theta_1 = \theta_2 \Rightarrow \frac{M_1}{G_1 I_{p1}} = \frac{M_2}{G_2 I_{p2}} \Rightarrow M_2 = M_1 \frac{G_2 I_{p2}}{G_1 I_{p1}}; \quad (3)$$

$$\theta_2 = \theta_3 \Rightarrow \frac{M_2}{G_2 I_{p2}} = \frac{M_3}{G_3 I_{p3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_3 = M_2 \frac{G_3 I_{p3}}{G_2 I_{p2}} = M_1 \frac{G_3 I_{p3}}{G_1 I_{p1}}. \quad (4)$$

Учитывая, что крутящий момент представлен выражением (1), получим:

$$M_i = \frac{M_{кр}}{\sum_{k=1}^i \frac{G_k I_{pk}}{G_1 I_{p1}}}.$$

Возникающие в поперечном сечении сердцевины вала максимальные касательные напряжения определяем по формуле

$$\tau_{1\max} = \frac{M_1}{I_{p1}} r_0.$$

Для тонкостенных слоев расчетная формула касательных напряжений в слое имеет вид

$$\tau_{1(ср)} = \frac{M_i}{I_{pi}} r_i = \frac{M_i}{2\pi r_i^2 \delta}.$$

Поскольку в каждом суперэлементе касательные напряжения $\tau_{\varphi z}$ имеют свои, отличные от сопряженных элементов значения (рис.2), то нарушается условие совместности деформаций (угла поворота) на стыкуемых поверхностях сечений. Возникают касательные напряжения $\tau_{\varphi r}$, которые подчиним уравнению равновесия, которое в данном случае имеет вид:

$$\frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial r} + \frac{2\tau_{\varphi r}}{r} = 0$$

или иначе

$$\frac{\partial(r^2 \tau_{\varphi r})}{\partial r} + \frac{\partial(r^2 \tau_{\varphi z})}{\partial z} = 0. \quad (6)$$

Производную по координате z в уравнении (6) заменяем ее разностным аналогом

$$\left. \frac{\partial(r^2 \tau_{\varphi z})}{\partial z} \right|_{r=r_i} = \frac{r_i^2 (\tau_{\varphi z_i}^{(2)} - \tau_{\varphi z_i}^{(1)})}{h_z}.$$

Тогда уравнение (6) примет вид

$$\tau_{\varphi r} = \left(\frac{-1}{r^2} \right) \int_0^r \left[\frac{r_i^2 (\tau_{\varphi z_i}^{(2)} - \tau_{\varphi z_i}^{(1)})}{h_z} \right] dr = \left(\frac{-1}{r^2} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i^2 (\tau_{\varphi z_i}^{(2)} - \tau_{\varphi z_i}^{(1)})}{h_z} \right) \Delta r, \quad (7)$$

где $\Delta r = r_{i+1} - r_i = \delta$.

Выбор нижнего предела интеграла обеспечивает выполнение граничного условия $\tau_{\varphi r}(r) = 0$, т.е. отсутствия касательных напряжений на внутренней поверхности цилиндра. Отсчет радиуса в интеграле ведется с половины шага разбиения $r = 0,5y_i$.

В качестве примера возьмем брус длиной $l=1$ м, радиусом $R=0,25$ м с изменяемой по линейному закону по длине пористостью (рис. 3, а) и изменяющейся по радиусу пористостью (рис. 3, б, в).

Эпюры касательных напряжений представлены на рис. 4.

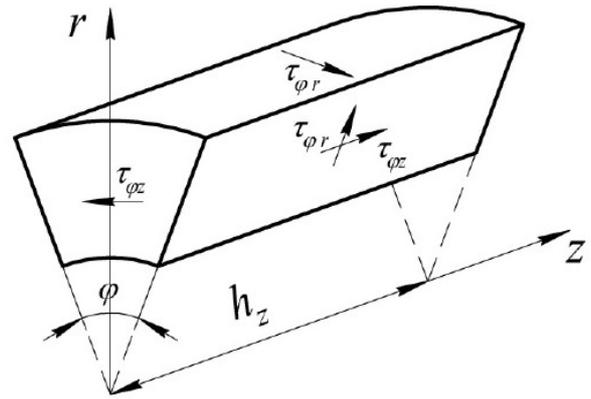


Рис.2. Касательные напряжения, возникающие в суперэлементе

$$\frac{\partial(r^2 \tau_{\varphi r})}{\partial r} = \frac{r_i^2 (\tau_{\varphi z_i}^{(2)} - \tau_{\varphi z_i}^{(1)})}{h_z}.$$

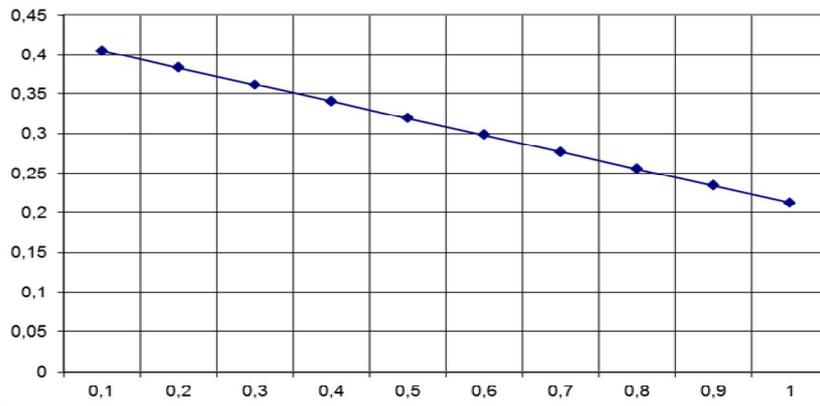
Интегрируя его, получаем:

$$r^2 \tau_{\varphi r} = - \int_0^r \left[\frac{r_i^2 (\tau_{\varphi z_i}^{(2)} - \tau_{\varphi z_i}^{(1)})}{h_z} \right] dr.$$

Вычислим интеграл по квадратурной формуле, представим функцию $\tau_{\varphi r}$ в виде:

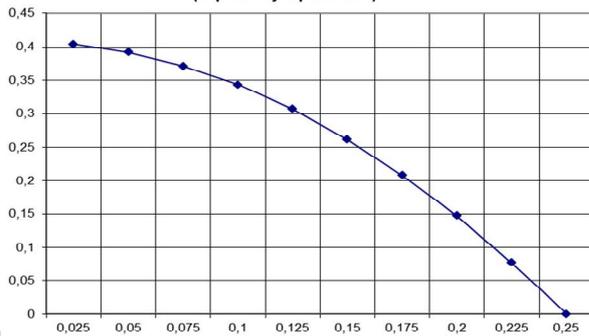
Эпюры вторичных касательных напряжений, построенные на основании уравнения (7) приведены на рис. 5.

Полученные результаты позволяют оценить распределение и уровень касательных напряжений по объему бруса при его кручении. Проведенным расчетом установлено, что абсолютные значения вторичных касательных напряжений незначительны и не оказывают существенного влияния на напряженно-деформированное состояние бруса с переменной по длине и поперечному сечению пористостью при его кручении.



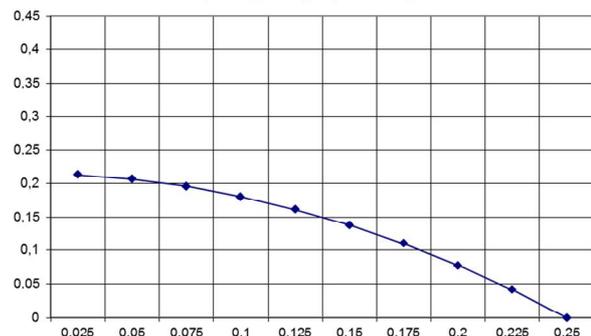
а)

Распределение пористости по поперечному сечению (первый суперэлемент)



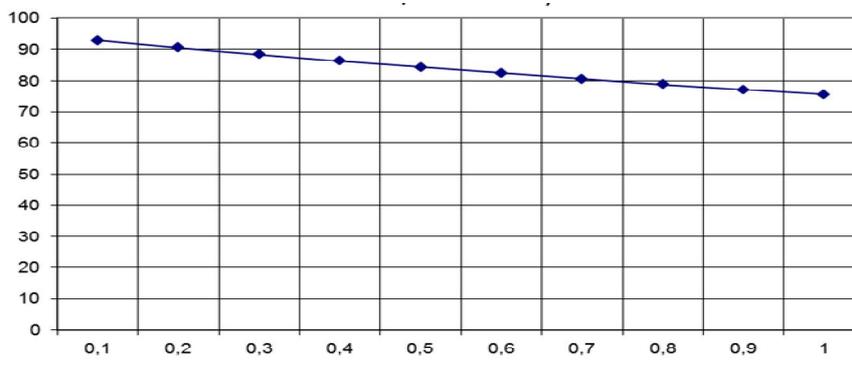
б)

Распределение пористости по поперечному сечению (последний суперэлемент)



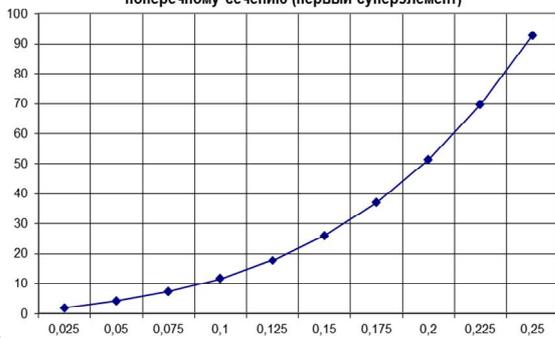
в)

Рис. 3. Распределение пористости в объеме бруса: а - по длине (наружный кольцевой элемент); б - по поперечному сечению (первый суперэлемент) при $z=0$; в - по поперечному сечению (последний суперэлемент) при $z=l$



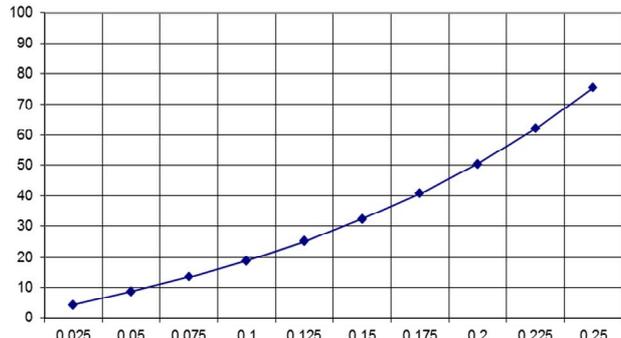
а)

Распределение касательных напряжений при кручении по поперечному сечению (первый суперэлемент)



б)

Распределение касательных напряжений при кручении по поперечному сечению (последний суперэлемент)



в)

Рис. 4. Распределение касательных напряжений в брус: а - по длине (наружный кольцевой элемент); б - по поперечному сечению (первый суперэлемент); в - по поперечному сечению (последний суперэлемент)

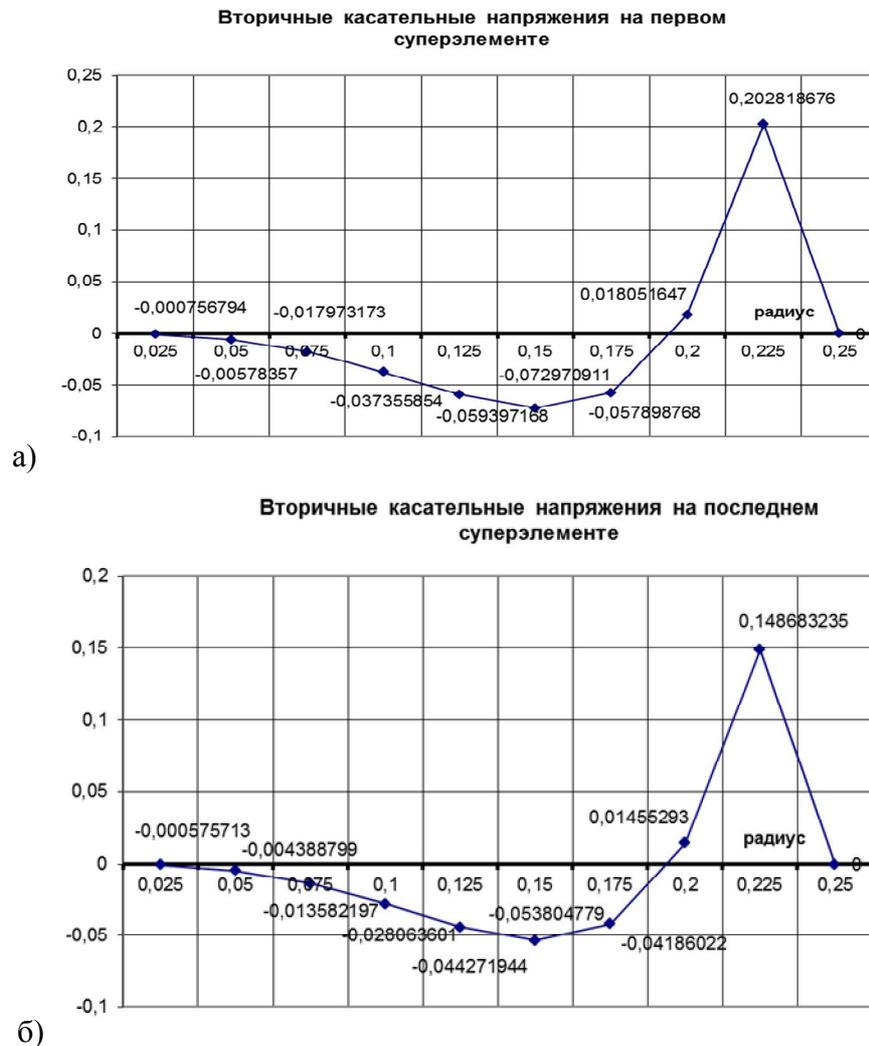


Рис. 5. Вторичные касательные напряжения: а - на первом суперэлементе; б - на последнем суперэлементе

Список литературы

1. Лурье, К.А. Оптимальное управление в задачах математической физики / К.А. Лурье. – М.: Наука, 1975.
2. Рейтман, М.И., Шапиро Г.С. Методы оптимального проектирования деформируемых тел / М.И. Рейтман, Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1976. - 258 с.
3. Кашталян, Ю.А. Характеристики упругих материалов при высоких температурах / Ю.А. Кашталян. – Киев: Наукова думка, 1970. – 112 с.
4. Белов, С.В. Пористые металлы в машиностроении / С.В.Белов. – М.: Машиностроение, 1981. - 247с.
5. Кингери, У.Д. Введение в керамику / У.Д. Кингери. – М.: Стройиздат, 1967. – 503 с.
6. Бугарович, Д.О. Расчетное исследование механических свойств пеноалюминия / Д.О. Бугарович, А.А. Смирнов // Мат. Междунар. научно-технич. конф. «Проектирование колес-

ных машин», посв. 70-летию каф. «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.

7. Шляхов, С.М. Задача кручения бруса круглого поперечного сечения, выполненного из материала пористой структуры / С.М. Шляхов, Д.Ю. Гаврилов // Сб. научн. тр. «Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред». - Саратов: СГТУ, 2013. - С. 54-58.

8. Шляхов, С.М. О рациональном распределении пористости при кручении бруса круглого поперечного сечения / С.М. Шляхов, Д.Ю. Гаврилов // European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. The 1st Int. Scientific Conference Proceedings (February 17, 2014), Vienna, OR «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, pp. 137-142.

9. Гаврилов, Д.Ю. Напряженное состояние бруса прямоугольного сечения, выпол-

ненного из материала пористой структуры при чистом изгибе / Д.Ю. Гаврилов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. - 2017. - № 46. - С. 64-69.

10. Шляхов, С.М. Метод последовательных приближений в задаче рационального распределения пористости при чистом изгибе бруса прямоугольного сечения / С.М. Шляхов, Д.Ю. Гаврилов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - №1. - С. 46-51.

11. Шляхов, С.М. Об оценке напряженного состояния бруса круглого поперечного сечения пористой структуры при чистом из-

гибе / С.М. Шляхов, Д.Ю. Гаврилов // Научное обозрение. - 2017. - № 7.

Об авторах

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

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

TORSION OF THE BAR OF THE ROUND TRANSVERSE SECTION FROM THE VARIABLE ON LENGTH AND THE TRANSVERSE SECTION POROSITY

Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu.

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

The present article is devoted to the task of finding of level of the secondary tangent voltages arising in sections because of a variable on porosity length. The decision of such task will allow to consider secondary tangent voltages in case of determination of bearing capacity of a porous bar. Distribution of porosity on a transverse section is set rationally - proceeding from early the solved tasks on selection of porosity in case of torsion of a bar of a round transverse section, on bar length – under the linear law. A research objective is to determine the level of secondary tangent voltages and to evaluate from value.

Keywords: porosity, torsion, circle, rationality, bar, tangent tension, shift module, superelement, secondary tangent tension.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-147-153

References

1. Lurie K.A. *Optimalnoe upravlenie v zadachakh matematicheskoy fiziki* [Optimal control in problems of mathematical physics]. Moscow, Nauka, 1975. (in Russian)

2. Reytman M.I., Shapiro G.S. *Metody optimalnogo proektirovaniya deformiruemyykh tel* [Methods of optimal design of deformable bodies]. Moscow, Nauka, 1976. 258 p. (in Russian)

3. Kashtalyan Yu.A. *Kharakteristiki uprugikh materialov pri vysokikh temperaturakh*

[The characteristics of elastic materials at high temperatures]. Kiev, Naukova dumka, 1970. 112 p. (in Russian)

4. Belov S.V. *Poristye metally v mashinostroenii* [Porous metals in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie, 1981. 247 p. (in Russian)

5. Kingeri U.D. *Vvedenie v keramiku* [Introduction to ceramics]. Moscow, Sroyizdat, 1967. 503 p. (in Russian)

6. Butarovich D.O., Smirnov A.A. Raschetnoe issledovanie mekhanicheskikh svoystv penoal'yuminiya. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Proektirovanie kolesnykh mashin», posvyashchennoy 70-letiyu kafedry «Kolesnye mashiny» MGTU im. N.E. Baumana*. Moscow, MGTU im. N.Eh. Baumana, 2006. (in Russian)

7. Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu. Zadacha krucheniya brusa kruglogo poperechnogo secheniya, vpolnennogo iz materiala poristoy struktury. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy prochnosti elementov konstruksiy pod deistviem nagruzok i rabochikh sred»*. Saratov, SGTU, 2013, pp. 54-58. (in Russian)

8. Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu. O racionalnom raspredelenii poristosti pri kruchenii brusa kruglogo poperechnogo secheniya. *European Conf. on Innovations in Technical and Natural Sciences. The 1st Int. Scientific Conf. Proc., February 17, 2014*. Vienna, OR «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, pp. 137-142. (in Russian)

9. Gavrilov D.Yu. Napryazhennoe sostoyanie brusa pryamougolnogo secheniya, vpolnennogo iz materiala poristoy struktury pri chis-

tom izgibe. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2017, No. 46, pp. 64-69. (in Russian)

10. Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu. Metod posledovatelnykh priblizheniy v zadache ratsionalnogo raspredeleniya poristosti pri chistom izgibe brusa pryamougolnogo secheniya. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.1, pp. 46-51. (in Russian)

11. Shlyakhov S.M., Gavrilov D.Yu. Ob otsenke napryazhennogo sostoyaniya brusa kruglogo poperechnogo secheniya poristoy struktury pri chistom izgibe. *Nauchnoe obozrenie*, 2017, No. 7. (in Russian)

Authors' information

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

Danila Yu. Gavrilov – graduate student at Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, gavrilovdy@rambler.ru.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 656.073

К ВОПРОСУ О ВМЕСТИМОСТИ СКЛАДОВ ТАРНО-ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ

Илесалиев Д.И.

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Узбекистан

Предложены математические модели, устанавливающие взаимосвязи между отдельными параметрами склада тарно-штучных грузов. Модели использованы при исследовании взаимного влияния параметров друг на друга, также определены вместимости складов тарно-штучных грузов.

Ключевые слова: тарно-штучный груз, стеллаж, поддон, склад, участок хранения, вместимость склада

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-154-162

Введение. В условиях рыночных отношений Узбекистан расширил международные связи, одновременно увеличилась доля железнодорожного транспорта при международных перевозках тарно-штучных грузов [5, 7, 10-12]. Необходимость их своевременной доставки выдвигает требования как к процессу перевозки, так и к складским технологиям [1, 17, 18]. Склады, располагающиеся в пунктах перегрузки грузов с одного вида транспорта на другие, выполняют важные функции по преобразованию грузопотоков с целью дальнейшего наиболее эффективного транспортирования [5, 10]. Эффективность доставки существенно зависит от того, насколько хорошо оснащены и организованы эти склады на транспорте.

При проектировании, реконструкции или оптимизации склада тарно-штучных грузов необходимо выбрать наилучший способ складирования грузов, тип и параметры стеллажного оборудования. При этом должно обеспечиваться наиболее полное заполнение площади склада грузами, а также минимальные затраты при перемещении груза внутри склада [2-4, 6, 8, 13-16]. На сегодняшний день в складской системе узким местом является зона хранения склада [4, 8, 9]. Это явление связано с наибольшей занятостью, низкой производительностью труда, а в некоторых случаях – с применением малоквалифицированной рабочей силы.

Существующие способы по расчёту вместимости склада тарно-штучных грузов не достаточно совершенны. Возникает необходимость в уточнении и дополнении существующих и разработке более точного способа вместимости складов тарно-штучных грузов. В различных источниках литературы говорится о рациональном расположении

каркасных стеллажей, при этом многие рекомендации не обоснованы. В связи с этим в данной работе решаются вопросы:

- о расположении стеллажей по ширине склада;
- об укладке поддона в глубину стеллажа;
- о вместимости склада по высоте;
- о рациональном соотношении ширины и длины.

1. Определение основных параметров зоны хранения склада. Вместимость склада тарно-штучных грузов определяется числом грузовых складских единиц, размещающихся в его зоне хранения. При проектировании зоны хранения необходимо выбрать наиболее рациональный способ складирования тарно-штучных грузов, тип складских единиц, стеллажного и подъёмно-транспортного оборудования. При этом необходимо полное заполнение зоны хранения склада грузовыми единицами и максимальное использование складских объёмов. Вместимость склада тарно-штучных грузов определяется по формуле

$$R = x \cdot y \cdot z, \quad (1)$$

где x – число транспортных пакетов, располагаемое по ширине складского здания; y – число транспортных пакетов по длине складского здания; z – число ярусов по высоте складского здания.

Число транспортных пакетов, располагаемое по ширине складского здания, можно определить по следующей формуле:

$$x = 2 \cdot \varepsilon \left\{ \frac{B - B_0 - B_0}{B_{np} + 2 \cdot (a + w)} \right\}, \quad (2)$$

где 2 – число стеллажей в секции, состоящей из двух стеллажей и прохода между ними; B – ширина крытого склада, мм; B_0 – часть ширины крытого склада, которая не может занята стеллажами, мм; B_{np} – ширина между

стеллажами для подъёмно-транспортного оборудования, мм; B_3 – ширина приёмно-отправочной экспедиции, мм; a – длина транспортного пакета мм; w – технологический зазор между поддоном и конструкции стеллажа, мм.

Число транспортных пакетов по длине стеллажей определяются по формуле

$$y = 3 \cdot \varepsilon \left\{ \frac{L - n_{np} \cdot L_{np}}{l_1} \right\}, \quad (3)$$

где 3 – число поддонов помещающих в стандартную ячейку; L – длина крытого склада, мм; L_{np} – поперечная ширина прохода по крытому складу, мм; l_1 – длина ячейки стеллажа (для поддонов размерами 1200×800 мм длина ячейки равна 2800 мм, для поддонов размерами 1200×1000 мм длина ячейки составляет 3300 мм); n_{np} – число поперечных проходов по длине склада, определяемое зависимостью:

$$n_{np} = \varepsilon \left\{ \frac{L}{50} \right\}.$$

Число ярусов по высоте определяется по формуле

$$z = 3 \cdot \varepsilon \left\{ \frac{H - h - C_{я}}{C_{я}} \right\} + 1, \quad (4)$$

где H – высота крытого склада, мм; коэффициент 1 – дополнительный верхний ярус; h – зазор между верхним грузом в стеллаже и низом ферм перекрытия, равный 500 мм (используется для установки трубопроводов, устройств освещения и т.д.); $\varepsilon\{\dots\}$ – обозначения целой части числа, получающегося в результате выполнения действий в скобках (округление в меньшую сторону целого числа).

Входящая в формулу (4) величина $C_{я}$ – это высота яруса, м, определяемая по формуле:

$$C_{я} = 150 + c + e,$$

где 150 мм – высота поддона; c – высота укладки груза на поддон, мм; e – размер по высоте, равный толщине продольной балки каркасного стеллажа и зазор между грузом и низом этой балки следующего яруса по высоте (принимается $e = 200 \dots 300$ мм).

2. Определение соотношения ширины и длины склада. При проектировании складских зданий используются такие показатели, как шаг колонн, пролет и высота склада. Шаг колонн - это расстояние между

основными поперечными несущими конструкциями (обычно шаг колонн 6 или 12 м). Пролет – расстояние между продольными несущими конструкциями (12, 18 и 24 м). Высота склада – это расстояние между уровнем чистого пола и низом ферм перекрытия. Для того, чтобы крытый склад отвечал требованиям рациональной технологии, он должен иметь определенное соотношение длины и ширины. Наиболее рациональными считаются соотношения 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:5.

Показатели вместимости складов тарно-штучных грузов с учётом использования ширины и длины соотношениями 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:5 и высоты складского здания приведены на рис. 1. Из рис. 1 видно, что соотношения ширины и длине 1:5 обеспечивает наибольшую вместимость склада. Это вполне понятно и не требует дополнительных пояснений.

3. Вопрос об укладке поддона в глубину стеллажа. Поддоны рекомендуется устанавливать длинной стороной в глубину стеллажа для получения наибольшей вместимости склада. Правильность такого решения достоверно может быть подтверждена (или опровергнута) расчетами с помощью приведенных выше математических формул.

Результаты расчетов укладки поддон по рассматриваемым вариантам приведены на рис. 2 (вариант укладки поддонов короткой стороной в глубину склада) и 3 (вариант укладки поддонов длинной стороной в глубину склада).

На графиках рис. 4 видно, что действительно поддон рекомендуется устанавливать длинной стороной в глубину стеллажа для получения наибольшей вместимости.

4. Вопрос о расположении стеллажей по ширине склада. При расчётах вместимости склада тарно-штучных грузов, оборудованного каркасными стеллажами, стеллажи устанавливаются вдоль длинной стороны складского помещения. Однако обоснование такого решения приводится крайне редко (рис. 5 и 6).

На рис. 7 отражен результат исследования выбора рационального расположения каркасных стеллажей. Из рис. 7 видно, что вместимость склада увеличивается при установлении стеллажей вдоль длинной стороны складского помещения.

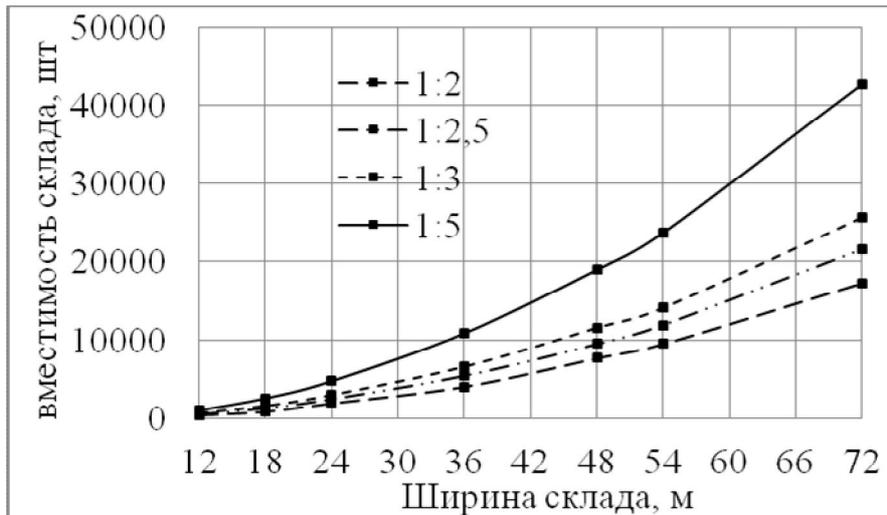


Рис. 1. Зависимость вместимости грузовых единиц от ширины склада при различных соотношениях ширины к длине для высоты склада 7,2 м

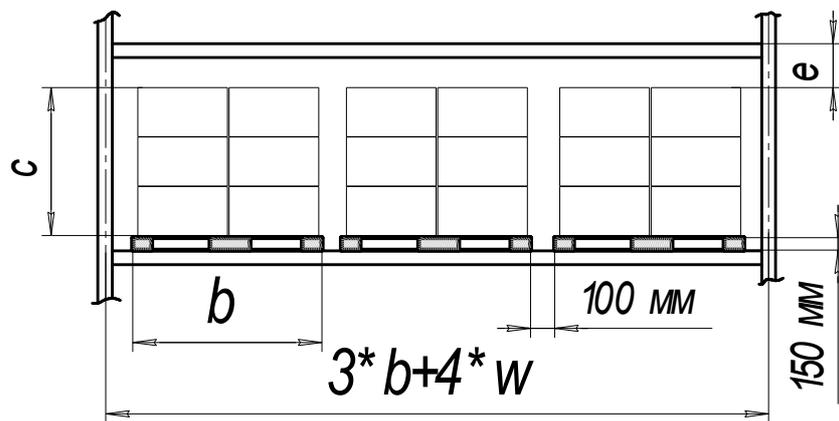


Рис. 2. Укладка поддона короткой стороной b в глубину стеллажа

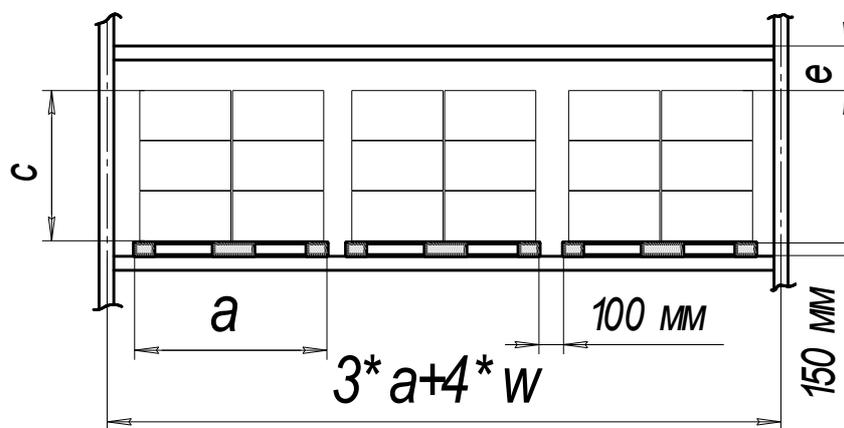


Рис. 3. Укладка поддона длинной стороной a в глубину стеллажа

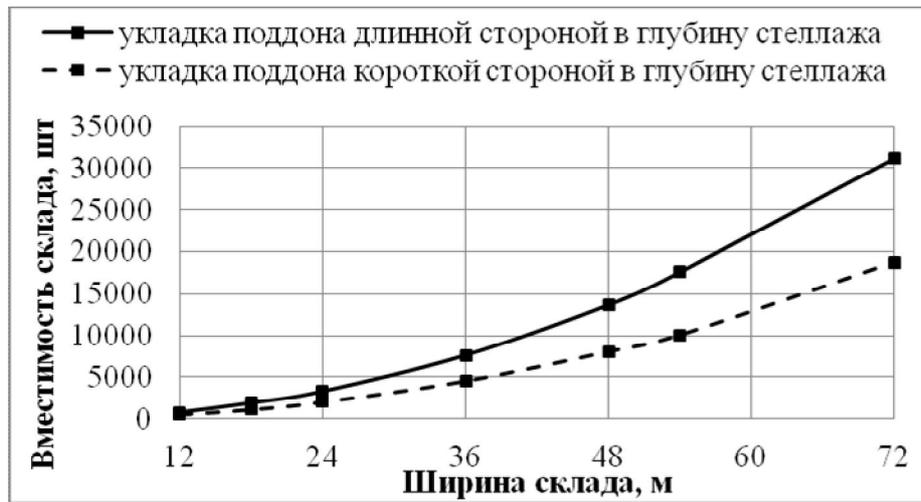


Рис. 4. Зависимость вместимости склада при соотношении длины и ширины 1:3

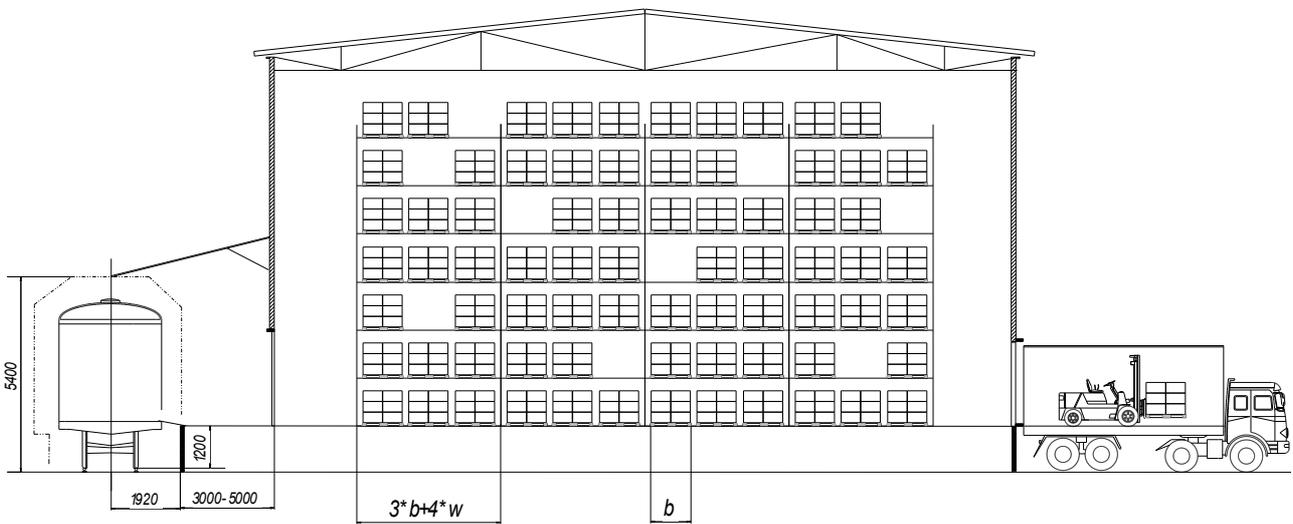


Рис. 5. Вариант установки стеллажей, когда их длинная сторона расположена поперёк ширины склада

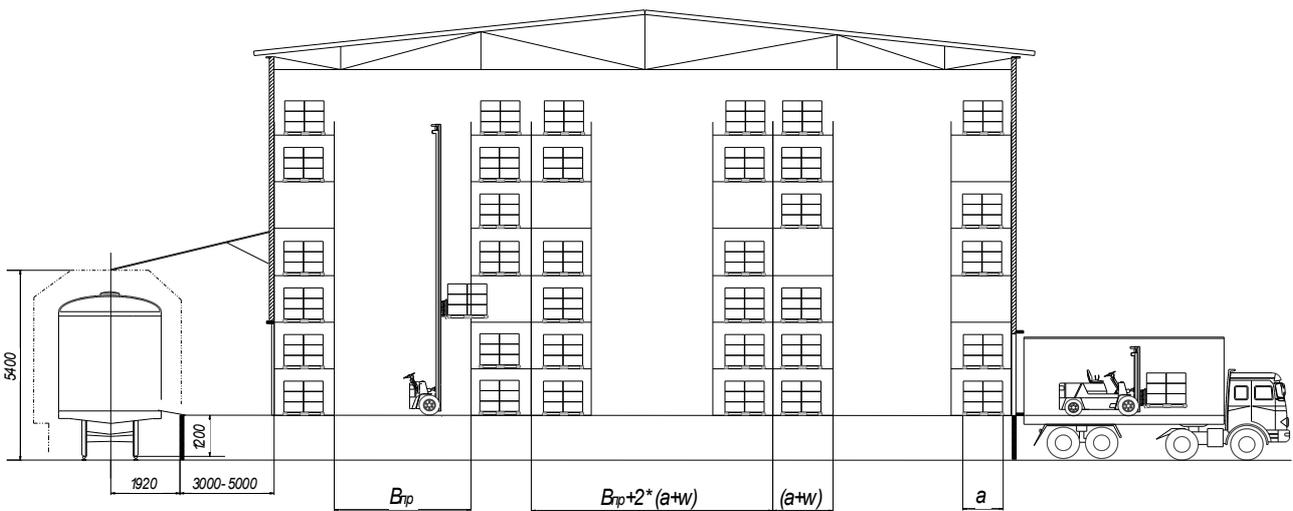


Рис. 6. Вариант установки стеллажей, когда их длинная сторона расположена вдоль ширины склада

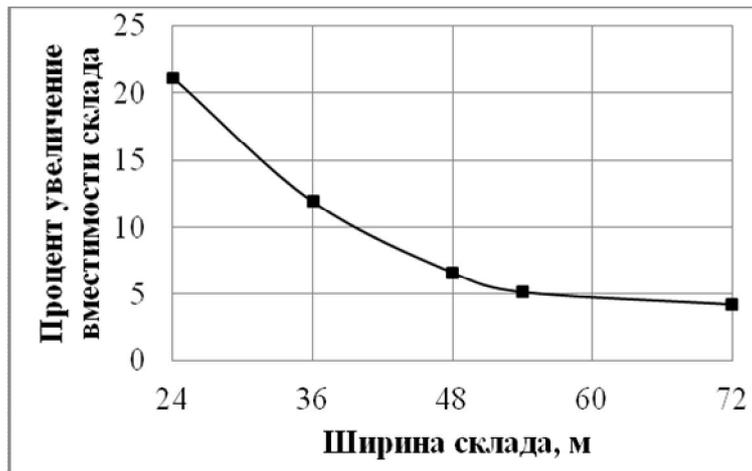


Рис. 7. Процент увеличения вместимости при установлении стеллажей вдоль длинной стороны склада

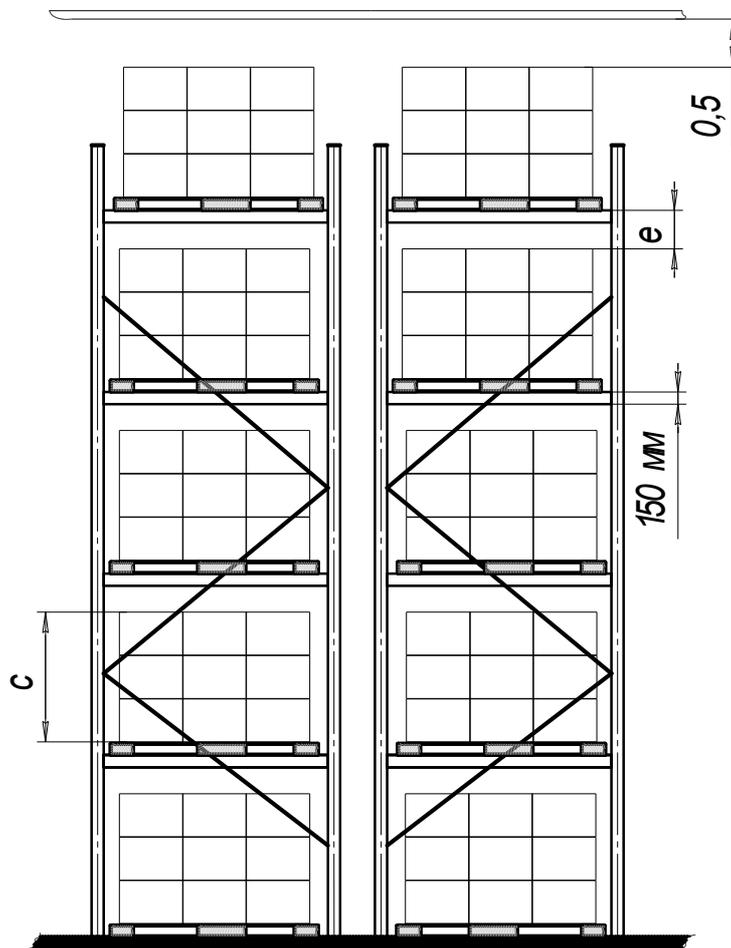


Рис. 8. Число ярусов по высоте

5. Вопрос вместимости склада по высоте. Число ярусов по высоте складского здания определяют в зависимости от полезной высоты хранения и высоты транспортного пакета (рис. 8).

На определение количества ярусов по высоте влияет не только высота груза на поддоне, но и размер по высоте, равный

толщине продольной балки каркасного стеллажа, и зазор между грузом и низом этой балки следующего яруса по высоте (рис. 9).

Также в данной работе на основании расчётов параметров зоны хранения был разработан параметрический ряд склада тарноштучных грузов для различных вариантов (табл. 1).

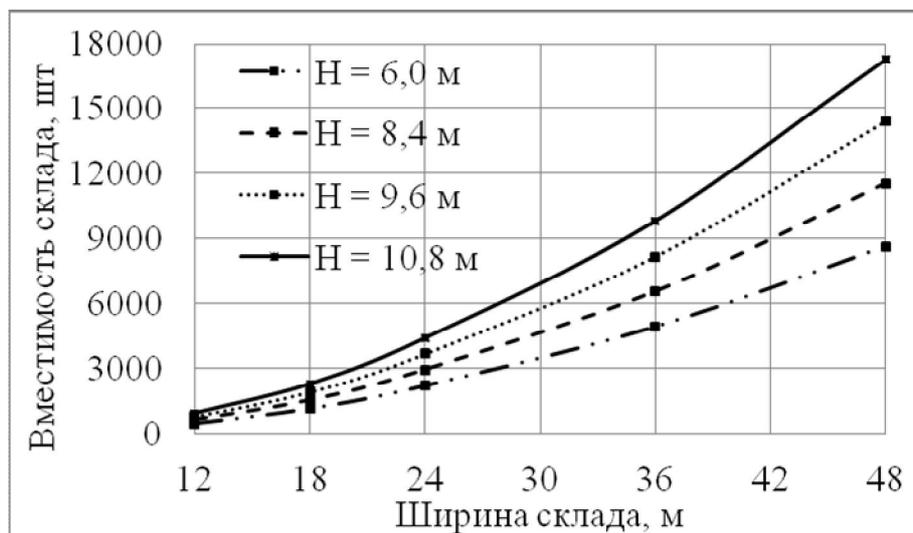


Рис. 9. Зависимость вместимости склада от их ширины и высоты

Таблица 1

Фрагмент параметрического ряда механизированных складов тарно-штучных грузов при высоте склада 7,2 м

Обозначение склада	Размеры склада, м			Количество поддонов, шт.			
	ширина <i>B</i>	длина <i>L</i>	высота <i>H</i>	по ширине <i>x</i>	по длине <i>y</i>	по высоте <i>z</i>	общее <i>R</i>
ЭП-СТК-7,2-1-24	12	24	7,2	4	24	4	384
ЭП-СТК-7,2-1-36	18	36	7,2	6	36	4	864
ЭП-СТК-7,2-1-48	24	48	7,2	10	48	4	1920
ЭП-СТК-7,2-2-72	36	72	7,2	14	72	4	4032
ЭП-СТК-7,2-2-96	48	96	7,2	20	96	4	7680
ЭП-СТК-7,2-3-108	54	108	7,2	22	108	4	9504
ЭП-СТК-7,2-3-144	72	144	7,2	30	144	4	17280
ЭП-СТК-7,2-1-30	12	30	7,2	4	32	4	512
ЭП-СТК-7,2-1-45	18	45	7,2	7	45	4	1260
ЭП-СТК-7,2-1-60	24	60	7,2	10	61	4	2440
ЭП-СТК-7,2-2-90	36	90	7,2	15	90	4	5400
ЭП-СТК-7,2-2-120	48	120	7,2	20	118	4	9440
ЭП-СТК-7,2-3-135	54	135	7,2	22	135	4	11880

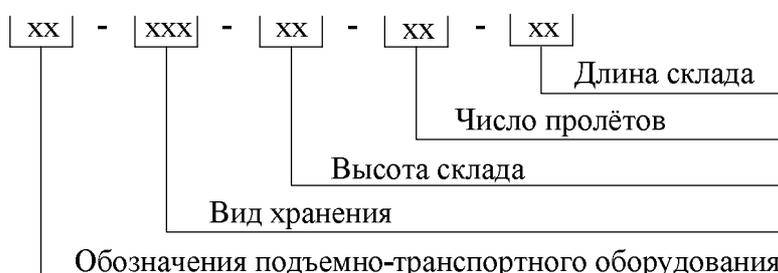


Рис. 10. Обозначения вариантов конструктивного исполнения складов

Выводы. Были проведены исследования условий заполнения склада по длине, ширине и высоте для разных параметров груза. Исследованы многочисленные варианты

стеллажного складирования грузовых единиц на поддонах с размерами 1200×800 мм, в результате чего выведены закономерности изменения вместимости зоны хранения скла-

да. Анализ этих закономерностей приводит к следующим выводам:

- при увеличении высоты склада вместимость возрастает для различных параметров груза;

- при увеличении пролётов коэффициент полезного пользования ширины склада возрастает;

- разработан параметрический ряд позволяющий оценить вместимость склада тарно-штучных грузов.

При проектировании, реконструкции, совершенствовании и оптимизации устройства и функционирования склада тарно-штучных грузов, оборудованных каркасными стеллажами, рекомендуется использовать разработанные в данной работе математические модели.

Список литературы

1. Буриев, Э.Н. Перевозка сыпучих грузов. Способы снижения затрат / Э.Н. Буриев, Д.И. Илесалиев // Логистика - евразийский мост: Материалы 12-й Международ. науч.-практ. конф. (18-20 мая 2017 г., Красноярск) / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Ч.1. – Красноярск, 2017. – С. 298-301.

2. Илесалиев, Д.И. Влияние расположения проходов между стеллажами на показатели работы склада водного транспорта / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – Вып. 6 (34). – С. 52-59.

3. Илесалиев, Д.И. Использование различных схем расположения проходов склада тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Логистика: современные тенденции развития: Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. (9-10 апреля 2015 г.). – СПб.: ФГБОУ ВО ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 174-176.

4. Илесалиев, Д.И. К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе / И.Д. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - № 1. – С. 99-106.

5. Илесалиев, Д.И. Обоснование проекта сети грузовых терминалов тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 4. – С. 110-116.

6. Илесалиев, Д.И. Определение оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: Сб. трудов LXXV Всеросс. научно-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 227-233.

7. Илесалиев, Д.И. Перевозка экспортно-импортных грузов в Республике Узбекистан / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский, О.Б. Маликов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 3 (39). – С. 11-17.

8. Коровяковская, Ю.В. Анализ существующих методов расчета вместимости складов / Ю.В. Коровяковская, О.Б. Маликов // Сб. научн. тр. «Актуальные проблемы управления перевозочным процессом». – Вып.3. – СПб.: ПГУПС, 2004. – С. 162-168.

9. Коровяковская, Ю.В. Вероятностный метод определения емкости склада / Ю.В. Коровяковская, О.Б. Маликов // Материалы межвуз. научно-технич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Шаг в будущее. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2003. – С. 41-42.

10. Курилов, Е.Г. К вопросу о перегрузке грузов на приграничных станциях с разной шириной колеи / Е.Г. Курилов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 4. – С. 110-116.

11. Маликов, О.Б. Логистика пакетных перевозок штучных грузов / О.Б. Маликов, Е.К. Коровяковский, Д.И. Илесалиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 4 (41). – С. 51-57.

12. Маликов, О.Б. Некоторые вопросы экономической эффективности перевозки сыпучих грузов в контейнерах / О.Б. Маликов, Е.Г. Курилов, Д.И. Илесалиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – Т. 13. - № 4(49). – С. 493-501.

13. Маликов, О.Б. О комплексном проектировании складов / О.Б. Маликов // Логистика. – М.: Агентство МаркедГайд. – 2014. – Вып. 2 (87). – С. 20-22.

14. Маликов, О.Б. Электропогрузчики. Расчёт ширины рабочего коридора / О.Б.

Маликов // Логистика. – М.: Агентство МаркедГайд. – 2015. – Вып. 2 (99). – С. 28-31.

15. Пилипчук, С.Ф. О проектировании склада штучных грузов / С.Ф. Пилипчук, А.Е. Радаев // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – Вып. 4. – С. 21-33.

16. Пилипчук, С.Ф. Определение потребности вместимости склада / С.Ф. Пилипчук, А.Е. Радаев // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – Вып. 5. – С. 19-25.

17. Хамедов, О.О. О влиянии параметров транспортной тары на технологию и способ перевозки / О.О. Хамедов, Д.И. Илесалиев // Логистика – евразийский мост: Материалы 12-й Международ. науч.-практ. конф. (18-20 мая

2017 г., Красноярск) / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Ч.2. –Красноярск, 2017. – С 325-351.

18. Эльбеков, Ж.У. Пути снижения расходов на перевозку наливных грузов в контейнерах / Ж.У. Эльбеков, Д.И. Илесалиев // Логистика – евразийский мост: Материалы 12-й Международ. науч.-практ. конф. (18-20 мая 2017 г., Красноярск) / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Ч.2. –Красноярск, 2017. – С 281-285.

Сведения об авторе

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Транспортная логистика и сервис» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, ilesaliev@mail.ru.

ON THE QUESTION OF THE CAPACITY OF WAREHOUSES OF PACKAGED-PIECE CARGOES

Ilesaliev D.I.

Tashkent institute of railway engineering, Tashkent, Uzbekistan

Mathematical models are proposed that establish interrelations between the individual parameters of a warehouse of packaged piece cargo. The models were used in the study of the mutual influence of the parameters on each other, also the capacity of the warehouses of packaged cargo

Keywords: packaged-piece cargo, rack, pallet, warehouse, storage area, storage capacity

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-154-162

References

1. Buriev E.N., Ilesaliev D.I. Transportation of bulk cargo. Ways to reduce costs. *Logistika – evraziyskiy most: Materialy 12 Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (18-20 maya 2017 g., Krasnoyarsk)*, 2017, Vol.1, pp. 298-301. (in Russian)

2. Ilesaliev D.I., Korovyakovskiy E.K. Influence of location aisle on the performance of the storage water transport. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2015, No.6, pp. 52-59. (in Russian)

3. Ilesaliev D.I. Using different layouts warehouse aisles unitized cargo. *Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya: Materialy XIV*

Mezhdunar. nauch.-prak. konf. (9-10 aprelya 2015 g.), 2015, pp. 174-176. (in Russian)

4. Ilesaliev D.I. On the question of the layout of shelving in the warehouse. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.1, pp. 99-106. (in Russian)

5. Ilesaliev D.I. Justification of the project network terminal piece cargoes. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.4, pp. 110-117. (in Russian)

6. Ilesaliev D.I., Korovyakovskij E.K. Determination of optimal parameters of the loading and unloading section using mathematical

methods. *Transport: problemy, idei, perspektivy: Sbornik trudov LXXV Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. SPb.: FGBOU VPO PGUPS, 2015, pp. 227-233. (in Russian)

7. Ilesaliev D.I., Korovyakovskij E.K., Malikov O.B. Transportation of export-import cargoes in the Republic of Uzbekistan. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2014, Vol. 3, No. 39, pp. 11-17. (in Russian)

8. Korovyakovskaya Yu.V., Malikov O.B. Analysis of existing methods for calculating the capacity of warehouses. *Sbornik nauchnykh trudov «Aktualnye problemy upravleniya perevoznym protsessom»*, 2004, Vol. 3, pp. 162-168. (in Russian)

9. Korovyakovskaya Yu.V., Malikov O.B. Probabilistic method for determining the capacity of a warehouse. *Materialy mezhvuzovskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: Shag v budushchee*. SPb.: FGBOU VPO PGUPS, 2003, pp. 41-42. (in Russian)

10. Kurilov E.G. Concerning the issue of cargo transshipment at border stations with different track gauges. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.4, pp. 107-111. (in Russian)

11. Malikov O.B., Korovyakovskij E.K., Ilesaliev D.I. Logistics of package shipments of piece cargo. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2014, Vol. 4, No. 41, pp. 51-57. (in Russian)

12. Malikov O.B., Kurilov E.G., Ilesaliev D.I. Some questions of economic efficiency of transportation of bulk cargo in containers. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey*

soobshcheniya, 2016, Vol. 4, No. 49, pp. 493-501. (in Russian)

13. Malikov O.B. On the integrated design of warehouses. *Logistika*. Moscow, Agentstva MarkedGajd, 2014, Vol. 2, No. 87, pp. 20-22. (in Russian)

14. Malikov O.B. Electric forklifts. Calculation of working corridor width. *Logistika*. Moscow, Agentstva MarkedGajd, 2015, Vol. 2, No. 99, pp. 28-31. (in Russian)

15. Pilipchuk S.F., Radaev A.E. About designing of a warehouse of piece cargoes. *Logistika i upravlenie cepyami postavok*, 2010, Vol. 4, pp. 21-33. (in Russian)

16. Pilipchuk S.F., Radaev A.E. Determination of the required warehouse capacity. *Logistika i upravlenie cepyami postavok*, 2012, Vol. 5, pp. 19-25. (in Russian)

17. Hamedov O.O., Ilesaliev D.I. On the influence of the parameters of the transport packaging on the technology and mode of transportation. *Logistika – evraziyskiy most: Materialy 12 Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (18-20 maya 2017 g., Krasnoyarsk). Chapter 2*. Krasnoyarsk, 2017, pp. 325-351. (in Russian)

18. Ehlbekov Zh.U., Ilesaliev D.I. Ways to reduce the cost of liquid cargo in containers. *Logistika – evraziyskiy most: Materialy 12 Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (18-20 maya 2017 g., Krasnoyarsk). Chapter 2*. Krasnoyarsk, 2017, pp. 281-285. (in Russian)

Author' information

Daurenbek I. Ilesaliev – Ph.D. (Eng), Assistant Lecturer of Department “Transport logistics and services” at Tashkent institute of railway engineering (Uzbekistan), ilesaliev@mail.ru.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 625.54, 625.57

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАДЗЕМНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ ПОДВЕСНЫХ ПАССАЖИРСКИХ КАНАТНЫХ ДОРОГ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА БРЯНСКА

Лагерев А.В., Лагерев И.А.

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

Применительно к современной ситуации в сфере общественного транспорта в городе Брянске рассмотрены основные задачи по внедрению инновационной технологии надземных пассажирских перевозок на основе подвесных пассажирских канатных дорог («Канатного метро»). Показаны преимущества канатного метро на основе мехатронной технологии транспортирования по сравнению с традиционными подвесными канатными дорогами. Выполнен технико-экономический анализ целесообразности строительства канатного метро в условиях высоко урбанизированной городской среды крупных городов, мегаполисов и городских агломераций. Приведены статистические данные о развитии парка автотранспортных средств в г. Брянске в период 2004-2016 годов и на основе анализа этих данных показана целесообразность развития надземного пассажирского транспорта как наиболее скоростного и экологически безопасного вида транспорта по сравнению с автомобильным и электрическим транспортом. Рассмотрены возможные источники финансирования проектных и строительно-монтажных работ и показана коммерческая привлекательность проекта для потенциальных инвесторов в рамках частно-государственного партнерства. Применительно к сложившейся городской застройке и основным транспортным потокам города Брянска сформулированы предложения по расположению перспективных транспортных линий канатного метро, очередности их прокладки, формированию маршрутов движения подвижного состава. Выполнена оценка трудовых и финансовых затрат на реализацию предлагаемого проекта модернизации системы общественного транспорта города Брянска на основе подвесных пассажирских канатных дорог. Предложенный вариант имеет следующие характеристики: число транспортных линий - 6, суммарная протяженность - 54,8 км, общее число посадочных пассажирских станций - 26, узловых пассажирских станций - 6, общее число промежуточных опор - 100...110 штук с пролетом между опорами - 400...600 м. Стоимость строительства транспортных линий и приобретение необходимого пассажирского и технологического оборудования составит по приближенным оценкам 10,6 млрд. руб., стоимость зданий пассажирских станций - 1,9 млрд. руб.

Ключевые слова: городской общественный транспорт, пассажирские перевозки, подвесная пассажирская канатная дорога, канатное метро, транспортная линия, маршрут, анализ технико-экономический, источники финансирования.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-163-177

Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [1] определяет активную позицию государства по созданию условий для социально-экономического развития, прежде всего в целях повышения качества транспортных услуг, снижения совокупных издержек общества, зависящих от транспорта, повышения конкурентоспособности отечественной транспортной системы, усиления инновационной, социальной и экологической направленности развития транспортной отрасли.

Отдельным направлением в стратегии обозначено развитие и реформирование городского пассажирского транспорта.

Городской пассажирский транспорт общего пользования является важнейшим элементом транспортной системы, который обеспечивает ежедневную транспортную подвижность двух третей населения России

[1]. В настоящее время внутригородские перевозки осуществляются различными видами наземного транспорта – трамваем, троллейбусом, автобусом, метрополитеном, маршрутными и легковыми таксомоторами, а также электропоездами. При достаточно высокой потенциально возможной скорости движения этих средств, которая может быть обеспечена применяемыми двигателями, средняя скорость перемещения пассажиров, тем не менее, оказывается значительно ниже вследствие характерных для урбанизированной среды недостатков формирования транспортного потока – наличия светофоров, перекрестков, «пробок», случаев дорожно-транспортных происшествий, ремонта дорожного полотна, прокладки подземных коммуникаций и др. [2-4]. Эти обстоятельства не только замедляют перемещение пассажиров, но и делают практически невозмож-

ным планирование ими времени нахождения в пути.

Сказанное определяет актуальность научных и прикладных исследований перспектив и условий внедрения современной инновационной технологии надземных пассажирских перевозок на основе подвесных пассажирских канатных дорог. Это также обусловлено тем обстоятельством, что пассажирский канатный транспорт в последнее время начали активно использовать как общественный транспорт для урбанизированной среды.

Заметное распространение в качестве городского канатный транспорт уже получил в Европе, Азии и Латинской Америке. Для таких крупных городов, как Лондон, Милан, Барселона, Каир, Медельин, Каракас подвесной пассажирский канатный транспорт используется для разгрузки общественного пассажирского транспорта в сильно застроенных деловых частях городов [5-9]. Имеется также опыт использования канатного транспорта и в российских городах – Оренбурге и Нижнем Новгороде [10, 11].

Для решения имеющихся транспортных проблем целесообразно ориентироваться на наиболее молодой, но обладающий неоспоримыми перспективами для модернизации общегородских систем общественного транспорта, вид пассажирского канатного транспорта – канатное метро. Принципиальная структура канатного метро определена в работах [12-14]. Оно представляет собой автоматизированную управляемую многоканатную систему с мехатронными модулями движения, установленными на промежуточных линейных опорах по трассе. Управление мехатронными модулями движения осуществляется системой управления, использующей RFID-метки (транспондеры), интегрированные в структуру стальных канатов, образующих путевую структуру. Количественные технико-экономические характеристики канатного метро в сравнении с аналогичными характеристиками других видов городского общественного транспорта приведены в табл. 1 [15].

Таблица 1

Сравнительные технико-экономические характеристики городского общественного транспорта [15]

Характеристика	Метрополитен	Моно-рельс	Скоростной трамвай	Трамвай	Троллейбус	Автобус	Канатное метро
Стоимость строительства 1 км пути, млн. руб.	7500	1800	2100	800	600	500	300
Стоимость 1 пассажиро-километра, руб.	5,3	3,9	2,8	3,5	2,9	3,8	2,0
Приведенная стоимость организации движения при максимальном пассажиропотоке, тыс. руб./пасс.	28,9	100,0	2,68	3,12	2,0	1,2	1,8
Приведенная стоимость подвижного состава, тыс. руб./пасс./год	2,0	20,0	3,2	3,2	3,2	4,8	0,4
Максимальный пассажиропоток, тыс. пасс./ч	30	6	30	18	7	7	3
Максимальная скорость движения, км/ч	90	45	60	60	60	60	40
Средняя скорость движения, км/ч	40	15	30	24	20	20	34
Площадь, занимаемая 1 пассажиром на улице, м ²	0	0	4,0	3,1	2,4	3,1	0
Коэффициент полезного использования энергии	0,2	0,15	0,3	0,19	0,17	0,14	0,42
Удельный расход энергии, Вт·ч/т·ч	50	100	60	70	90	120	25
Удельный расход энергоресурсов, л/100 пассажиро-километров	1,3...1,7	1,5...2,5	1,4...1,8	1,9...2,1	1,9...2,5	2,1...2,3	0,3...0,5

Канатное метро, формирующееся как объединение двух технологий – транспортной технологии на основе подвесных пассажирских канатных дорог и мехатронной технологии на основе интеллектуального управления механической транспортной системой и приводным электроприводом, в силу синергетического эффекта нельзя рассматривать как модернизированную разновидность традиционной канатной дороги. Следует говорить о качественно новом, инновационном

для начала XXI века виде городского общественного пассажирского транспорта, принципиально ориентированного на применение в условиях высоко урбанизированной и ландшафтно неоднородной среды городских агломераций, мегаполисов и крупных городов.

Хотя канатное метро внешне похоже на традиционную подвесную канатную пассажирскую дорогу, однако в его основе лежат либо новые, либо принципиально другие технические решения (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика канатного метро и пассажирской подвесной канатной дороги

Традиционная пассажирская канатная дорога	Канатное метро
<p><i>Недостаток:</i> использование морально устаревшего оборудования.</p>	<p><i>Достоинство:</i> использование новейших мехатронных технологий для создания управляемой многоканатной транспортной системы в условиях высоко урбанизированной среды.</p>
<p><i>Недостаток:</i> ограниченная длина трассы транспортирования.</p> <p><i>Причина:</i> наличие одного сосредоточенного привода движения тягового каната.</p> <p><i>Негативные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) с увеличением длины канатной дороги увеличивается мощность ее привода, а также габариты оборудования и опорных металлоконструкций и, как следствие, стоимостных показателей проекта; 2) для канатных дорог большой протяженности необходимы канаты большой агрегатной прочности, что ведет к возрастанию массы и стоимости каната, привода и металлоконструкций; 3) поэтому на длинных трассах устанавливаются друг за другом несколько канатных дорог; 4) это энергозатратно, дорогостояще и трудоемко при строительстве, особенно в условиях городской среды. 	<p><i>Достоинство:</i> неограниченная длина трассы, возможность «достраивания» линии метро при расширении городской застройки.</p> <p><i>Причина:</i> мехатронные модули движения реализуют идею линейно распределенного по трассе привода движения пассажирских кабин.</p> <p><i>Положительные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) малая мощность одного мехатронного модуля, так как он обеспечивает движение тягового каната на ограниченном участке трассы; 2) более низкая суммарная мощность и энергопотребление мехатронных модулей по сравнению с традиционных одиночным приводом на трассах равной длины (до 30 %); 3) малые массогабаритные характеристики оборудования и опорных металлоконструкций; 4) возможность использования тяговых и несущих канатов меньшей агрегатной прочности и, соответственно, меньшего диаметра (в 3-5 раз), собственного веса (до 7 раз) и стоимости; 5) возможность увеличения расстояния между соседними опорными металлоконструкциями вдоль трассы до 3000 м; 6) улучшение динамических характеристик за счет снижения массы подвижных элементов.
<p><i>Недостаток:</i> преимущественно прямолинейная трасса движения пассажирских кабин.</p> <p><i>Причина:</i> возвратно-поступательное движение тягового каната между двумя конечными пунктами трассы.</p> <p><i>Негативные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) отсутствие возможности перехода с одной линии канатной дороги на другую без пересадки; 2) невозможность формирования произвольного или кольцевого транспортного маршрута. 	<p><i>Достоинство:</i> возможность создания любых маршрутов в пределах всей системы канатных линий, включая кольцевые маршруты (т.е. логистические возможности канатного метро практически становятся равными традиционным видам пассажирского транспорта).</p> <p><i>Причина:</i> разработка устройства переориентации направления движения пассажирских кабин (аналог трамвайных или железнодорожных стрелочных переводов).</p> <p><i>Положительные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) возможность перевода пассажирских кабин на другую линию канатного метро на узловых станциях без пересадки пассажиров; 2) возможность создания пунктов отстоя пассажирских кабин в течение времени пониженного пассажиропотока на линии; 3) возможность оперативной переброски пассажирских кабин на линии повышенного пассажиропотока, в час «пик» и др.

Окончание табл. 1

Традиционная пассажирская канатная дорога	Канатное метро
<p><i>Недостаток:</i> полная остановка движения всех пассажирских кабин на линии при отказе привода движения тягового каната.</p> <p><i>Причина:</i> наличие одного сосредоточенного привода движения тягового каната.</p> <p><i>Негативные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) необходимость проведения в срочном порядке единовременных аварийно-спасательных и ремонтных работ по длине трассы; 2) достаточная длительность аварийно-спасательных работ, срыв планов пассажиров, опоздание и т.п.; 3) достаточно тяжелая психологическая ситуация для пассажиров; 4) трудности в организации системы технического обслуживания и ремонта канатной дороги, т.к. проведение этих работ требует остановки движения кабин. 	<p><i>Достоинство:</i> практически нулевая вероятность остановки пассажирских кабин при отказе привода движения тягового каната.</p> <p><i>Причина:</i> наличие линейно распределенного по трассе привода движения кабин на основе множества мехатронных модулей движения.</p> <p><i>Положительные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) отсутствие необходимости в срочном ремонте отказавшего мехатронного модуля движения и проведения аварийно-спасательных работ; 2) возможность организации качественной системы технического обслуживания и ремонта мехатронных модулей движения, т.к. ее проведение возможно во время работы канатного метро без его остановки; 3) отсутствие психологических последствий и неудобств для пассажиров при отказе мехатронного модуля движения.
<p><i>Недостаток:</i> невозможность остановки кабины на станции для посадки и выгрузки пассажиров.</p> <p><i>Причина:</i> неразъемное присоединение пассажирской кабины к постоянно движущемуся тяговому канату.</p> <p><i>Негативные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) небезопасно при посадке и высадке пассажиров на ходу; 2) невозможно организовать посадку инвалидов и лиц с ограниченными возможностями, детей, пассажиров с детскими колясками и крупногабаритной кладью и др.; 3) при посадке нескольких человек необходимо движение «вдогонку» за кабиной; 4) невозможно использование кабин рентабельной вместимости (по 30-40 человек). 	<p><i>Достоинство:</i> возможность остановки кабины на станции для посадки и выгрузки пассажиров.</p> <p><i>Причина:</i> наличие автоматизированной системы управления движением кабин, отслеживающей их расположение и автоматически выполняющей присоединение-отсоединение кабины от постоянно движущегося каната.</p> <p><i>Положительные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) полная безопасность посадки и высадки пассажиров в остановившуюся кабину; 2) безопасная посадка инвалидов и лиц с ограниченными физическими возможностями, детей, пассажиров с детскими колясками и крупногабаритной кладью и др.; 3) возможно использование пассажирских кабин рентабельной вместимости (по 30-40 человек).
<p><i>Недостаток:</i> отсутствие автоматизированной системы управления движением кабин.</p> <p><i>Причина:</i> «жесткая» схема работы канатной дороги, не предполагающая возможность существенного регулирования параметров движения.</p> <p><i>Негативные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) невозможность обеспечения требуемого уровня комфортности и безопасности перемещения пассажиров; 2) невозможность управления параметрами движения пассажирских кабин, включая время их остановки, скорость и др. 	<p><i>Достоинство:</i> наличие автоматизированной системы управления движением кабин.</p> <p><i>Причина:</i> использование информационных технологий на основе RFID-меток (транспондеров), интегрированных в тяговый канат и образующих цельную путевую структуру.</p> <p><i>Положительные последствия:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) повышенная безопасность перемещения; 2) возможность слежения за движением и управления движением каждой пассажирской кабины, включая ее местоположение, скорость, необходимость остановки; 3) выявление случаев нарушения общественного порядка в кабинах, видеообнаружение и задержание нарушителей органами полиции.

В настоящее время вопросы, связанные с проектированием и строительством канатного метро, решены в той мере, в какой это необходимо для начала его практической реализации. Имеется ряд предпроектных решений для Москвы, Ростова-на-Дону, Новочеркасска, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Ставрополя, Севастополя, Сочи, Красноярска, Сколково, морского перехода через Керченский пролив и др. [2-4, 15-19].

Сравнение канатного метро и традиционных видов городского транспорта по ряду основных технико-экономических показателей позволяет сформулировать следующие преимущества канатного метро:

- *социальные:*

- стоимость проезда находится на уровне традиционных видов городского общественного транспорта;

- скорость (до 50...60 км/ч) и четкая прогнозируемость времени поездки в связи с отсутствием неопределенных по времени простоев в транспортных или дорожно-ремонтных пробках, на светофорах и т.п.;

- отсутствие потерь времени на вынужденные простои и ожидание в пробках;

- комфорт и безопасность перемещения, так как подвижной состав имеет плавный ход и отсутствует вероятность столкновения с другим автотранспортным средством;

- удобство посадки и высадки, в том числе, для людей с ограниченными возможностями;

- возможность перевозки ручной клади и крупногабаритных грузов;

- *технические:*

- движение над землей без пересечения с трассами других видов городского общественного, грузового и специального транспорта;

- отсутствие дорожно-транспортных происшествий;

- создание беспересадочных маршрутов любой конфигурации;

- относительные энергозатраты на перемещение (до 40 км/час) в 5...10 раз ниже, чем у современного автомобиля [15];

- практически нечувствительно к рельефу местности, наземным и подземным объектам и коммуникациям;

- не нарушается сложившаяся в городе дорожно-уличная сеть и инженерная инфраструктура;

- хорошо вписывается в архитектурный облик города;

- не требуется строительство мостов, эстакад, путепроводов, насыпей и тоннелей;

- не требуется проведение объемных земляных работ, нарушающих ландшафт и требующих последующую рекультивацию;

- устойчивость к воздействию неблагоприятных климатических факторов и стихийных бедствий (землетрясений, наводнений, оползней, ураганного ветра, низких или высоких температур окружающей среды и др.);

- использование электрической тяги, не оказывающей негативного влияния на окружающую среду, низкий уровень шума и вибраций, отсутствие вредных выбросов;

- минимальная потребность в строительных материалах и конструкциях, срав-

нительно невысокий расход конструкционных сталей, цветных металлов, полуфабрикатов и строительных материалов;

- *экономические:*

- сравнительно невысокая стоимость проектирования и строительства (до 30 млн. руб./ 1 км пути);

- стоимость строительства трассы с инфраструктурой в 2...5 раз дешевле современных железных и автомобильных дорог [15];

- наименьшие затраты на организацию движения и закупку подвижного состава;

- наименьший удельный расход и наибольший коэффициент использования энергии на перевозку 1 пассажира;

- экономия затрат на перемещение на основе внедрения энергоэффективных технологий и независимости от нефтепродуктов;

- минимальное землеотведение (в среднем 0,1 га земли на 1 км трассы [15]);

- не требуется выкуп или отчуждение дорогостоящих земельных участков, снос имеющихся зданий и сооружений под прокладку наземной трассы;

- значительная часть площадей посадочных станций может быть передана в аренду и использована в коммерческих или иных целях.

Анализ условий наиболее целесообразного использования канатного метро в качестве инновационной транспортной системы для регулярных пассажирских перевозок, проведенный в ряде работ [2-4, 16, 17], показал, что канатное метро наиболее эффективно функционирует в тех случаях, когда другие виды городского транспорта малоэффективны, а именно:

- при наличии плотной городской застройки с наличием относительно узких улиц (2...4 полосы для движения транспорта);

- в условиях пространственной разбросанности городских районов при отсутствии или недостаточности альтернативных магистралей между ними;

- в случае трудности или невозможности прокладки новых транспортных магистралей в черте городской застройки или между удаленными от центральной части города отдельными городскими районами или городами-спутниками в черте городской агломерации;

- при наличии в пределах городской черты широких рек или речных пойм;

- при овражистом или холмистом рельефе местности;
- для эффективного решения проблемы обеспечения охраны окружающей среды от вредного воздействия транспортной инфраструктуры на условия жизнедеятельности человека и окружающую среду.

В условиях плотной городской застройки г. Брянска внутригородские перевозки на основе традиционных видов наземного транспорта практически исчерпали свои возможности по развитию пассажиропотока. Согласно данным [16], рост объемов автомобильных перевозок сопровождается увеличением количества автомобилей на дорогах. В 2004 году в Брянске было зарегистрировано 53 049 единиц автотранспортных средств, в 2007 году – 66 819 единиц, в 2008 – 77 429 единиц, в 2009 году – 83 609 единиц. По отношению к 2009 году в 2016 году ожидается увеличение численности легковых автомобилей на 34 %, грузовых автомобилей – на 38 %, автобусов – на 20 %. При этом общее число пассажиров, перевезенное автомобильным и троллейбусным общественным транспортом, сократится с 78 млн. человек до 65,5 млн. человек, что, очевидно, будет связано с развитием личного автомобильного транспорта жителей города, приводящего к дополнительному росту нагрузки на транспортную инфраструктуру города.

Согласно действующей в настоящее время «Стратегии социально-экономического развития города Брянска на период до 2025 года» [21] самой острой проблемой городского хозяйства, по мнению жителей города, является состояние городских дорог. Это же подтверждается данными SWOT-анализа социально-экономического положения г. Брянска: в числе слабых сторон отмечена перегруженность отдельных узлов уличной дорожной сети города. Поэтому в числе основных стратегических возможностей по активному развитию г. Брянска «Стратегия...» рассматривает совершенствование транспортной инфраструктуры и ставит задачу развития скоростного общественного транспорта.

Брянск является идеальным городом для строительства канатного метро, так как применительно к его застройке и рельефу хорошо подходят те перечисленные выше усло-

вия, которые необходимы для наиболее эффективного функционирования канатного метро. В то же время, эти же особенности застройки и рельефа города являются барьером развития его транспортной инфраструктуры на основе традиционных видов автомобильного и электрического транспорта. Сложившаяся транспортная инфраструктура Брянска осложняется тем, что территория города имеет значительную площадь, а четыре района отделены друг от друга реками Десной, Болвой и Снежетью с широкими заливными поймами, разветвленной сетью железнодорожных путей, через которые проложены мосты и путепроводы. Вследствие несовершенства планировочной структуры магистральная сеть центра Брянска сильно перегружена транзитными транспортными потоками. В часы «пик» скорость передвижения автомашин не превышает 20 км в час.

С учетом сложившихся в Брянске пассажиропотоков была сделана предварительная оценка количества и возможного расположения линий канатного метро (рис. 1). Полный вариант транспортной системы «Канатное метро г. Брянска» включает 6 транспортных линий. Основные количественные характеристики этих линий приведены в табл. 3.

Линия 1 «Чайковичи – Орловская» является самой протяженной и основной транзитной линией транспортной системы, обеспечивающей беспересадочный проезд через весь город. Она связывает три городских района – Бежицкий, Советский и Фокинский. Линия имеет привязку к главным пассажирским транспортным магистралям этих районов: в Бежицком районе она проходит вдоль улиц Литейная, Ульянова, III Интернационала и Бежицкой, в Советском районе – вдоль улиц Дуки, Красноармейской и проспекта Ленина, в Фокинском районе – вдоль Московского проспекта. Линия имеет два протяженных перехода через реку Десна и речную пойму между Бежицким и Советским районами и Советским и Фокинским районами длиной ~0,8 км и ~1,7 км. Построение всей городской транспортной системы канатного метро целесообразно начинать с построения именно этой линии. Возможный внешний вид характерных участков линии 1 показан на рис. 2.

Таблица 3

Основные характеристики линий канатного метро в г. Брянске

Линия	Длина линии, км	Количество станций на линии, шт.		Число опор, шт.	Ориентировочная стоимость строительства, млн. руб.		
		линейных	узловых		линии	станций	общая
Линия 1 «Чайковичи – Орловская»	27,4	6	6	50	5480	780	6260
Линия 2 «ул. Дуки – Новостройка»	7,4	4	3	14	1480	320	1800
Линия 3 «Площадь Партизан – Городище»	7,0	5	3	13	1400	250	1650
Линия 4 «Улица Красноармейская – Телецентр»	3,5	4	2	7	700	220	920
Линия 5 «Площадь Ленина – Городище»	6,5	4	2	12	1300	120	1420
Линия 6 «Вокзал Брянск-1 – Партизанская»	4,0	3	2	8	800	190	990
Итого	54,8	26	6	104	10580	1880	12460

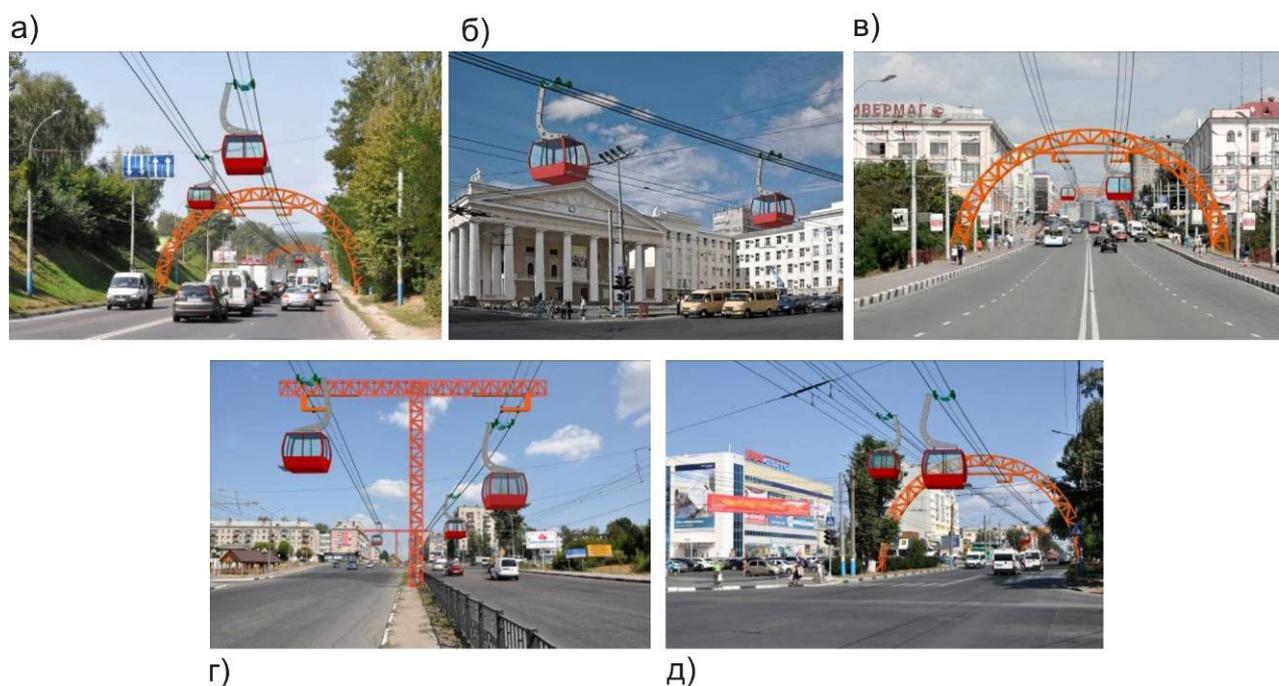


Рис. 2. Вариант интеграции транспортной системы «Канатное метро г. Брянска» в существующую дорожную сеть (линия 1): а) улица Бежицкая в районе Городищенской горки; б) проспект Ленина у Брянского областного драмтеатра; в) проспект Ленина в районе дамбы через Нижний Судок; г) улица Ульянова на въезде в Бежицкий район; д) улица III Интернационала у Бежицкого универмага

Линия 2 «Улица Дуки – Новостройка» также является важной составляющей городской транспортной системы канатного метро, так как связывает Советский, Бежицкий и Фокинский районы города с четвертым, Володарским районом и находящимися на его территории центральным железнодорожным вокзалом Брянск-1 и крупным развивающимся микрорайоном. Она имеет привязку к основным транспортным магистралям Володарского района – улицам Никитина, Корнюшкина и Чернышевского. Линия имеет один переход через реку Десна и речную пойму длиной ~1,5 км.

Линия 3 «Площадь Партизан – Городище» имеет привязку к одной из основных транспортных магистралей Советского района города – улице Красноармейской. Она имеет важное логистическое значение с точки зрения обеспечения замкнутости городской транспортной системы канатного метро.

Ввод в эксплуатацию линий 1, 2 и 3 следует рассматривать как выполнение программы-минимума модернизации системы общественного транспорта г. Брянска на основе канатных дорог. Полная программа модернизации предусматривает построении еще трех дополнительных линий канатного метро.

Линия 4 «Улица Красноармейская – Телецентр» является самой короткой транспортной линией. Она привязана к важной транспортной магистрали Советского района города - проспекту Станке Димитрова и связывает с центральной частью города обширный микрорайон, расположенный вдоль проспекта, и областной больничный комплекс, а также обеспечивает доступность одного из главных туристических объектов Брянской области – Свенского Успенского монастыря.

Линия 5 «Площадь Ленина – Городище» имеет перспективное значение, так как она будет пересекать обширный жилой и административный микрорайон в районе старого аэропорта, являющийся наиболее перспективной площадкой для дальнейшего развития застройки в городе Брянске.

Линия 6 «Вокзал Брянск-1 – Партизанская» позволяет соединить с центральной частью города обширный удаленный микрорайон жилой застройки Володарского района. Она привязана к важной транспортной магистрали района – улице Пушкина.

Суммарная протяженность всех шести транспортных линий канатного метро составит приблизительно 54,8 км. Общее количество пассажирских посадочных станций может достигать 32 станции, причем в дальнейшем их число может увеличиваться с учетом объективных логистических изменений в структуре пассажирских транспортных потоков по мере развития городской инфраструктуры и застройки. Планируется, что из общего числа 6 станций будут узловыми (пересадочными), располагающимися в местах пересечения или примыкания линий канатного метро, а 26 станций – линейными, обеспечивающими лишь посадку-высадку пассажиров. Общее число промежуточных опорных металлоконструкций, поддерживающих тяговый и несущие канаты, по предварительным оценкам составит 100...110 штук, расположенных с пролетом 400...600 м. Отдельные пролеты через несколько широких преград (рек и речных пойм в черте города) могут достигать 1000...2000 м. В настоящее время такие пролеты являются технически возможными, исходя из агрегатной прочности и надежности несущих канатов, выпускаемых отечественной промышленностью [22, 23].

Стоимость строительства непосредственно линий и приобретение необходимого пассажирского и технологического оборудования составит по приближенным оценкам порядка 10,6 млрд. руб., стоимость зданий пассажирских станций – 1,9 млрд. руб. Учитывая темпы строительства линий в объеме 4...5 км/год, продолжительность строительства может составить 9...11 лет, а необходимо годовое финансирование (в среднем) - порядка 1,0...1,2 млрд. руб./год на строительство линий и порядка 0,2...0,25 млрд. руб./год – на строительство зданий пассажирских станций. При финансировании в большем объеме сроки строительства можно сократить до 5...6 лет.

Приоритетным подходом к решению проблемы снижения достаточно высокой стоимости строительства канатного метро является проведение широкомасштабных научно-исследовательских и опытно-конструкторских исследований и разработок, направленных на создание оптимальных и автоматизированных методов проектирования

при решении таких важных инженерно-технических задач, как

- прокладка трассы транспортной линии с учетом имеющейся городской застройки (высотности зданий и сооружений, расположения пригодных площадок для возведения линейных и узловых станций, расположения непременных объектов городской инфраструктуры и др.) и ландшафтной неоднородности (оврагов, возвышенностей, рек, озер и др.);

- создание отвечающих критериям надежности и безопасности конструкций опор, канатно-блочной системы и подвижного состава;

- создание аппаратного и программного обеспечения автоматизированной системы управления движением подвижного состава в рамках единой городской транспортной системы канатного метро.

В настоящее время имеются подобные разработки применительно к решению задачи оптимальной прокладки трассы канатного метро [22, 24-26]. На стоимость строительства линии значительное влияние оказывает величина шага установки соседних промежуточных опор, вследствие чего задача их расположения вдоль трассы является задачей технико-экономической оптимизации [22]. Оптимизация позволяет обеспечить минимальную величину затрат на возведение опорных конструкций, приобретение тягового и несущих канатов, а также комплекта устанавливаемого на опору необходимого технологического оборудования. На стоимость строительства линии также значительное влияние оказывает рельеф местности и высотность застройки вдоль трассы [24, 25]. Как показано в этих работах на примере модельных расчетов, при достаточно неоднородном рельефе местности оптимизация по расстановке промежуточных опорных металлоконструкций и их высоте позволяет уменьшить стоимость строительства в 1,5...2 раза по сравнению с вариантом равномерной расстановки опор равной высоты.

В настоящее время также имеются отдельные разработки, направленные на создание отвечающих критериям надежности и безопасности конструкций опор, канатно-блочной системы и подвижного состава [27]. При этом первостепенное значение приобретает динамико-прочностное моделирование конструкций, их основных узлов и механиз-

мов в процессе эксплуатации, для чего возможно использование численных методов, хорошо зарекомендовавших себя при проектировании подъемно-транспортной техники, например, [28-33].

В качестве принципа финансирования строительства транспортной системы «Канатное метро г. Брянска» целесообразно использовать возможности частно-государственного партнерства. Возможные источники финансирования в этом случае:

- финансовые средства частных инвесторов;
- федеральные финансовые средства, полученные в рамках профильных федеральных и государственных программ;
- муниципальные финансовые средства;
- заемные финансовые средства.

Интерес инвесторов очевиден: для посадки пассажиров на станциях канатного метро необходима только посадочная площадка, которая должна располагаться на достаточной высоте над землей - на высоте 15 – 20 – 25 м, т.е. на уровне пяти-, семи- или десятиэтажного здания. Поэтому архитектурно станцию канатного метро целесообразно совмещать с многоэтажным зданием, в котором размещаются различные коммерческие и социальные объекты: торговые, культурно-развлекательные и физкультурно-спортивные комплексы, библиотеки, офисные помещения, гостиницы, жилые помещения и др. Таким образом, с точки зрения инвестора пассажир совершает поездку не от одной станции до другой, а от одного торгово-развлекательного центра до другого, причем на станциях ему удобно будет максимально решить свои бытовые проблемы – совершить покупки и получить максимальное количество разнообразных услуг.

Только за счет сдачи в аренду внутренних помещений зданий пассажирских станций инвестор может получить годовую арендную плату в размере 48...50 млн. руб./год (для 5-этажной станции высотой 15 м) или 96...100 млн. руб./год (для 10-этажной станции высотой 30 м). Исходя из средней стоимости строительства 1 кв. м здания в размере 20 тыс. руб./кв.м, только за счет аренды вложенные инвестором в строительство станции средства окупятся приблизительно за 2 года. Таким образом, финансирование строитель-

ства станций в размере 2,3 млрд. руб. можно полностью передать инвесторам.

Следует также учитывать, что пассажирские станции канатного метро (особенно узловые) будут располагаться в местах концентрации пассажиропотока, на пересечениях линий наземного пассажирского транспорта. Как правило, эти места характеризуются повышенной плотностью застройки и наиболее высокой ценой земли. Разрешение инвестору построить станцию целесообразно обременить требованием дополнительного финансирования строительства самих линий метро.

Таким образом, на долю частных инвесторов, как минимум, может приходиться финансирование порядка 3...4 млрд. руб. или 35...40 % от общей стоимости проекта.

Список литературы.

1. Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460/#ixzz4h8vkrSuA>.

2. Короткий, А.А. О перспективах применения канатного транспорта / А.А. Короткий, В.Б. Маслов // Безопасность труда в промышленности. - 2005. - №6. - С.30-34.

3. Короткий, А.А. Перспективы применения канатного транспорта в урбанизированной среде / А.А. Короткий, М.В. Кирсанов, А.В. Панфилов // Градостроительство. – 2013. - № 4. - С. 66-70.

4. Короткий, А.А. Перспективы применения канатного транспорта в урбанизированной среде / А.А. Короткий, В.М. Приходько, Г.В. Кустарев, А.В. Панфилов, А.В. Озорнин // Инновации и инвестиции. – 2013. - № 5. - С. 159-163.

5. Канатное метро // ИКЦ «Мысль» НГТУ: [сайт]. - Режим доступа: <http://www.ikcmysl.ru/kanatnoe-metro>.

6. Koblenz verbindet. Eine Stadt, in der Man gleich zu Hause ist: [сайт]. - Available: http://www.koblenz.de/stadtleben_kultur/koblenz_allgemeine_infos_e.html.

7. Kölner Seilbahn: [сайт]. - Available: <http://www.koelner-eilbahn.de/german/index.html>.

8. Le téléphérique de la bastille à Grenoble: [сайт]. - Available: <http://www.youtube.com/watch?v=V9PjFK0NZ0c>.

9. Le Téléphérique du Mont Faron: [сайт]. - Available: <http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/991912#Transport>.

10. Канатная дорога / Город Оренбург: [сайт]. - Режим доступа: <http://pro-orenburg.ru/history/kanatnaja-doroga.html>.

11. ОАО «Нижегородские канатные дороги»: [сайт]. - Режим доступа: <http://www.nnkd.ru/>.

12. Пат. 2506182 Российская Федерация, МПК В61В 7/00. Транспортная система («Канатное метро») / А.А. Короткий, А.В. Лагереv, Б.Ч. Месхи, В.М. Приходько, Г.В. Кустарев, В.Б. Маслов, Д.А. Короткий, М.В. Кирсанов, А.В. Панфилов, И.А. Лагереv. - № 2012121358/11; заявл. 23.05.12; опубл. 10.02.14.

13. Пат. 120617 Российская Федерация, МПК В61В 7/00. Транспортная система («Канатное метро») / А.А. Короткий, А.В. Лагереv, Б.Ч. Месхи, В.М. Приходько, Г.В. Кустарев, В.Б. Маслов, Д.А. Короткий, М.В. Кирсанов, А.В. Панфилов, И.А. Лагереv. - № 2012121284/11; заявл. 23.05.12; опубл. 27.09.2012. - Бюл. № 27.

14. Панфилов, А.В. Инновационный пассажирский канатный транспорт для урбанизированной среды с мехатронными модулями движения / А.В. Панфилов, В.М. Приходько, Г.В. Кустарев, А.А. Короткий, А.В. Озорнин // Инновации и инвестиции. – 2013. - № 6. - С. 187-191.

15. Месхи, Б.Ч. Концепция развития сети канатного метро в Ростове-на-Дону // Б.Ч. Месхи, А.А. Короткий, В.Б. Маслов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. – Т. 11. - № 8. – С. 1348-1355.

16. Лагереv, А.В. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, А.А. Короткий, А.В. Панфилов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. - №3. – С. 12-15.

17. Лагереv, А.В. Брянское канатное метро / А.В. Лагереv, А.А. Короткий, А.В. Панфилов, И.А. Лагереv // Материалы научной конференции совета МНТО, Брянск, 9-10 июня 2012 г.- Брянск: БГТУ, 2012.- С. 36-39.

18. Пат. 2471662 Российская Федерация, МПК В61В 7/00. Транспортная система («Канатное метро») / А.А. Короткий, Л.В. Стоцкая,

Н.А. Рожков, А.В. Курлыков, Г.В. Кустарев, А.А. Тумасов, Д.А. Короткий, В.Б. Маслов, Д.В. Маслов, А.В. Панфилов. - № 2011138129; заявл. 16.09.2011; опубл. 10.01.2013.

19. Пат. 2478503 Российская Федерация, МПК В61В 7/00. Грузопассажирский канатно-переправочный комплекс / А.А. Короткий, А.В. Трембицкий, Б.Д. Попиашвили, В.В. Дубровин, Г.В. Кустарев, Д.А. Короткий, А.В. Панфилов. - № 2011137148/11; заявл. 08.09.2011; опубл. 10.04.2013.

20. Короткий, А.А. Канатные дороги нового поколения как элемент пассажирской транспортной инфраструктуры горного кластера Сочи-2014 / А.А. Короткий, А.В. Панфилов // Безопасность труда в промышленности. – 2014. - № 6. – С. 38-41.

21. Постановление Брянской городской администрации от 10.04.2012 № 785-п «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития города Брянска на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.city-strategy.ru/UserFiles/Files/Bryansk2025.pdf>.

22. Лагерев, А.В. Оптимизация шага установки промежуточных опорных конструкций вдоль линии канатного метро / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного университета. – 2014. - № 4. - С. 22-30.

23. ООО «МосКанат»: [сайт]. - Режим доступа: www.mos-kanat.ru/prise_2012.xls.

24. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование линий канатного метро в условиях сильно урбанизированной городской среды / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Известия МГТУ «МАМИ». - 2015. – Т.1. - № 1 (23). – С. 57-65.

25. Лагерев, А.В. Оптимальное проектирование линии канатного метро / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 2. - С. 406-415.

26. Короткий, А.А. Метод проектирования и анализа трассы канатного метро / А.А. Короткий, В.Б. Маслов, Д.В. Маслов, А.В. Панфилов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. - № 3. - С. 68-73.

27. Самсонов, А.В. Моделирование динамики мехатронного модуля гибкого тягового органа канатной дороги / А.В. Самсонов

// Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 2. – С. 81-85.

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

29. Лагерев, А.В. Динамико-прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2015. – 186 с.

30. Лагерев, И.А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин // И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. - Брянск: БГТУ, 2013.- 228 с.

31. Лагерев, А.В. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических крано-манипуляторов в задачах динамики / А.В. Лагерев, А.А. Мильто, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного университета. – 2013. - № 4. - С. 21-26.

32. Lagerev, A.V. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes Using Finite Element Method / A.V. Lagerev, I.A. Lagerev, A.A. Milto // Int. Review on Modelling and Simulations. – 2015. – Vol. 8. - № 2. – P. 223-227.

33. Лагерев, А.В. Исследование динамики и прочности гидравлических крано-манипуляторных установок на подвижном шасси / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Мильто // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 1. – С. 43-48.

Сведения об авторах

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

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

PROSPECTS OF INTRODUCTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGY OVERHEAD PASSENGER TRAFFIC ON THE BASIS OF THE PASSENGER ROPEWAYS FOR THE MODERNIZATION OF THE PUBLIC TRANSPORT SYSTEM OF THE BRYANSK CITY

Lagerev A.V., Lagerev I.A.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

In relation to the current situation in the field of public transport in the Bryansk city was shown the main problems in the implementation of innovative technology for the aerial passenger transport on the basis of suspended passenger ropeways (Cable metro). Shows the advantages of the cable metro-based mechatronic technology transportation compared to the traditional suspended passenger ropeways. Was made the technical and economic feasibility analysis of the construction of the cable metro in conditions of a highly urbanized urban environment of large cities, metropolises and urban agglomerations. Presented the statistical data on the development of vehicles in the Bryansk city in the period 2004-2016 years and based on the analysis of these data shows the feasibility of the development of aerial passenger transport as the most high-speed and environmentally friendly mode of transport compared with automobile and electric transport. Considered the possible sources of financing of design and construction works and shows the commercial attractiveness of the project to potential investors in the framework of public-private partnerships. For existing urban development and major transport flows of the Bryansk city was formulated proposals for the location of future transport cable metro lines, order their gaskets, the formation routes of movement of the rolling stock. Made the estimation of labor and financial costs for the implementation of the project of modernization of the public transport system of the city of Bryansk on the basis of the suspended passenger ropeways. The proposed option has the following characteristics: the number of transport lines - 6, total length - 54.8 km, total number of passenger boarding stations - 26, hub passenger stations - 6, the total number of intermediate supports - 100...110 pieces with a span between supports of 400...600 m. the cost of construction of transport lines and the purchase of necessary passenger and processing equipment will be according to rough estimates of 10.6 billion RUB, cost of building passenger stations - 1.9 billion RUB.

Keywords: urban public transport, passenger transportation, suspended passenger ropeway, cable metro, shuttle line, route, analysis of feasibility, sources of funding.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-163-177

References

1. *Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 22 noyabrya 2008 g. № 1734-r «Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda»*. Available: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460/#ixzz4h8vvpSuA> (In Russian)
2. Korotkiy A.A., Maslov V.B. O perspektivakh primeneniya kanatnogo transporta. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2005, No.6, pp. 30-34. (In Russian)
3. Korotkiy A.A., Kirsanov M.V., Panfilov A.V. Perspektivy primeneniya kanatnogo transporta v urbanizirovannoy srede. *Gradostroitelstvo*, 2013, No. 4, pp. 66-70. (In Russian)
4. Korotkiy A.A., Prikhodko V.M., Kustarev G.V., Panfilov A.V., Ozornin A.V. Perspektivy primeneniya kanatnogo transporta v urbanizirovannoy srede. *Innovatsii i investitsii*, 2013, No.5, pp. 159-163. (In Russian)
5. Kanatnoe metro. IKTs «Myhsl» NGTU. Available at: <http://www.ikcmysl.ru/kanatnoe-metro>. (In Russian)
6. *Koblenz verbindet. Eine Stadt, in der Man gleich zu Hause ist*. Available: http://www.koblenz.de/stadtleben_kultur/koblenz_allgemein_e_infos_e.html.
7. *Kölner Seilbahn*. Available: <http://www.koelner-seilbahn.de/german/index.html>.
8. *Le téléphérique de la bastille à Grenoble*. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=V9PjFK0NZ0c>.
9. *Le Téléphérique du Mont Faron*. Available: <http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/991912#Transport>.
10. *Kanatnaya doroga. Gorod Orenburg*. - Available: <http://pro-orenburg.ru/history/kanatnaya-doroga.html>. (In Russian)
11. *OAO «Nizhegorodskie kanatnye dorogi»*. - Available: <http://www.nmkd.ru/>. (In Russian)
12. Patent RU 2506182. *Transportnaya sistema «Kanatnoe metro»* [Transport system «Rope metro»]. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.I., Prikhodko V.M., Kustarev G.V., Maslov V.B., Korotkiy D.A., Kirsanov M.V.,

Panfilov A.V., Lagerev I.A. Declared 23.05.2012. Published 10.02.2014. (In Russian)

13. Patent RU 120617. *Transportnaya sistema «Kanatnoe metro»* [Transport system «Rope metro»]. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.I., Prikhodko V.M., Kustarev G.V., Maslov V.B., Korotkiy D.A., Kirsanov M.V., Panfilov A.V., Lagerev I.A. Declared 23.05.2012. Published 27.09.2012. (In Russian)

14. Panfilov A.V., Prikhodko V.M., Kustarev G.V., Korotkiy A.A., Ozornin A.V. Innovatsionnyy passazhirskiy kanatnyy transport dlya urbanizirovannoy sredy s mekhatronnymi modulyami dvizheniya. *Innovatsii i investitsii*, 2013, No.6, pp. 187-191. (In Russian)

15. Meskhi B.Ch., Korotkiy A.A., Maslov V.B. Vision of cable metro network in Rostov-on-Don. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, Vol.11, No.8, pp. 1348-1355. (In Russian)

16. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Korotkiy A.A., Panfilov A.V. Innovation transport system “Bryansk rope metro”. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No. 3, pp. 12-15. (In Russian)

17. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Korotkiy A.A., Panfilov A.V. Bryansk rope metro. *Sbornik materialov nauchnoy konferentsii Soveta MNT0* [Proceedings of the Scientific Conference of the Council of MNT0]. 2012, pp. 36-39. (In Russian)

18. Patent RU 2471662. *Transportnaya sistema «Kanatnoe metro»* [Transport system «Rope metro»]. Korotkiy A.A., Stotskaya L.V., Rozhkov N.A., Kurlykov A.V., Kustarev G.V., Tumasov A.A., Korotkiy D.A., Maslov V.B., Maslov D.V., Panfilov A.V. Declared 16.09.2011. Published 10.01.2013. (In Russian)

19. Patent RU 2478503. *Gruzopassazhirskiy kanatno-perepravochnyy kompleks* [Cargo-passenger rope-handling complex]. Korotkiy A.A., Trembitskiy A.V., Popiashvili B.D., Dubrovin V.V., Kustarev G.V., Korotkiy D.A., Panfilov A.V. Declared 08.09.2011. Published 10.04.2013. (In Russian)

20. Korotkiy A.A., Panfilov A.V. Kanatnye dorogi novogo pokoleniya kak element passazhirskoy transportnoy infrastruktury gornogo klastera Sochi-2014. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2014, No.6, pp. 38-41. (In Russian)

21. *Postanovlenie Bryanskoy gorodskoy administratsii ot 10.04.2012 № 785-p «Ob utverzhdenii Strategii socialno-ekonomicheskogo razvitiya goroda Bryanska na period do 2025 goda»*. - Available: <http://www.city-strategy.ru/UserFiles/Files/Bryansk2025.pdf>. (In Russian)

22. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Cable transport system “Kanatnoe metro” towers distance optimisation. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 22-30. (In Russian)

23. *OOO “Moskanat”*. - Available: www.mos-kanat.ru/prise_2012.xls. (In Russian)

24. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal design of cable subway lines in a highly urbanized city environment. *Izvestiya MGTU “MAMI”*, 2015, Vol.1, No.2, pp. 57-65. (In Russian)

25. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal design of the cable car line. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No. 2, pp. 406-415. (In Russian)

26. Korotkiy A.A., Maslov V.B., Maslov D.V., Panfilov A.V. Metod proektirovaniya i analiza trassy kanatnogo metro. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*, 2011, No.3, pp. 68-73. (In Russian)

27. Samsonov A.V. Cable railway mechatronic drive dynamics simulation. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 81-85. (In Russian)

28. Vershinskii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruktsey podyemno-transportnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Calculation of metal constructions of lifting-transport machines by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 210 p. (In Russian)

29. Lagerev A.V., Milto A.A., Lagerev I.A. *Dinamiko-prochnostnoy analiz gidravlicheskiikh krano-manipulyatornykh ustanovok mobilnykh mashin* [Dynamic and mechanical analysis of hydraulic crane-manipulating installations of mobile machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 186 p. (In Russian)

30. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Optimalnoe proektirovanie podyemno-transportnykh mashin* [Optimal design of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy

Tekhnicheskii Universitet, 2013. 228 p. (In Russian)

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

32. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes using Finite Element Method. *International Review on Modelling and Simulations*, 2015, Vol. 8, No. 2. pp. 223–226.

33. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. The study of dynamics and strength of hydraulic

crane-manipulating installations on a movable chassis. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 43-48. (In Russian)

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*.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 621.867

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗА ПРИВодОВ ВЕДУЩИХ ПОДВЕСОК
КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ
ПРИ РАЗРЫВЕ ЭЛЕКТРОЦЕПИ**

Толкачев Е.Н.

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

Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с моделированием отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Разработана математическая модель отказа индивидуальных приводов подвесок вследствие разрыва электроцепи. Для базового варианта конвейера с подвесной лентой выполнено моделирование динамических характеристик.

Ключевые слова: конвейер ленточный, лента подвесная, модель математическая, отказ, подвеска, привод распределенный, разрыв электроцепи.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189

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

Современные направления совершенствования машин непрерывного транспорта заключаются в создании экономически эффективных, высокопроизводительных, надежных машин, обеспечивающих бесперегрузочное транспортирование грузов по трассам различной сложности и протяженности [1]. Результатом разработки ленточного транспортера, отвечающего перечисленным требованиям, является конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом (рис. 1), конструктивные особенности и принцип действия которого описан в ряде публикаций [2-4]. Ключевой конструктивной особенностью данного конвейера является реализация привода по распределенной

вдоль трассы схеме путем оборудования части подвесок индивидуальными приводными механизмами [5, 6]. Распределенный привод конвейера с подвесной лентой позволяет отказаться от громоздкой приводной и натяжной станций, исключить необходимость осуществления промежуточной перегрузки с одной транспортирующей установки на другую при перемещении груза на большое расстояние. Кроме того многоприводная схема способствует значительному сокращению натяжений в дорогостоящей конвейерной ленте и увеличению ее ресурса [3, 7-9], а также позволяет использовать нагруженный резерв из приводных подвесок для повышения надежности конвейера [10].

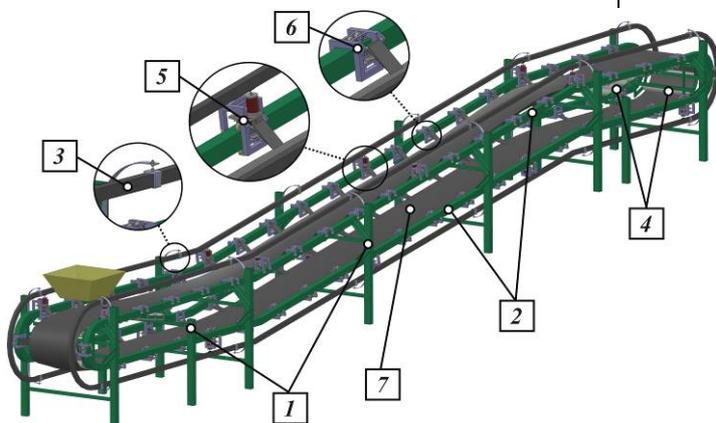


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1 – став; 2 – направляющие качения; 3 – токоведущий троллейный шинопровод; 4 – стационарные роликоопоры; 5 – приводные подвески; 6 – неприводные подвески; 7 – лента

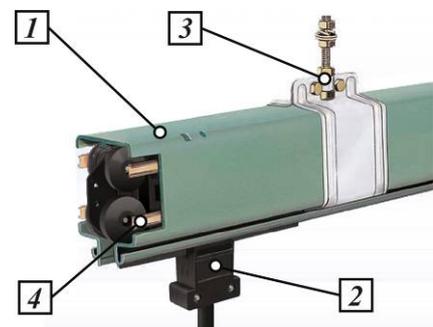


Рис. 2. Общий вид токоведущего троллейного шинопровода: 1 – защитный короб; 2 – токосъемник; 3 – подвесной кронштейн; 4 – медная шина

В качестве приводов ведущих подвесок могут использоваться малогабаритные мотор-редукторы с приводными роликами, установленными на выходных валах, либо мотор-колеса [3, 5, 6]. Питание электрическим током приводных механизмов осуществляется с замкнутого вдоль трассы конвейера П-образного токоведущего троллейного шинпровода посредством токоъемников в виде роликовых кареток с электрографитовыми башмаками и соединительных кабелей (рис. 2) [2, 11]. Одной из возможных причин отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, является разрыв цепи электропитания привода подвески, который, в частности, может быть обусловлен изнашиванием скользящих электрографитовых башмаков каретки токоъемника, либо отсоединением или разрушением соединительных токопроводящих кабелей. Учитывая, что приводные подвески, осуществляющие тяговые и несущие функции, являются одним из главных элементов конструкции конвейера, определяющих его работоспособное состояние, то особую актуальность имеет задача оценки влияния отказов приводных подвесок на техническое состояние конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом.

Для моделирования динамических процессов, протекающих при отказе приводов ведущих подвесок, не оборудованных встроенными тормозами нормально-замкнутого типа, предлагается использовать следующую математическую модель.

Разрыв цепи электропитания сопровождается остановкой электродвигателя мотор-редуктора, при этом приводной ролик подвески имеет возможность вращения. В таком случае крутящий момент на валу мотор-редуктора обращается в ноль, а сопротивление движению остаются неизменными.

Величина, характеризующая подачу электрического тока на привод ведущей подвески в общем виде может быть записана в виде вектор-столбца, количество элементов которого соответствует количеству приводных подвесок на одном контуре направляющих качения трассы конвейера:

$$N_{отк} = (n_{a,b}),$$

где n – показатель питания электрическим током i -й подвески ($n = 0$ – ток не подается, $n = 1$ – ток подается); a – количество строк матрицы, равное количеству приводных подвесок (n_n); b – количество столбцов матрицы, равное единице.

Для моделирования случайного распределения отказов приводных подвесок может быть использована функция $rnd(n)$, результат расчета которой необходимо округлить до целого значения.

Привязка отказа приводных подвесок ко времени выполнена путем формулирования следующего условия:

$$N_{отк}(t) = \begin{cases} k_{pc}, & \text{если } t \leq t_{отк}; \\ \text{иначе } N_{отк}, & \end{cases}$$

где $t_{отк}$ – время наступления отказа; $k_{pc} = (1_{a,b})$ – величина, отражающая работоспособное состояние всех приводов ведущих подвесок.

Таким образом, графики изменения величин, характеризующих подачу электрического тока на приводы ведущих подвесок, в зависимости от времени наступления отказа в общем виде представлены на рис. 3.

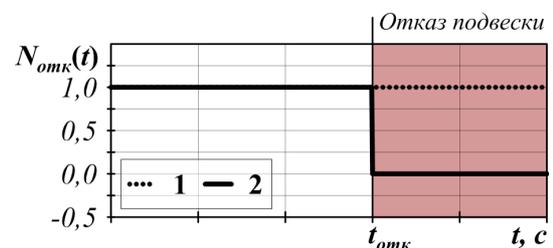


Рис. 3. Графики изменения величин, характеризующих подачу электрического тока на приводы ведущих подвесок: 1 – в штатном режиме работы; 2 – при наступлении отказа

Кроме того, для исключения самопроизвольного перемещения механической системы под действием сил сопротивлений в обратном направлении, в математическую модель также вводится функция знака $sgn(x)$ [12-14]. Таким образом, с учетом выше перечисленных особенностей уравнения движения приводного (рис. 4, а) и холостого (рис. 4, б) роликов [4, 15-17] при моделировании отказа записываются в виде следующих выражений:

$$\begin{cases} m_{ni}^{np} \ddot{x}_i = F_{cu_i} + (G_{nc_i} + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) + k_i(\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}); \\ m_{ni}^{np} \ddot{y}_i = N_{np_i} - G_{nc_i} \cos \alpha_i - F_{np}; \\ J_{ni}^{np} \ddot{\phi}_i = N_{омк}(t)_i \cdot M_{кр_i} - F_{cu_i} r_{np} - N_{np_i} f_{np} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i) - M_{ni}^{np} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i), \end{cases}$$

где $F_{cu_i} = F_{cu}(x_i, x_{i+1}, x_{i-1}, \dot{x}_i, \dot{x}_{i+1}, \dot{x}_{i-1}, \phi_i)$ – сила сцепления приводного ролика ведущей подвески; $M_{кр_i} = M_{кр}(\phi_i)$ – крутящий момент на выходном валу привода ведущей подвески; $\dot{x}_i, \dot{x}_{i-1}, \dot{x}_{i+1}$ – линейные скорости исходного, предыдущего и последующего роликов; x_i, x_{i-1}, x_{i+1} – перемещения исходного, пре-

дыдущего и последующего роликов; m_{ni}^{np} , J_{ni}^{np} – суммарные приведенные масса и момент инерции ведущей подвески [3, 18]; c – приведенная жесткость упругого элемента (ленты); k_i – коэффициент сопротивления демпфирующего элемента.

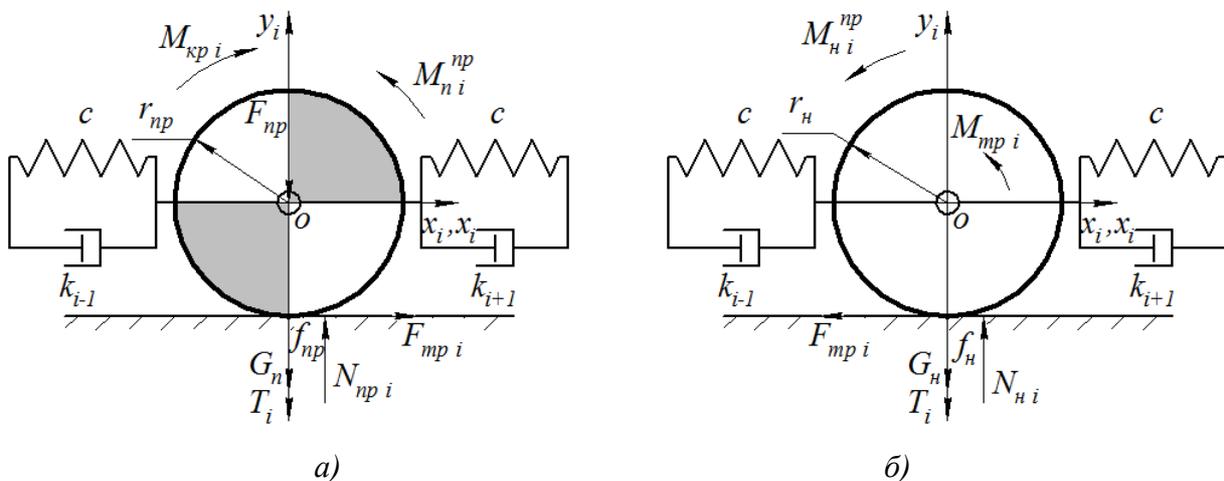


Рис. 4. Расчетные схемы роликов: а – приводного; б – холостого

Движение неприводного ролика ведомой подвески описывается следующими дифференциальными отношениями:

$$\begin{cases} m_{ni}^{np} \ddot{x}_i = -F_{cu_i} + (G_{ni} + T_i \sin \beta_i) \sin \gamma_i + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) + k_i(\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}); \\ m_{ni}^{np} \ddot{y}_i = N_{ni} - (G_{ni} + T_i \sin \beta_i) \cos \gamma_i; \\ J_{ni}^{np} \ddot{\phi}_i = F_{cu_i} r_n - N_{ni} f_{np} \operatorname{sign}(\dot{x}_i) - M_{mp_i} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i) - M_{ni}^{np} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i), \end{cases}$$

где $M_{mp_i} = \mu_{np_o} r_{o_i}$ – момент трения скольжения в оси неприводного ролика; m_{ni}^{np} , J_{ni}^{np} – суммарные приведенные масса и момент инерции ведомой подвески.

Системы уравнений движения подвесок преобразованы с учетом возможности проскальзывания только приводных роликов модели. Движение всех подвесок одного

контура направляющей качения конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом согласно математической модели описывается системой дифференциальных уравнений первого порядка, количество которых определяется числом и типом подвесок.

Общий вид системы уравнений выглядит как

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{dx_1}{d\tau} = \dot{x}_1; \\
 & \frac{d\dot{x}_1}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_1)} \left[F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1, t_1) + (G_{II} + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_1))) \cdot \sin \alpha(x_1) + \right. \\
 & \left. + c \cdot (x_n - 2x_1 + x_2 - L_{mp}) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1)} \cdot c) (\dot{x}_n - 2\dot{x}_1 + \dot{x}_2) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_1}{d\tau} = \dot{\varphi}_1; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_1}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_1)} \left[N_{омк}(t)_1 \cdot M_{кр}(\dot{\varphi}_1) - F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1, t_1) r_n - M_{ПРИБ1}(x_1) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_1) - \right. \\
 & \left. - f_1 (G_{II} \cos \alpha(x_1) + F_{np}) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_1) \right]; \\
 & \frac{dx_2}{d\tau} = \dot{x}_2; \\
 & \frac{d\dot{x}_2}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_2) + M_{nn}(x_2) r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_2) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_2) + r [(G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2))) \cdot \sin \gamma(x_2) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_2 - x_3 - x_1) - (2\xi \sqrt{M_n(x_2)} \cdot c) (2\dot{x}_2 - \dot{x}_3 - \dot{x}_1)] - (f_2 + r_0 \mu_2) (G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2))) \times \right. \\
 & \left. \times \cos \gamma(x_2) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_2) \right]; \\
 & \frac{dx_3}{d\tau} = \dot{x}_3; \\
 & \frac{d\dot{x}_3}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_3) + M_{nn}(x_3) r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_3) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_3) + r [(G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_3))) \cdot \sin \gamma(x_3) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_3 - x_4 - x_2) - (2\xi \sqrt{M_n(x_3)} \cdot c) (2\dot{x}_3 - \dot{x}_4 - \dot{x}_2)] - (f_2 + r_0 \mu_2) (G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_3))) \times \right. \\
 & \left. \times \cos \gamma(x_3) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_3) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_j}{d\tau} = \dot{x}_j; \\
 & \frac{d\dot{x}_j}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_j)} \left[F_{cu}(x_j, x_{j+1}, x_{j-1}, \dot{x}_j, \dot{x}_{j+1}, \dot{x}_{j-1}, \dot{\varphi}_j, t_j) + (G_{II} + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_j))) \cdot \sin \alpha(x_j) + \right. \\
 & \left. + c \cdot (x_{j+1} - 2x_j + x_{j-1}) + (2\xi \sqrt{M_n(x_j)} \cdot c) (\dot{x}_{j+1} - 2\dot{x}_j + \dot{x}_{j-1}) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_j}{d\tau} = \dot{\varphi}_j; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_j}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_j)} \left[N_{омк}(t)_j \cdot M_{кр}(\dot{\varphi}_j) - F_{cu}(x_j, x_{j+1}, x_{j-1}, \dot{x}_j, \dot{x}_{j+1}, \dot{x}_{j-1}, \dot{\varphi}_j, t_j) r_n - M_{ПРИБ1}(x_j) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_j) - \right. \\
 & \left. - f_1 (G_{II} \cos \alpha(x_j) + F_{np}) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_j) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_n}{d\tau} = \dot{x}_n; \\
 & \frac{d\dot{x}_n}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_n) + M_{nn}(x_n) r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_n) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_n) + r [(G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n))) \cdot \sin \gamma(x_n) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_n - x_1 - x_{n-1}) - (2\xi \sqrt{M_n(x_n)} \cdot c) (2\dot{x}_n - \dot{x}_1 - \dot{x}_{n-1})] - (f_2 + r_0 \mu_2) (G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n))) \times \right. \\
 & \left. \times \cos \gamma(x_n) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_n) \right]
 \end{aligned} \right\}$$

где

$$F_{cy}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1, t_1) = \begin{cases} \mu_1(G_{ПС} \cos \alpha(x_1) + F_{np}), & \text{если } \dot{\varphi}_1 r_n - \dot{x}_1 > 0; \\ -\mu_1(G_{ПС} \cos \alpha(x_1) + F_{np}), & \text{если } \dot{\varphi}_1 r_n - \dot{x}_1 < 0; \end{cases}$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{J_n(x_1) + M_n(x_1)r_n^2} [M_n(x_1)r_n [N_{отк}(t_1) \cdot M_{кр}(\dot{\varphi}_1) - M_{ПРИБ1}(x_1) \cdot \text{sgn}(\dot{x}_1) - f_1(G_{ПС} \cos \alpha(x_1) + F_{np}) \cdot \text{sgn}(\dot{x}_1)] - \\ - J_n(x_1) [(G_{П} + (Q_{Л} + Q_{Г}(x_1))) \cdot \sin \alpha(x_1) + c \cdot (x_n - 2x_1 + x_2 - L_{mp}) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1) \cdot c})(\dot{x}_n - 2\dot{x}_1 + \dot{x}_2)] \end{cases}$$

при начальных условиях

$$x_i(\tau = 0) = -h_n(i - 1), \dot{x}_i(\tau = 0) = 0, \varphi_i(\tau = 0) = 0, \dot{\varphi}_i(\tau = 0) = 0.$$

Для решения системы дифференциальных уравнений используется численный метод Рунге-Кутты 4-го порядка.

В качестве объекта для проведения расчета и демонстрации результатов реализации разработанной математической модели отказа ведущих подвесок при разрыве электроцепи принят конвейер-питатель с подвесной

лентой и распределенным приводом (рис. 5), технические характеристики которого приведены в таблице. Моделирование динамики конвейера осуществлялось при условии наступления отказа вследствие разрыва цепи питания электрическим током приводной подвески № 1.

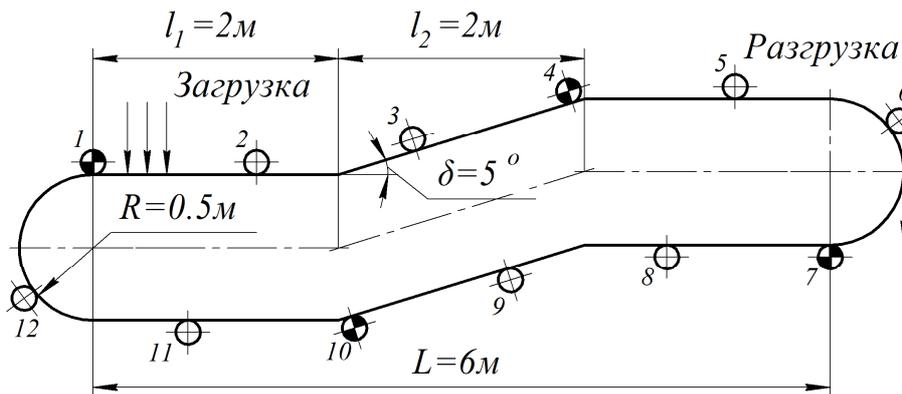


Рис. 5. Схема конфигурации трассы и расположения подвесок конвейера-питателя с подвесной лентой и распределенным приводом

Таблица 1

Технические характеристики конвейера-питателя

Обозначение	Технические характеристики	Значение	Единица измерения
Общие характеристики			
L	Длина горизонтальной проекции конвейера	6	м
R	Радиус концевой поворотной секции	0,5	м
α	Угол наклона конвейера	5	град
Q_p	Производительность расчетная	100	т/ч
ρ	Объемная плотность транспортируемого груза	1,4	т/м ³
φ	Угол естественного откоса груза	45	град
v_{cp}	Скорость транспортирования расчетная	0,5	м/с
n	Общее количество подвесок	12	шт.
n_n	Количество приводных подвесок (дискретных участков)	4	шт.
n_{dy}	Количество подвесок в дискретном участке	3	шт.
h_n	Шаг размещения подвесок	1,26	м

Окончание таблицы

Характеристики подвесок			
F_{np}	Сила прижатия ведущего ролика приводной подвески	195	Н
c	Номинальный крутящий момент на валу привода ведущей подвески	5,5	Н·м
n_n	Номинальная скорость вращения	70,0	об/мин
n_x	Скорость вращения без нагрузки	80,0	об/мин
$m_{mk\ nc}$	Масса металлоконструкции прижимной секции	1,5	кг
m_{np}	Масса приводного ролика	2,0	кг
m_{mp}	Масса мотор-редуктора	3,5	кг
$m_{mk\ nc}$	Масса металлоконструкции несущей секции	7	кг
m_{np}	Масса неприводного ролика	0,07	кг
m_{mknp}	Масса металлоконструкции неприводной подвески	5,0	кг
r_{np}	Наружный радиус приводного ролика	0,07	м
r_{np}	Наружный радиус холостого ролика	0,025	м
r_o	Внутренний радиус ролика	0,006	м
f_{np}	Коэффициент трения качения (резина-сталь)	0,0077	м
μ_{np}	Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	0,5	-
f_{np}	Коэффициент трения качения (сталь-сталь)	0,001	м
$\mu_{np\ o}$	Коэффициент трения скольжения в осях	0,02	-
k_{II}	Количество холостых роликов в приводной подвеске	6	шт.
k_H	Количество холостых роликов в неприводной подвеске	4	шт.
Характеристики ленты			
B	Ширина ленты	0,4	м
i_0	Число прокладок ленты	2	шт.
δ_1 / δ_2	Толщина верхней обкладки / нижней обкладки	3,0 / 1,0	мм
u_{max}	Толщина тягового каркаса ленты	2,4	мм
k	Коэффициент жесткости	210	кН/м
ξ	Коэффициент затухания колебаний	0,05	-

Моделирование выполнялось в интервале времени от 0 до 60 секунд с шагом 0,01 секунды. Время наступления отказа приводной подвески № 1 принято равным 30 с.

Результаты расчета динамических характеристик приводных подвесок при отказе ведущей подвески № 1 представлены на рис. 6-8.

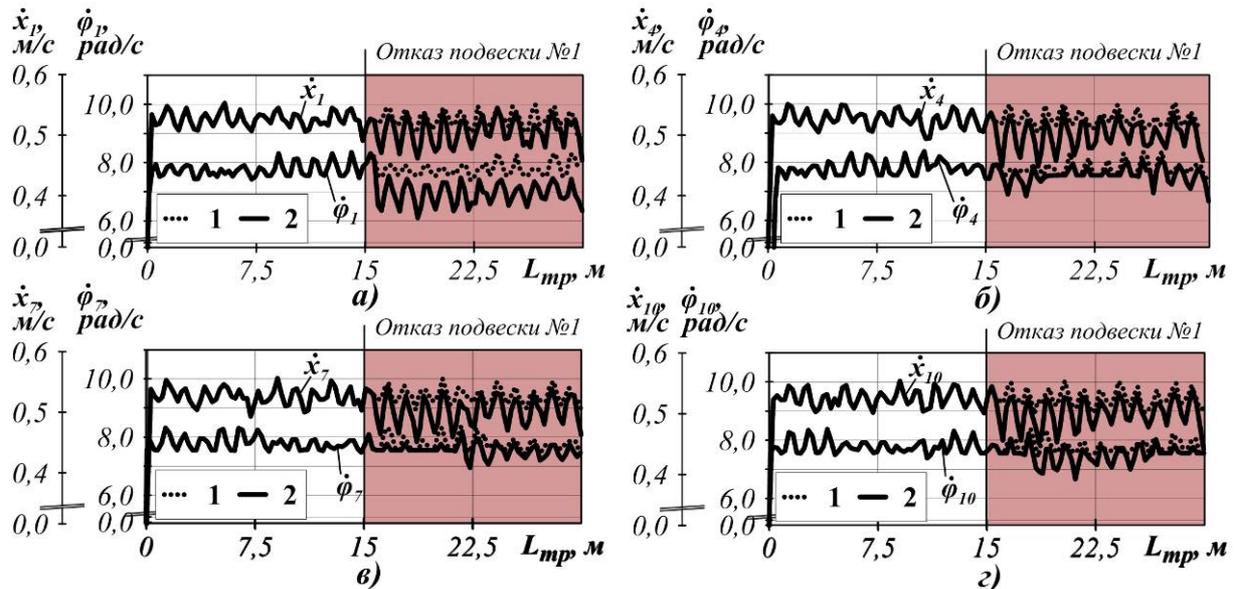
После наступления отказа приводной подвески колебания линейной скорости ведущих подвесок № 1, 4, 7, 10 преобретают большую амплитуду, а среднее значение сокращается на 4,7 %. При этом угловая скорость ведущих роликов приводных подвесок № 4, 7, 10 в среднем сократилась на 3,0 %, однако амплитуда ее колебаний изменяется в

зависимости от участка трассы, по которому перемещается соответствующая подвеска. В тоже время средняя угловая скорость отказавшей приводной подвески № 1 уменьшилась на 10,9 %, а ее амплитуда увеличилась в большей мере.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вышедшая из строя после отказа подвеска продолжает перемещение с линейной скоростью, равной скорости ленты конвейера, причем общая скорость транспортирования снижается. Вместе с тем свободно вращающийся приводной ролик ведущей подвески № 1 при имеющемся сочетании внешних сил вращается с меньшей скоро-

стью, а потому проскальзывает вдоль направляющего пути, о чем свидетельствуют

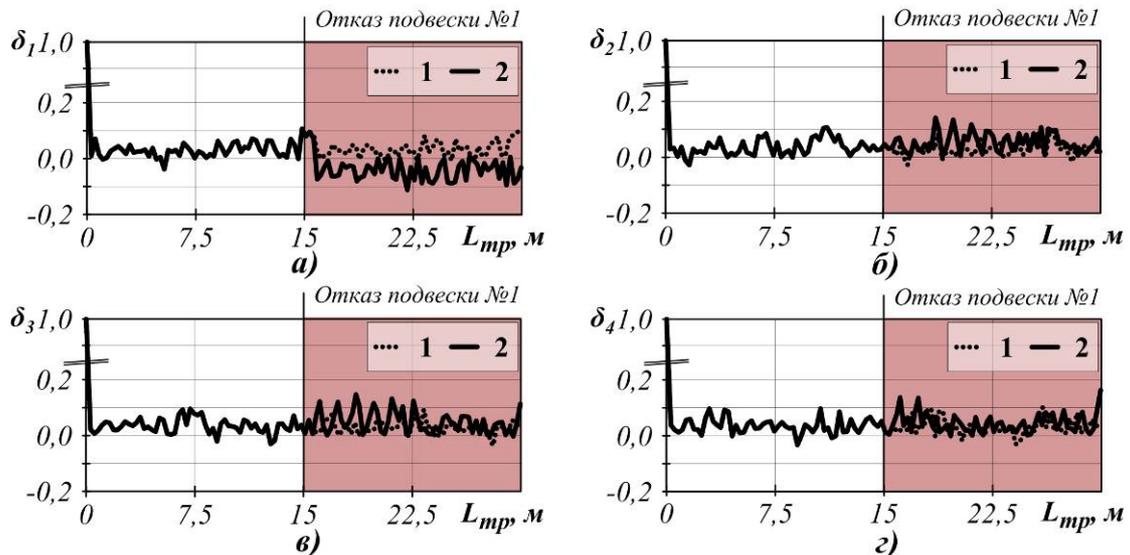
результаты изменения коэффициента буксования приведенные на рис. 7.



1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 6. Изменение динамических характеристик приводных роликов ведущих подвесок при наступлении отказа привода подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода:

а – линейного перемещения; б – углового перемещения



1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 7. Изменение коэффициентов буксования приводных роликов ведущих подвесок при наступлении отказа приводной подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода: а – подвеска № 1;

б – подвеска № 4; в – подвеска № 7; г – подвеска № 10

Коэффициент буксования определяется согласно следующему выражению:

$$\delta_i = 1 - \frac{\dot{x}_i}{\dot{\varphi}_i r_{np}}$$

В соответствии с приведенной формулой значение коэффициента равное 1 соответствует буксованию приводного ролика подвес-

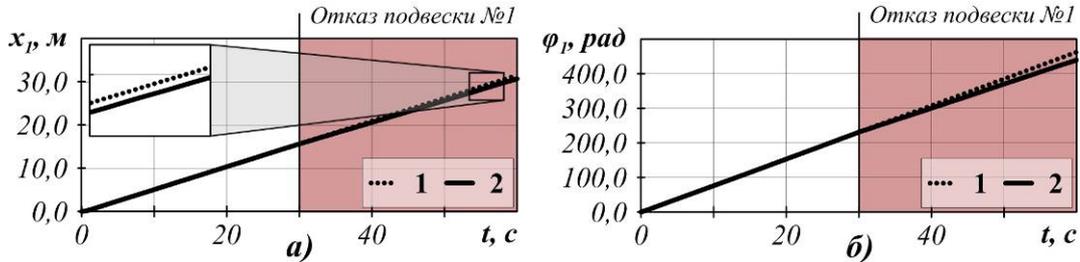
ки. Если же его величина равна -1, то приводной ролик подвески скользит (перемещается юзом).

Следовательно, при отказе ведущей подвески № 1, приводные ролики подвесок № 4, 7, 10 продолжают движение с большей величиной проскальзывания, причем буксование увеличивается на определенных участках

трассы. В тоже время приводной ролик ведущей подвески № 1 после ее отказа продолжает движение с повышенным скольжением.

Согласно результатам сравнения, представленным на рис. 8, линейное и угловое перемещения приводного ролика ведущей

подвески № 1 вследствие отказа подвески и сокращения скорости движения уменьшились не значительно. В конце интервала моделирования движения конвейера (60 с) разница между линейным перемещением составила 2,5 %, а угловым 4,9 %.



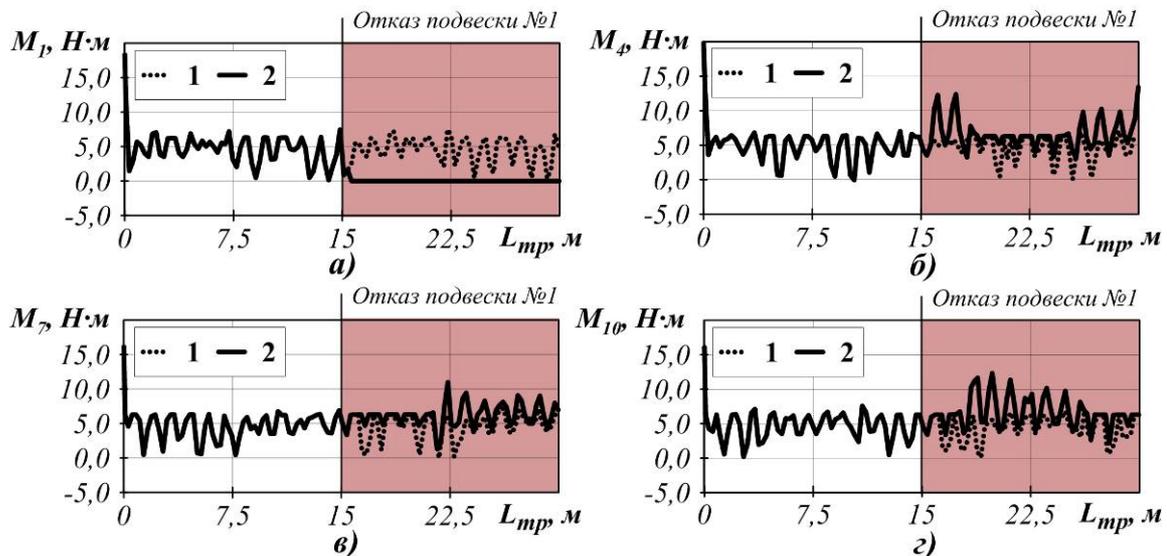
1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 8. Изменение динамических характеристик приводного ролика ведущей подвески № 1 при наступлении ее отказа вследствие разрыва токоподвода:

а – линейного перемещения; б – углового перемещения

Крутящий момент подвески № 1 после ее отказа становится равным нулю, при этом значения крутящих моментов приводных подвесок № 4, 7, 10 на участках, где буксо-

вание приводного ролика практически минимально, возрастают (прирост составляет порядка 2,2...2,5 %) (рис. 9).



1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 9. Изменение крутящих моментов приводов ведущих подвесок при наступлении отказа приводной подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода: а – подвеска № 1; б – подвеска № 4;

в – подвеска № 7; г – подвеска № 10

Тем не менее, ярко выраженных всплесков на графиках распределения продольных усилий (рис. 10) в ленте не отмечается. Силы в ленте вблизи отказавшей приводной подвески № 1 несколько уменьшились, в то время как вблизи оставшихся приводных подвесок незначительно увеличились (№ 4, 7), либо существенно не изменились (№ 10). Отсутствие резких скачков величины продоль-

ных сил в ленте обуславливается тем, что приводной ролик ведущей подвески № 1 после ее отказа продолжает свободно вращаться, а повышение и сокращение продольных усилий в ленте вблизи оставшихся подвесок определяется их взаимным расположением, а также нахождением на соответствующих участках трассы.

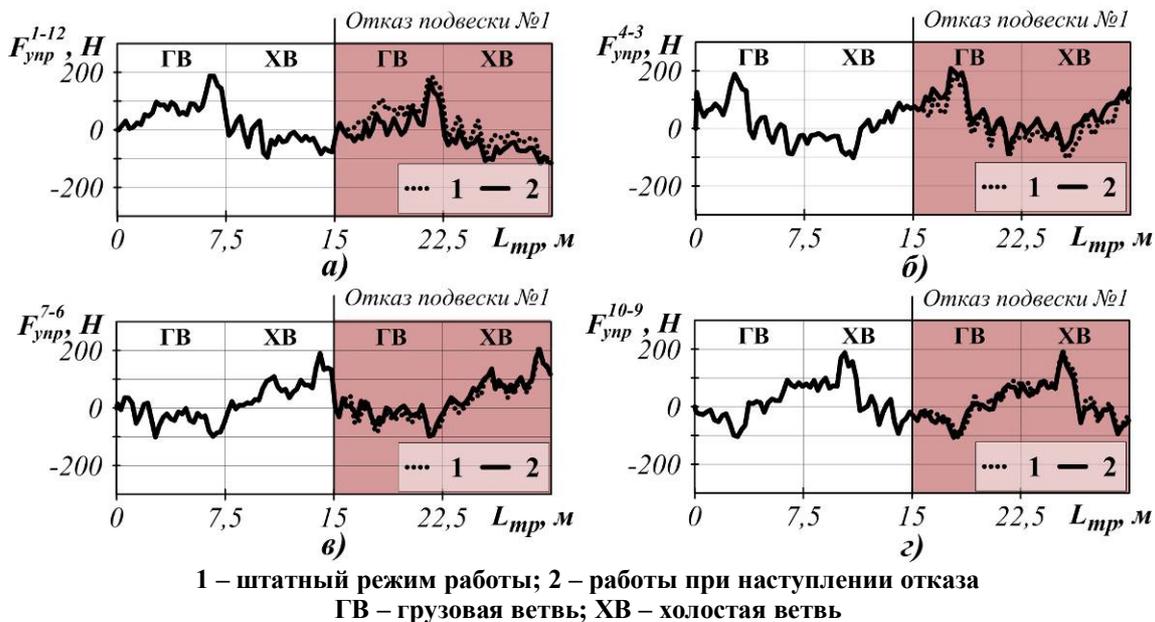


Рис. 10. Изменение продольных усилий в ленте в местах крепления ведущих подвесок при наступлении отказа приводной подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода: а – подвеска № 1; б – подвеска № 4; в – подвеска № 7; г – подвеска № 10

Разработанная математическая модель позволяет осуществлять расчет динамических характеристик элементов конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при отказе подвесок вследствие разрыва электроцепи. В последующей работе планируется реализовать математические модели прочих видов отказов, а также провести углубленное исследование влияния отказов приводных подвесок на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом для различного количества вышедших из строя подвесок, их взаимного расположения, а также размещения на трассе.

Список литературы

1. Пертен, Ю.А. Конвейерный транспорт XXI века / Ю.А. Пертен // Транспорт Российской Федерации. – 2005. – № 1. – С. 42-43.
2. Лагерев, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал, 2009. – № 10. – С. 9-14.
3. Лагерев, А.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 303 с.

4. Lagerev, A.V. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive / A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev, I.A. Lagerev // International Review on Modelling and Simulations. – 2016. – Vol. 9, N. 4. – P. 271-279.

5. Пат. 153945 Российская Федерация, МПК⁷ В65G 15/60. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / Лагерев А.В., Толкачев Е.Н., Гончаров К.А., Кулешов Д.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2015102372/11; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22.

6. Пат. 164247 Российская Федерация, МПК⁷ В65G 15/60. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / Лагерев А.В., Толкачев Е.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2016108456/11; заявл. 09.03.2016; опубл. 20.08.2016. Бюл. № 23.

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

8. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К.

Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

9. Nuttall A. Design Aspects of Multiple Driven Belt Conveyors: Doctoral dissertation / A. Nuttall. Delft: Delft University of Technology, 2007. – 158 p.

10. Гончаров, К.А. Сравнительный анализ эффективности применения специального конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / К.А. Гончаров, Е.Н. Толкачев // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: материалы V Междунар. научно-практ. конф. 21–23 октября 2013 г. – Брянск: БГТУ, 2013. – С. 11-13.

11. Московский Б.Г. Современные системы электропитания машин и механизмов. Порядок выбора шинопроводов для мостовых грузоподъемных кранов / Б.Г. Московский // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 4-5 (86). – С. 20-23.

12. Дмитриева, В.В. Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом / В.В. Дмитриева, С.В. Гершун // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2008. – № 8. – С. 295-303.

13. Дмитриева, В.В. Моделирование пуска-тормозных режимов ленточного конвейера / В.В. Дмитриева // Горные науки и технологии. – М.: НИТУ «МИСиС», 2014. – № 3. – С. 50-56.

14. Никитин, С.В. Динамическая модель ленточного конвейера / С.В. Никитин // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 722-731.

15. Лагереv, А.В. Моделирование режимов движения ведущих роликов приводных

подвесок в математической модели конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом [Электронный ресурс] / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 55-65. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-06.pdf>.

16. Лагереv, А.В. Анализ влияния конструктивных параметров подвесок на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 3. – С. 50-59. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-04.pdf>.

17. Лагереv, А.В. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2. – С. 17-20.

18. Толкачев, Е.Н. Определение условий работоспособности дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научные исследования и разработки молодых ученых: сб. материалов XII Междунар. мол. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – С. 81-89.

Сведения об авторе

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

MATHEMATICAL MODEL OF FAILURE THE DRIVES SUSPENSIONS OF THE CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE AT BREAK IN THE ELECTRIC CHAIN

Tolkachev E.N.

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

The article is devoted to the topical issue, which is related to simulation of the failures of drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive. A mathematical model of the failure of individual drives of suspensions due to the breakage of the electric circuit has been developed. Dynamic characteristics of the basic version of a conveyor with suspended belt were simulated.

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

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189

References

1. Perten Yu.A. The conveyor transport of the XXI century. *Transport Rossiyskiy Federatsii*, 2005, No. 1, pp. 42–43. (In Russian)
2. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport mashines. *Inzhenerniy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp. 9-14. (In Russian)
3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the hanging ribbon]. Bryansk: RIO BGU, 2016. 303 p. (In Russian)
4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Modeling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *International Review on Modelling and Simulations*, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 271-279.
5. Patent RU 153945. *Driving suspension of conveyor with suspended belt*. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Y. Declared. 26.01.2015. Published. 10.08.2015. Bulletin No. 22. (In Russian)
6. Patent RU 164247. *Driving suspension of conveyor with suspended belt*. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Declared. 09.03.2016. Published. 20.08.2016. Bulletin No. 23. (In Russian)
7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Determination of rational number suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik SibADI*, 2016, No. 5. pp. 25-34. (In Russian)
8. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting Machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 487 p. (In Russian)
9. Nuttall A. Design Aspects of Multiple Driven Belt Conveyors: Doctoral dissertation. Delft: Delft University of Technology, 2007. 158 p.
10. Goncharov K.A., Tolkachev E.N. Comparative analysis of the efficiency of using a special conveyor with suspended belt and distributed drive // *Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitiy innovatsionnykh protsessov v ekonomike, nauke, obrazovanii: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Bryansk, BGTU, 2013. pp. 11-13. (In Russian)
11. Moskovsky B. G. Modern power supply systems of machines and mechanisms. The procedure for the selection of busbars for bridge cranes. *Podyemno-transportnoe delo*, 2016, No. 4-5 (86), pp. 20-23. (In Russian)
12. Dmitrieva V.V., Gershun S.V. Development of a mathematical model of a belt conveyor with a two-motor drive. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2008, No. 8, pp. 295-303. (In Russian)
13. Dmitrieva V.V. Modeling of starting-brake modes of the belt conveyor. *Gornye nauki i tekhnologi*, 2014, No. 3, pp. 50-56. (In Russian)
14. Nikitin S.V. Dynamic model of belt conveyor. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie*, 2014, No. 4, pp.722-731. (In Russian)
15. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Simulation Modes of Movement the Drive Rollers of Suspension of Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 1, pp. 55-65. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-06.pdf>. (In Russian)
16. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Influence analysis of design parameters of suspensions on the technical specifications of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Nauchno-*

tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2016, No.3, pp. 50-59. URL: www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf. (In Russian)

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

18. Tolkachev E.N. Definition of conditions working ability discrete section of the conveyor

with suspended belt and distributed drive. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodyh uchenykh: sb. materialov XII Mezhdunar. mol. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of the XII Int. Youth Scientific and Practical Conf.]. Novosibirsk, CRNS, 2016. pp. 81-89. (In Russian)

Author' information

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

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 004.057.5:004.558

РАЗРАБОТКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ

Беломойцев Д.Е.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Обозначена проблема формирования структуры дистанционных образовательных программ. Рассмотрен подход к формированию содержания образовательных курсов по выбору. Предложена эволюционная методика составления курсов. Представлен способ автоматизации процесса синтеза индивидуальных программ обучения.

Ключевые слова: образовательная программа, методика синтеза, дополнительное образование, автоматизация.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-190-195

Введение. Анализ накопленного опыта и данных исследований [1] показывает, что неотъемлемым компонентом улучшения эффективности процесса обучения является привлечение к нему систем дистанционного обучения. Вопросы полноты и целостности курсов индивидуального содержания при дистанционном образовании влекут за собой потребность в синтезе структуры и подборе контента курса, которые позволят удовлетворить имеющиеся запросы обучающихся в необходимом и достаточном объеме. Для того, чтобы дать обучающимся возможность эффективно решить проблему полноты и целостности образовательного контента курса дополнительного обучения необходимо автоматизировать процесс проектирования структуры курсов на базе определяемых обучающимися критериев подбора. Целью синтеза индивидуальной образовательной программы является преобразование исходного описания синтезируемого учебного курса, в котором имеются данные о потребностях обучающегося к содержанию и налагаемых на состав ограничениях, в результирующее описание структуры, т.е. сведения о составе курса, взаимосвязи его компонентов. Автоматизировать процесс формирования индивидуальных образовательных программ возможно путем применения разработанной методики проектирования, суть которой в общем случае заключается в сопоставлении отобранными элементами пространства научно-практических достижений элементов пространства образовательного контента.

Эволюционный подход к проектированию структуры учебного курса. В рамках данного исследования состав учебного курса рассматривается в виде совокупности под-

разделов, каждый из которых формируется путем группировки рассматриваемых предметных сущностей. Подразделы образовательных курсов имеют несколько альтернативных вариантов исполнения. Выбор проектного решения подразумевает определение того или иного варианта компоновки каждого подраздела. Решение задачи структурного синтеза при проектировании курса обучения приводит к необходимости решить так называемую задачу принятия решений. Суть данной задачи состоит в том, чтобы из множества альтернатив выбрать такое проектное решение, которое бы соответствовало набору критериев. При этом необходимо иметь в виду, что разные подразделы могут иметь общие параметры, также как могут их иметь различные типы одного подраздела. В связи с этим практически недостижимо вычислить оптимальные значения управляемых параметров отдельно для каждого подраздела.

Структура образовательного курса формируется совокупностью подразделов S_i , $i = 1, N^S$, N^S - количество подразделов. Множество управляемых параметров такой структуры состоит из подмножеств типов и параметров подразделов $X = X^T \cup X^P$. Мощности множеств X^T, X^P составляют N^T, N^P соответственно. У i -го подраздела существует N_i^T вариантов типов X_k^{Ti} , $k = 1, N_i^T$. Каждому типу X_k^{Ti} соответствует набор из N_k^{Pi} параметров $\{X_j^P\}$, где $j \in \{I_q^{Pi}\}$ - совокупность индексов элементов $(0 < I_q^{Pi} \leq N^P, q = 1, N_k^{Pi})$. Каждый параметр

X_j^P может принимать значение из набора C_r^j , где $r = \overline{1, N_j^V}$, N_j^V - количество допустимых значений параметра X_j^P .

Все допустимые комбинации вариантов подразделов составляют множество альтернатив. Имеет смысл описывать множество вариантов структуры курса неявно в форме набора правил P синтеза проектных решений из ограниченного набора элементов \mathcal{E} по той причине, что мощность множества альтернатив может быть достаточно высокой.

Правила P формирования альтернатив A на базе элементов \mathcal{E} представляют собой данные о запрещении некоторых комбинаций составляющих элементов. Возможная форма представления данных правил – матричная (симметричная).

Путем анализа элементов \mathcal{E}_{ij} возможно понять, является ли допустимым использование в курсе i и j типов подразделов одновременно. Поход с формированием морфологических таблиц и альтернативных графов

является применимым для формального описания множеств P и \mathcal{E} . Имеет смысл рассмотреть эволюционный подход к формированию множества альтернатив с помощью И-ИЛИ дерева. Например, генетические алгоритмы будут применимы для решения NP-сложной задачи синтеза структуры курса обучения. Учесть наличие запрещенных комбинаций типов различных подразделов также позволит применение такого рода алгоритма. Для этого предлагается использовать оператор мутации типов подразделов с применением матрицы совместимости.

Новые операторы должны также учитывать запрещенные комбинации альтернативных типов подразделов. Ввиду представления проектного решения хромосомой переменной длины разработаны новые принципы применения генетических операторов мутации, кроссовера и селекции. Необходимость в этом продиктована невозможностью применять классические операторы для модификации хромосомы переменной длины.

Проектное решение (курс)							
Подраздел 1		Подраздел 2		...	Подраздел N^S		
X^{T1}	$X_1^{P1} \dots X_{N^{P1}}^{P1}$	X^{T2}	$X_1^{P2} \dots X_{N^{P2}}^{P2}$...	X^{TN^S}	$X_1^{PN^S} \dots X_{N^{PN^S}}^{PN^S}$	

Рис.1. Схема хромосомы проектного решения

Основное отличие от классического у предложенного в данном исследовании оператора кроссовера заключается в том, что точки разрыва хромосомы размещаются в соответствии с распределением генов по подразделам. В соответствии с таким алгоритмом между подразделами одного типа будет происходить обмен генами. Также алгоритм предусматривает совместное выполнение операторов мутации параметров и типов. В такой ситуации полностью меняться будут определенные подразделы, т.к. изменение их типов автоматически влечет изменение параметров. Для части подразделов предусматривается изменение значения некоторых параметров, для которых отобраны случайным образом гены хромосомы. Следовательно, применение предложенного оператора многоточечного кроссовера оставляет без изменений набор

подразделов проектного решения. Внутри соответствующих отдельным подразделам областей хромосом происходит обмен значениями параметров - генами. Внутри этих областей могут располагаться точки разрыва. Такая ситуация возникает, если действие оператора кроссовера на каждый подраздел происходит по отдельности. Аналогию возможно провести со случаем, когда на хромосомы действовал бы вектор операторов кроссовера. Элементы этого вектора соответствуют отдельным подразделам курса обучения. Работа алгоритмов наполнения затронутых подразделов курса меняется из-за смены значений параметров. Это влияет на вычисляемое значение функций полезности. Они вычисляются для хромосом нового поколения. Для внесения точечных изменений в содержание генов отдельных подразделов в структуре хромосо-

мы при выполнении генетического алгоритма применяется разработанный оператор мутации параметров подразделов. Работа оператора влияет на нижний уровень И-ИЛИ дерева. Изменение подраздела и его параметров, закодированных в полях $X_1^{Pi} \dots X_{N^{Pi}}^{Pi}$, вызывается изменением типов. Дополнительно, меняется число параметров подраздела N^{Pi} . При выполнении генетического алгоритма меняется структура хромосомы посредством применения оператора мутации типов подразделов. Работа этого оператора влияет на уровни И-ИЛИ дерева - от уровня значений параметров до уровня типов подразделов.

В соответствии с разрабатываемой методикой проектирования синтез происходит с применением генетического алгоритма. На основании оценки альтернативных вариантов по значениям их функции полезности принимается решение об окончании поиска проектного решения или о генерации новых альтернатив. Значение целевой функции для альтернативы определяется исходя из значений частных функций полезности для каждого из подразделов. Значения частных функций полезности находятся в зависимости от величин управляемых параметров элементов структуры курса, а также пара-

метров внешних факторов, воздействующих на эффективность и связность восприятия информации курса. Функция полезности подраздела курса дает численную оценку вклада в общую эффективность восприятия и связность курса посредством данного подраздела. Помимо параметров элементов при вычислении функции полезности учитываются требования, предъявляемые к проектируемому курсу. На основании данных требований формируется вектор параметров внешних факторов. Алгоритм вычисления значения функции полезности подраздела определяется индивидуально для каждого типа X_K^{Ti} . У каждого альтернативного K -го варианта i -й подраздела имеется своя форма вычисления функции полезности $F_K^i(X^P)$. Она генерируется на основе обобщения экспертных мнений. Таким образом, создание новых типов подразделов представляет собой нетривиальный процесс, требующий непосредственного участия экспертов и проектировщиков.

В виду представления проектного решения хромосомой переменной длины [2] разработаны новые принципы применения генетических операторов мутации, кроссовера и селекции. Необходимость в этом продикто-

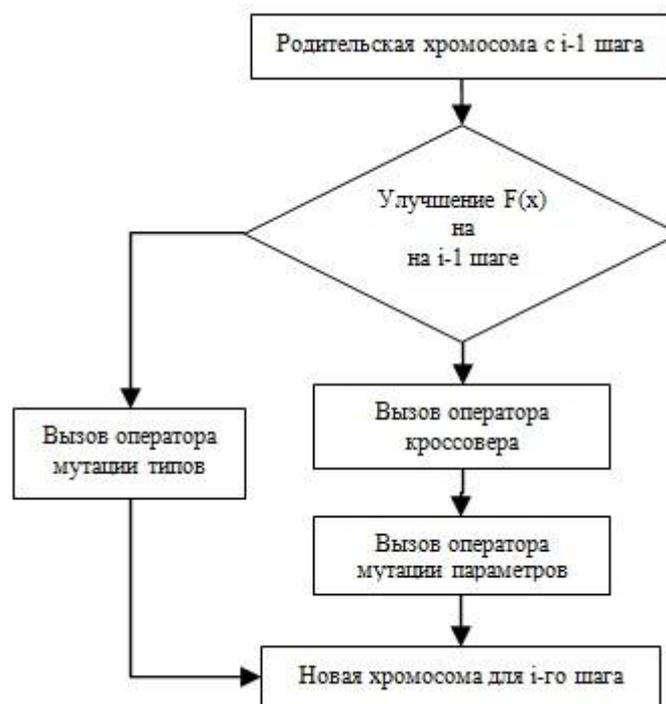


Рис. 2. Схема алгоритма формирования новых хромосом

вана невозможностью применять классические операторы для модификации хромосомы переменной длины.

Новые операторы должны также учитывать запрещенные комбинации альтернативных типов подсистем.

Проводя системный подход к формированию структуры учебных курсов из базиса компонентов образовательного контента, возможно рассматривать составляющие курс подразделы в качестве подсистем, которые в итоге объединяются общим курсовым смыс-

лом. Исходя из такого подхода, рассмотрим формирование новых операторов генетического алгоритма применительно к подсистемам проектируемого курса.

Оператор мутации типов подсистем.

Оператор мутации типов подсистем разработан для изменения структуры хромосомы при выполнении генетического алгоритма. Функционирование оператора затрагивает нижние уровни И-ИЛИ дерева, от уровня значений параметров до уровня типов подсистем.

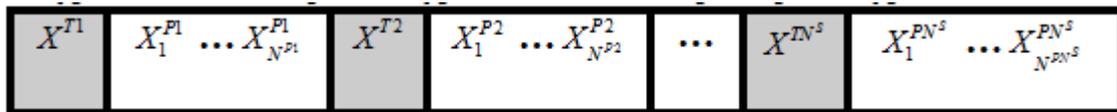


Рис. 3. Схема хромосомы с указанием полей типов

Смена типов (поля X^{Ti} , на рис. заштрихованы) приводит к смене подсистемы и ее параметров, закодированных в полях $X_1^{Pi} \dots X_{N^{Pi}}^{Pi}$. Кроме того, изменяется число параметров подсистемы N^{Pi} .

Количество типов, которые подвергаются изменению в ходе вызова оператора, может варьироваться в зависимости от хода выполнения генетического алгоритма. В том случае, если улучшение показателя целевой функции от поколения к поколению практически не происходит, необходимо произвести широкую смену типов подсистем. Если же на протяжении нескольких поколений наблюдается стойкая тенденция к улучшению значения целевой функции, то смена типов подсистем производится в узком составе. В подобной ситуации вызов оператора мутации типов целесообразно заменить вызовом оператора мутации параметров подсистем.

Выбор подсистемы для применения к ней оператора мутации типов осуществляется на основании анализа динамики изменения значения частной функции полезности данной подсистемы. Необходимо менять такую подсистему (ее тип), у которой наблюдается стагнация функции полезности в области «плохих» значений.

Оператор мутации параметров подсистем. Оператор мутации параметров подсистем разработан для точечного изменения содержания генов отдельных подсистем в

структуре хромосомы при выполнении генетического алгоритма. Функционирование оператора затрагивает самый нижний уровень И-ИЛИ дерева.

Смена значений параметров приводит к изменениям в функционировании алгоритмов затронутых подсистем курса. Это, в свою очередь, влияет на значение функций полезности, которые вычисляются для хромосом нового поколения.

Возможно совместное применение операторов мутации типов и параметров подсистем. При этом некоторые подсистемы будут меняться полностью (смена их типов автоматически ведет к смене параметров). У части же подсистем будут изменяться значения отдельных параметров, которым соответствуют выбранные случайным образом гены хромосомы.

Оператор кроссовера. В отличие от классического, оператор кроссовера, предложенный в данной работе, обеспечивает размещение точек разрыва хромосомы в соответствии с делением генов по подсистемам. Это означает, что обмен генами будет осуществляться строго между подсистемами одного типа.

Таким образом, при использовании разработанного оператора многоточечного кроссовера набор подсистем проектного решения остается неизменным. Обмен значениями параметров (генами) происходит внутри областей хромосом, которые соответ-

ствуют отдельным подсистемам. Фактически точки разрыва могут располагаться внутри данных областей. Подобная ситуация возникает, если действие оператора кроссовера на каждую подсистему происходит в отдельности, как если бы на хромосомы действовал вектор операторов кроссовера. Компоненты данного вектора соответствуют отдельным подсистемам разделов курса.

Заключение. Применение рассмотренных выше генетических операторов приводит к формированию новых поколений. На основе анализа значений их целевых функций происходит селекция альтернативного варианта, который может стать проектным решением.

Таким образом, предложенный новый подход к синтезу структуры курсов основан на следующих положениях:

- используется множество альтернатив в форме И-ИЛИ дерева с возможностью его расширения за счет внесения дополнительных вариантов;

- применяются генетические алгоритмы поиска проектного решения по критерию максимизации соответствия содержания курса запросу слушателя;

- проектное решение представляется в форме хромосомы с подразделением генов между подсистемами на типовые и параметрические;

- вводятся новые генетические операторы мутации и кроссовера для формирования новых поколений путем асинхронного изменения типов подсистем, а также для проведения кроссовера внутри подсистем.

Наряду с исследованным в [1] представлением структуры образовательного контента в виде модулей в данной работе предложено рассматривать структуру элементов пространства образовательного контента на основе генетического алгоритма синтеза проектного решения [3]. Отдельно разработанные целевые функции для оценки полезности для восприятия обучающимися структуры курсов обучения основаны на возможности ее описания в форме множества хромосом и генов. Исследование [4] построенного на таких функциях процесса синтеза показало эффективность такого подхода. Показана возможность эффективно формировать множества вариантов программ образовательных курсов на основе индивидуаль-

ных потребностей и ограничений на совместимость некоторых элементов пространства образовательного контента путем введения в работу алгоритма специализированных генетических операторов.

Решение задачи синтеза проектного решения осуществляется с использованием критерия максимизации покрываемого объема предметных областей учебного курса объектами контента. Параметры курса применяются в форме управляемых переменных используются при определении максимизируемого значения целевой функции на базе данного подхода. При этом учтен также вероятностный характер степени освоения материала учебного курса. Математическое моделирование процесса обучения в рамках синтезируемых курсов осуществляется при помощи вектора функций полезности, составленных для каждого из подразделов курса. Такой подход дает возможность учесть индивидуальные вклады освоения каждого подраздела при оценке интегральной эффективности прохождения курса обучения.

Список литературы

1. Волосатова, Т.М. Автоматизация процесса синтеза индивидуальных образовательных программ на основе генетических алгоритмов формирования курсов обучения / Т.М. Волосатова, Д.Е. Беломойцев // Ученые записки ИСГЗ. - 2014. - № 1-2 (12). - С. 160-163.

2. Беломойцев, Д.Е. Эволюционный подход к решению задачи автоматизации проектирования структуры образовательного контента / Д.Е. Беломойцев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2016. - №4. – С. 92-98.

3. Норенков, И.П. Генетические методы структурного синтеза проектных решений / И.П. Норенков // Информационные технологии. - 1998. - №1. - С. 9-13.

4. Норенков, И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации / И.П. Норенков // Информационные технологии. - 1999. - №1. – С. 2-7.

5. Беломойцев, Д. Е. Разработка методики автоматизированного проектирования каналов передачи защищенных сообщений в беспроводных соединениях мобильных устройств: дис. ... канд. техн. наук / Беломойцев Дмитрий Евгеньевич. - М., 2009. - 163с.

Об авторе

Беломойцев Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО

«Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»,
dmitry.belomoytsev@gmail.com

**THE DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL CONTENT EDUCATIONAL COURSES
COMPOSITION ALGORITHMS GENETIC OPERATORS**

Belomoytsev D.E.

Bauman Moscow Technical University, Moscow, Russian Federation

The educational courses effective formation problem at remote form of education is designated. Approach to educational elective courses content formation is considered. The evolutionary technique of drawing up courses is offered. Features of educational content multidimensional representation are given. The way of automation of design of individual programs of training is presented.

Keywords: *education course, synthesis method, additional education, automation.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-190-195

References

1. Volosatova T.M., Belomoytsev D.E. Individual educational program synthesis automation based on genetic algorithms of course formation. *Uchenye zapiski ISGZ*, 2014, No.1-1 (12), pp.160-163. (Russian)
2. Belomoytsev D.E. Evolutionary approach to the educational content structure design automation problem solution. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.4, pp. 92-98. (Russian)
3. Norenkov I.P. Genetic methods of structural synthesis of design decisions. *Informatsionnye tekhnologii*, 1998, No.1, pp.9-13. (Russian)

4. Norenkov I.P. Heuristics and its combination in genetic methods of discrete optimization. *Informatsionnye tekhnologii*, 1999, No.1, pp.2-7. (Russian)

5. Belomoytsev D.E. Development of a technique of the automated design of channels of transfer of the protected messages in wireless connections of mobile devices. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2009. 163p. (Russian)

Author' information

Dmitriy E. Belomoytsev - Ph.D., associate professor at Bauman Moscow Technical University, *dmitry.belomoytsev@gmail.com*.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 620

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Вертугин А.А.

ТОО Алматинское пуско-наладочное управление АО «Трест Средаэнерго-монтаж», г.Алма-Ата, Казахстан

Одной из основных задач, решаемых при организации работы энергетической системы, является обеспечение качественного и бесперебойного электроснабжения потребителей. Провалы, прерывания и выбросы напряжения электрической сети являются наиболее распространенными причинами сбоев в работе промышленных предприятий и повреждений бытового оборудования, нанося существенный экономический ущерб как потребителям, так и поставщикам электроэнергии.

Ключевые слова: электроснабжение, напряжение, электрические сети, резервный источник питания, аналого-цифровой преобразователь.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-196-202

Кратковременные нарушения электроснабжения опасны, прежде всего, для предприятий со сложными технологическими процессами, широко использующими средства автоматизации для решения своих задач: нефтегазодобывающих и перерабатывающих, металлургических и химических, предприятий водоснабжения, водоотведения и других. На работу высоковольтных двигателей, низковольтных двигателей приводов насосов, устройств управления элементами электротехнических систем и технологических процессов этих предприятий оказывают влияние краткие по продолжительности провалы питающего напряжения.

Кратковременные нарушения электроснабжения происходят десятки раз в год и приводят к значительному экономическому ущербу, даже если их длительность составляет десятки миллисекунд. В такой ситуации решение проблемы надежности электроснабжения все чаще возлагается на потребителей электроэнергии.

Традиционно в электрических сетях для борьбы с перерывами в электроснабжении применяются устройства автоматического включения резервного источника питания. В качестве пускового органа в этих устройствах, как правило, используется орган минимального напряжения. Несмотря на то, что потребителям нужно как можно быстрее получить электропитание, необходимо замедлять срабатывание пускового органа резервного источника питания для предотвращения его излишнего действия при коротком замыкании на смежных участках сети и при дей-

ствии устройств автоматического повторного включения питающих линий. В результате, выдержка времени на действие резервного источника питания может достигать нескольких секунд.

Такая выдержка времени действия резервного источника питания недопустима, если поставлена задача сохранить непрерывность сложных технологических процессов на промышленных предприятиях, так как в результате происходит выпадение из синхронизма синхронных двигателей, опрокидывание асинхронных двигателей, отключение контакторов и пускателей напряжением 380 В, отключение частотно-регулируемых приводов и установок электроцентробежных насосов, сбой в работе другой ответственной нагрузки и систем управления.

Классификация потребителей по способу сохранения их функциональных возможностей при кратковременных нарушениях электроснабжения:

- Высоковольтные (напряжением 6...10 кВ) электрические двигатели. Во время кратковременных нарушений электроснабжения электродвигатели тормозятся, а после восстановления нормального электроснабжения могут потреблять из сети токи $(5...7)I_{ном}$ в основном за счет реактивной составляющей. Увеличение потребления реактивной мощности из сети приводит к снижению напряжения в сети и на двигателях после кратковременного нарушения электроснабжения, которое и может служить причиной нарушения функциональных возможностей двига-

телей. Исследования показывают, что успешный самозапуск двигателей с традиционным резервным источником питания возможен при суммарной мощности двигателей 0,2...0,3 от мощности питающего трансформатора, а суммарная мощность электродвигательной должна быть соизмерима с мощностью трансформатора.

- Низковольтные (напряжением 380 В) электрические двигатели. Значительную часть таких двигателей составляют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, у которых особых проблем с самозапуском нет. Однако эти двигатели подключаются к сети магнитными пускателями, которые удерживаются во включенном состоянии электромагнитами, подключенными к силовой сети. При провалах напряжения (в период кратковременных нарушений электроснабжения) происходит массовое отключение электрических двигателей, что может служить причиной нарушений технологических процессов производств.

- Устройства управления элементами электротехнических систем (например, частотными преобразователями) и технологических процессов производства. Такие устройства основное питание получают от электрической сети, а допустимая длительность перерыва их электроснабжения составляет $t_{don} < 0,1$ с. Поэтому любой провал напряжения вызывает нарушение функционирования систем управления, которые приводят, в конечном итоге, к нарушению технологических процессов производств.

Эффективно решает проблемы кратковременных нарушений электроснабжения применение систем быстрого действия автоматического ввода резерва, позволяющих осуществить почти мгновенный переход на резервный источник питания. Основные элементы быстрого действия автоматического ввода резерва, определяющие его эффективность и быстрдействие, – это пусковое устройство и коммутационные аппараты, выполняющие переключения.

Предлагается следующая реализация микропроцессорного быстрого действия автоматического ввода резерва, показанная на рис.1, для схемы, состоящей из двух параллельно работающих трансформаторов на

секционированную систему шин, от которой питаются асинхронные двигатели [1].

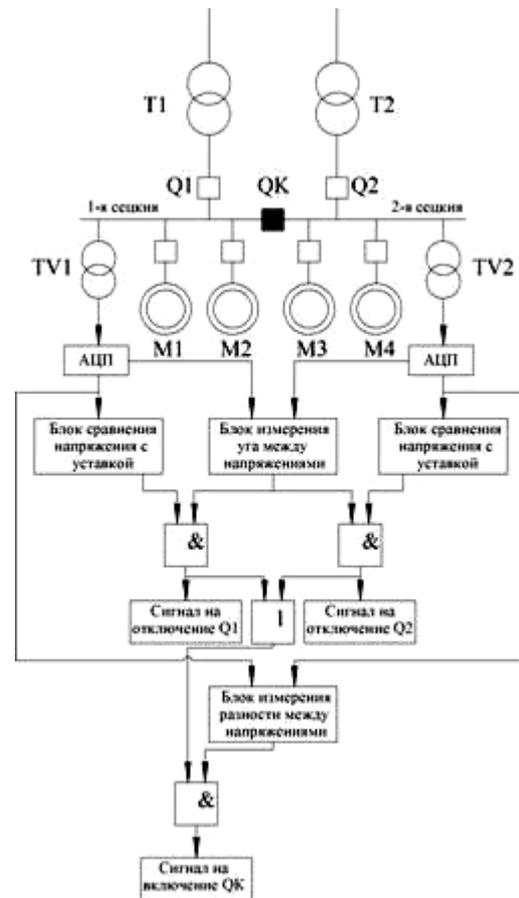


Рис. 1. Структурная схема реализации микропроцессорного устройства быстрого действия автоматического ввода резерва

В схему, представленную на рис. 1, входят:

- аналого-цифровые преобразователи;
- блоки сравнения напряжений с уставками;

- блок измерения угла между векторами напряжений первой и второй секций;
- блок измерения разности между напряжениями первой и второй секций;
- логические блоки «И» и «ИЛИ».

Работа аналого-цифровых преобразователей в данной схеме основана на представлении синусоиды в виде ступенчатого сигнала. Сигнал напряжения, полученного после обработки в аналого-цифровом преобразователе, представлен на рис. 2 [2].

Работа блока измерения угла между напряжениями заключается в измерении разности между ступенчатыми сигналами первой и второй секций и по длительности сигнала разности определения величины угла между

напряжениями обеих секций. Если величина угла между секциями становится равной 90° , то на выходе появляется сигнал «1», если величина угла менее 90° , то сигнал на выходе будет «0». Диаграммы работы этого блока

показаны на рис. 3. Работа блока измерения разности между напряжениями аналогична работе блока измерения угла между напряжениями [2].

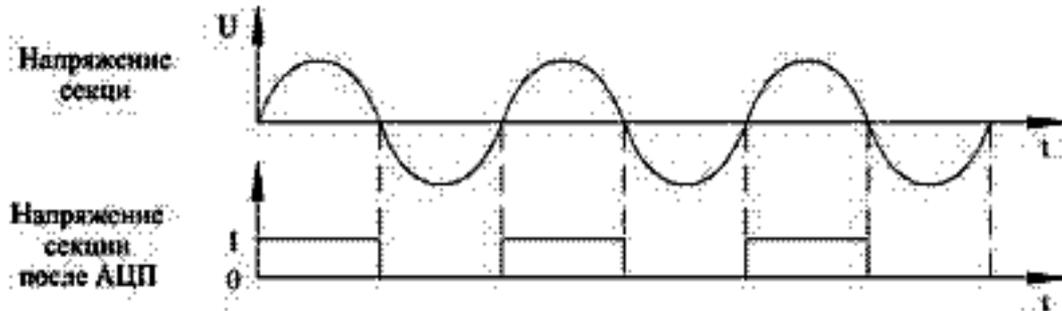


Рис. 2. Сигнал напряжения полученного после обработки в аналого-цифровом преобразователе (7 кадров, 15 с, 7 Кб)

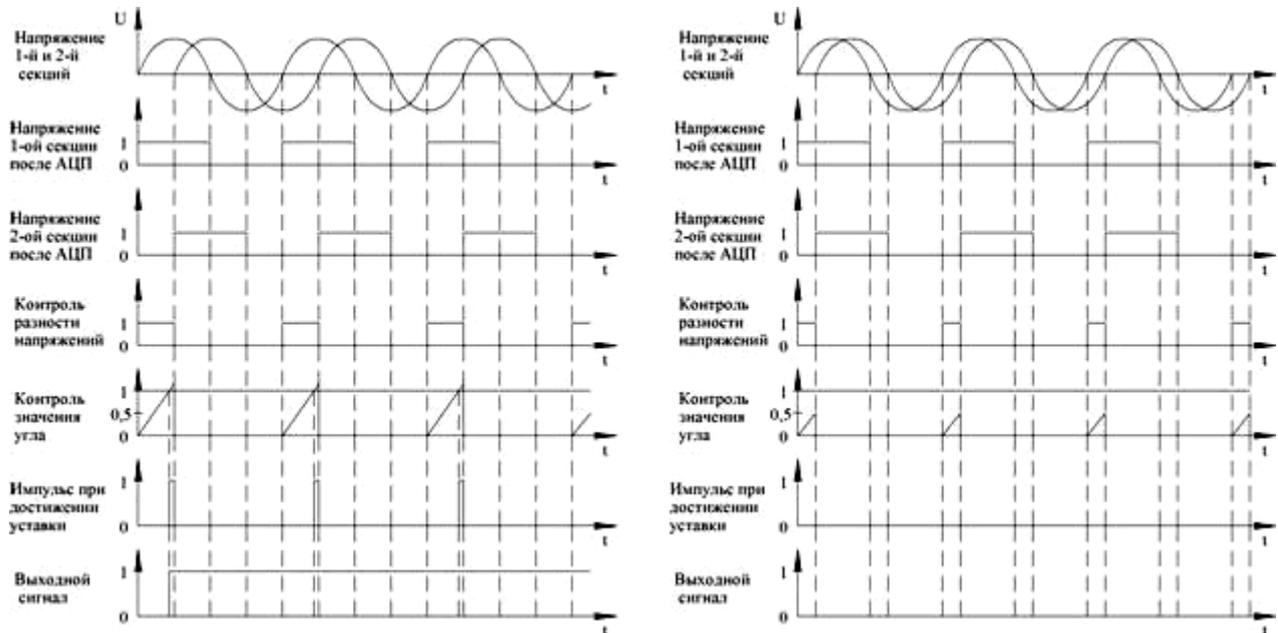


Рис. 3. Диаграммы работы блока измерения угла между напряжениями: а - при сдвиге между векторами на 90° ; б - при сдвиге между векторами на 45°

В нормальном режиме секции питаются от своих трансформаторов Т1 и Т2 и устройство быстродействующего автоматического ввода резерва не приходит в действие из-за сигнала «0» от блоков сравнения напряжения с заданной уставкой.

Работа устройства основана на следующем алгоритме. При потере питания на первой секции система векторов электродвижущих сил выбегающих двигателей начнёт вращаться относительно системы векторов напряжения второй секции и напряжение на первой секции начинает снижаться. При дос-

тижении углом между векторами напряжений двух секций значения, равного 90° , и при снижении напряжения первой секции ниже заданного уровня на выходе блоков сравнения напряжения с уставкой и измерения угла между напряжениями появляются сигналы «1». Эти сигналы подаются на вход логического блока «И», который дает сигнал на отключение выключателя первой секции Q1, если сигнал на его выходе равен «1». Одновременно с этим осуществляется контроль разности напряжения между двумя секциями и при достижении разности менее

$1,4U_{ном}$ на выходе блока измерения разности напряжения появится сигнал «1». Для правильной работы устройства предусмотрен логический блок «ИЛИ», который исключает ложное включение секционного выключателя QK при разнице между напряжениями более $1,4U_{ном}$. Сигналы от блока измерения разности напряжения и от логического блока «ИЛИ» подаются на логический блок «И», который дает сигнал на включение секционного выключателя QK при наличии сигнала «1» на его выходе.

В случае возникновения трёхфазных или однофазных коротких замыканий на отходящих линиях угол между векторами напряжений первой и второй секций будет меньше 90° и на выходе блока измерения угла между напряжениями будет сигнал «0», который не приводит к неправильной работе устройства. При возникновении двухфазных коротких замыканий на отходящих присоединениях напряжение на секции не снизится ниже уставки и на выходе блока сравнения напряжения с уставкой будет сигнал равный «0». Таким образом, контроль уровня напряжения на секциях и величины угла между векторами напряжений обеих секций позволяет исключить неправильную работу устройства при различных видах коротких замыканий на отходящих присоединениях. По указанным выше причинам устройство не будет срабатывать и при возникновении коротких замыканий на питающих присоединениях, которые должны отключаться быстродействующими защитами [3].

Таким образом, назначение рассмотренного устройства быстродействующего автоматического ввода резерва заключается в обеспечении неотключений любых потребителей электрической энергии промышленного предприятия путем их переключения на резервный источник питания за время не более 40 мс при кратковременных нарушениях электроснабжения на электрических подстанциях, распределительных устройствах, главных понизительных подстанциях с вакуумными выключателями. Область применения - распределительные устройства (подстанции) с независимыми источниками электропитания, имеющие нагрузку, высокочувствительную к кратковременным нарушениям электроснабжения:

- напряжением 0,38 кВ,
- напряжением 6 и 10 кВ,

Внедрение быстродействующих микропроцессорных резервных источников питания позволяет достичь следующих целей:

- обеспечить надежное и непрерывное электроснабжение потребителей за счет быстродействующего ввода (не более 40 мс) резервного питания в случае аварийных и ненормальных режимов в питающих электрических сетях;

- повысить остаточные напряжения на шинах ТП 6(10)/0,4 кВ и существенно уменьшить отпадание магнитных пускателей, контакторов в цепи питания низковольтных электродвигателей, сбоев компьютерных систем управления, отключений преобразователей частоты и напряжения;

- обеспечить успешный самозапуск всех электродвигателей после восстановления электроснабжения потребителей;

- выполнить осциллографирование параметров режима (заданный период до нарушения электроснабжения, весь процесс кратковременного нарушения электроснабжения и период после переключения на резервный источник) в энергонезависимой памяти с общей длительностью записи до нескольких десятков часов (зависит от объема установленной flash-памяти).

На практике, на объектах АО «КазТрансОйл» (г. Атырау, Республика Казахстан) и АО «Узеньмунайгаз» (г. Жанаозень, Республика Казахстан) для реализации быстродействующего автоматического ввода резерва было применено пусковое устройство типа БАВР 072 НПК ПРОМИР. Пусковое устройство быстродействующего резервного источника питания использует уникальный алгоритм, защищенный патентом Российской Федерации [4]. Коммутационный аппарат включает сверхбыстродействующий вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-31,5/2000Q совместно с блоком управления СМ_1501_01(4), который входит в состав нового поколения блоков управления вакуумными выключателями, обеспечивающих высокое быстродействие выполнения операций включения и отключения выключателя. Время распознавания им команды управления составляет 4 мс. Собственное время включения вакуумного выключателя состав-

ляет не более 20 мс, а собственное время отключения - не более 8 мс. Более подробные технические характеристики устройств, вхо-

дящих в состав системы быстродействующего автоматического ввода резерва приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики устройств, входящих в состав системы быстродействующего автоматического ввода резерва

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение распределительного устройства, кВ	6(10)
Номинальный ток вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-31,5/2000_Q, А	2000
Номинальный ток отключения вводных вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-31,5/2000_Q, кА	31,5
Коммутационный ресурс вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-31,5/2000_Q, циклов	30 000
Время включения вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-31,5/2000_Q, мс	20
Время отключения вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-31,5/2000_Q, мс	8
Время распознавания команды блоком управления СМ_1501_01(4), мс	4
Время срабатывания реле управления быстродействующего автоматического ввода резерва, мс	8
Полное время переключения с основного ввода на резервный, мс, не более	50

Для указанного быстродействующего автоматического ввода резерва, построенного на цифровых системах обработки входных величин, время реакции на несимметричные внешние короткие замыкания сократилось до 6...15 мс.

После проведенного монтажа шкафа управления устройства быстродействующего автоматического ввода резерва и установки вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-31,5/2000Q на выкатные элементы ячеек 6(10) кВ были проведены испытания и моделирование режимов короткого замыкания и пропадания питающего напряжения на одной из секций при помощи программного комплекса PSCAD и программно-технических измерительных комплексов РЕТОМ-61 и РЕТОМ-51.

В результате испытаний было подтверждено, что собственное время включения выключателя не превышает 22 мс, а собственное время отключения – не более 8 мс. При этом собственное время реакции микропроцессорного пускового устройства быстродействующего автоматического ввода ре-

зерва изменялось в диапазоне от 11 до 15 мс, а полное время переключения на резервный источник питания – в диапазоне от 34 до 38 мс в зависимости от вида имитируемого режима работы первичной сети.

Применение комплекса быстродействующего автоматического ввода резерва в комплексном распределительном устройстве КМ-1КФ на головной нефтеперекачивающей станции «Каламкас» АО «КазТрансОйл» магистрального нефтепровода «Каламкас-Каражанбас-Актау» (г. Атырау, Республика Казахстан) позволило произвести переключения на резервный источник питания за 34 мс, что находится в зоне нечувствительности оборудования к провалам питающего напряжения. В данном случае магистральные насосные агрегаты мощностью 3500 КВА подключены через частотно-регулируемый привод ПЧТЭ-3500. Отключения отсутствовали.

Применение комплекса быстродействующего автоматического ввода резерва в комплексном распределительном устройстве К-59 на блочно-кустовой насосной станции №4 АО «Узеньмунайгаз» (г. Жанаозень, Рес-

публика Казахстан) позволило произвести переключения на резервный источник питания за 36 мс, что находится в зоне нечувствительности оборудования к провалам питающего напряжения. В данном случае магистральные насосные агрегаты мощностью 2600...3500 кВА подключены через устройство плавного пуска УППВЭ (производство г.Чебоксары). Отключения отсутствовали.

Выводы. Внедрение комплекса быстродействующего автоматического ввода резерва позволило:

- обеспечить надежное и непрерывное электроснабжение потребителей в случае аварийных и ненормальных режимов в питающих и распределительных электрических сетях;

- повысить остаточные напряжения на шинах ТП 6(10)/0,4кВ (на уровне выше $0,9U_{ном}$), минимизировать отпадание магнитных пускателей и контакторов в цепи питания низковольтных электродвигателей, предотвратить сбои компьютерных систем управления;

- обеспечить успешный самозапуск всех электродвигателей после восстановления электроснабжения;

- предотвратить дорогостоящие перерывы в работе технологического оборудования;

- повысить ресурс электродвигателей, насосов, трансформаторов ввиду снижения токов самозапуска в 2...3 раза и отсутствия необходимости повторных пусков агрегатов;

- снизить риски экологических катастроф при нарушениях электроснабжения в энергосистеме;

- повысить уровень автоматизации производства, увеличить производительность.

Следует также отметить, что по статистике комплекс быстродействующего автоматического ввода резерва окупается в среднем за 1 год, что делает это решение крайне привлекательным.

Список литературы

1. АО «ГК «Таврида Электрик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tavrida.ru>.

2. ООО «НПК «Промир» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.npkpromir.com>.

3. Волкоморов, В.В. Релейная защита и автоматика КРУ «Вертикаль» / В.В. Волкоморов // Электрические сети и системы. – 2009. – №6. – С. 51-53.

4. Патент 2398338 Российская Федерация Н02J 9/06. Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей (варианты) и устройство для его осуществления / В.А. Жуков, В.М. Пупин. – Заявл. 30.04.2009, № 2009130901/09. Опубл. 27.08.2010. – Бюл. № 24.

Об авторе

Вертугин Александр Алексеевич - инженер-энергетик, заместитель директора по электроснабжению ТОО Алматинское пусконаладочное управление АООТ «Трест Средазэнергомонтаж», etaliya@mail.ru.

INCREASING THE RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES FOR THE ACCOUNT OF APPLICATION OF A QUICK-RUNNING REDUNDANT POWER SUPPLY

Vertugin A.A.

LLP Almaty start-up and adjustment department JSC "Trest Sredazenergomontazh", Almaty, Kazakhstan

One of the main tasks to be performed when organizing the operation of the energy system is to ensure high-quality and uninterrupted power supply to consumers. Dips, interruptions and voltage surges of the electrical network are the most common causes of malfunctions in industrial plants and damage to household equipment, causing significant economic damage to both consumers and electricity suppliers.

Keywords: *power supply, voltage, electric network, reserve power supply, analog-to-digital converter.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-196-202

References

1. AO «GK «Tavrida Elektrik». Available at: <http://www.tavrida.ru/> (in Russian)
2. ООО «NPK «Promir». Available at: <http://www.npkpromir.com> (in Russian)
3. Volkomorov V.V. Relay protection and automation KRU "Vertical". *Elektricheskie seti i sistemy*, 2009, No.6, pp. 51-53. (in Russian)
4. Patent RU 2398338. *Sposob avtomaticheskogo vklyucheniya rezervnogo ehlektropitaniya potrebitelej (variantih) i ustroy-*

jstvo dlya ego osuthestvleniya [Method of automatic switching on backup power supply to consumers (options) and a device for its implementation]. Zhukov V.A., Pupin V.M. Declared 30.04.2009. Published 27.08.2010.

Author' information

Alexander A. Vertugin - power engineer, deputy director for electricity supply at LLP Almaty start-and-adjustment department of JSC "Trest Sredazenergomontazh", *etaliya@mail.ru*.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



УДК 621.86

ОЦЕНКА РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ СТРЕЛОВОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Лагерев А.В.¹, Кончиц С.В.², Блейшмидт Л.И.³

¹ – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

² – Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

³ – ООО «Промбезопасность», Брянск, Россия

Представлены результаты статистического анализа выявленных при экспертном диагностировании дефектов самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа, отработавших нормативный срок эксплуатации. Наибольшее число дефектов связано с разрушением и износом элементов конструкций, возникновением усталостных трещин и нарушением условий эксплуатации оборудования. Наибольшее число дефектов встречается в гидравлической системе кранов, элементах канатно-блочной системы, реже – в металлоконструкции. Для проведения риск-анализа самоходных стреловых кранов в условиях недостаточной информации предложена методика экспертных оценок. Она позволяет оценить влияние потенциально возможных дефектов самоходных стреловых кранов на величину экономического ущерба самого крана и перемещаемого груза и на величину травматического воздействия на человека.

Ключевые слова: безопасность, самоходный стреловой кран, дефект, экспертная оценка, анализ риска, диагностирование.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220

В настоящее время самоходные грузоподъемные краны стрелового типа различного конструктивного исполнения отечественного и зарубежного производства нашли самое широкое применение при выполнении большой номенклатуры погрузочно-разгрузочных, перегрузочных, транспортных, монтажно-сборочных и складских работ [1-3]. Это связано с тем, что стреловые самоходные краны являются универсальными грузоподъемными машинами и обладают автономностью привода, большой грузоподъемностью (до 250 т), способностью передвигаться вместе с транспортируемым грузом, высокими маневренностью и мобильностью, широким диапазоном технических характеристик, легкостью перебазирования с одного объекта на другой, возможностью работы с различными типами сменного рабочего оборудования [4].

В то же время, стреловые самоходные краны являются объектами повышенной производственной опасности и их эксплуатация сопряжена с возможностью возникновения аварийных ситуаций как с негативными технико-экономическими, так и социальными последствиями. Поэтому в нормативно-распорядительной документации Ростехнадзора России содержатся требования о необходимости выполнения риск-анализа при проведении работ по экспертному диагностированию технического состояния грузоподъем-

ных кранов, исчерпавших нормативный срок эксплуатации, с учетом количества и наименования выявленных дефектов.

Решению этой задачи посвящен ряд исследований [5-11], выполненных преимущественно в течение нескольких последних лет, однако следует признать, что данная работа находится в начальной стадии и требуется как целенаправленное накопление эксплуатационной информации об особенностях формирования и развития дефектов в несущих металлоконструкциях, механизмах и системах кранов, так и разработка адекватных методов проведения риск-анализа кранов, учитывающих индивидуальные особенности их конструктивного исполнения, режимов и условий эксплуатации, тяжести последствий возможных аварийных ситуаций.

В рамках представленного в данной статье исследования были рассмотрены самоходные стреловые краны нескольких конструктивных типов производства России, Беларуси и ГДР с грузоподъемностью в пределах 10...25 т:

- на колесном шасси с грузоподъемной стрелой решетчатого типа (КС-3562Б, КС-4561А);

- на колесном шасси с грузоподъемной стрелой коробчатого типа (КС-3574, КС-3575, КС-3577, КС-4572, КС-35715-1, СКАТ-25);

- на гусеничном шасси (РДК-25-1).

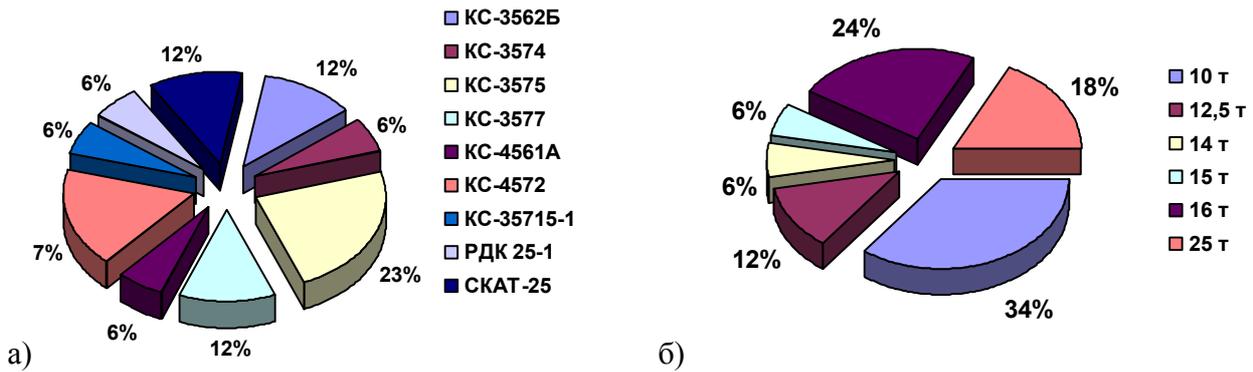


Рис. 1. Распределение обследованных стреловых самоходных кранов: а - по моделям; б – по номинальной грузоподъемности

Распределения числа исследованных кранов по моделям и по номинальной грузоподъемности приведено на рис. 1. Наибольшая доля (35 % - приблизительно одна треть от общего числа) приходится на краны грузоподъемностью 10 т, почти одна четверть (23 %) – на краны грузоподъемностью 16 т, остальные модели кранов имеют грузоподъемность 12,5; 14; 15 и 25 т.

На рис. 2 приведены распределения числа исследованных кранов по паспортной и фактической группам эксплуатации. Основная доля кранов (71 %, т.е. свыше двух тре-

тей от общего числа) относятся к паспортной группе А3 и лишь 23 % (одна четверть) – к паспортной группе А1 (рис. 2, а). Однако распределение числа кранов по фактическим группам (рис. 2, б) заметно отличается от рассмотренного распределения: чуть более половины исследованных кранов (53 %) характеризуются фактической группой А1, а остальные (47 %) - группой А2. Поэтому можно сделать вывод, что исследованные краны эксплуатировались в весьма щадящем режиме.

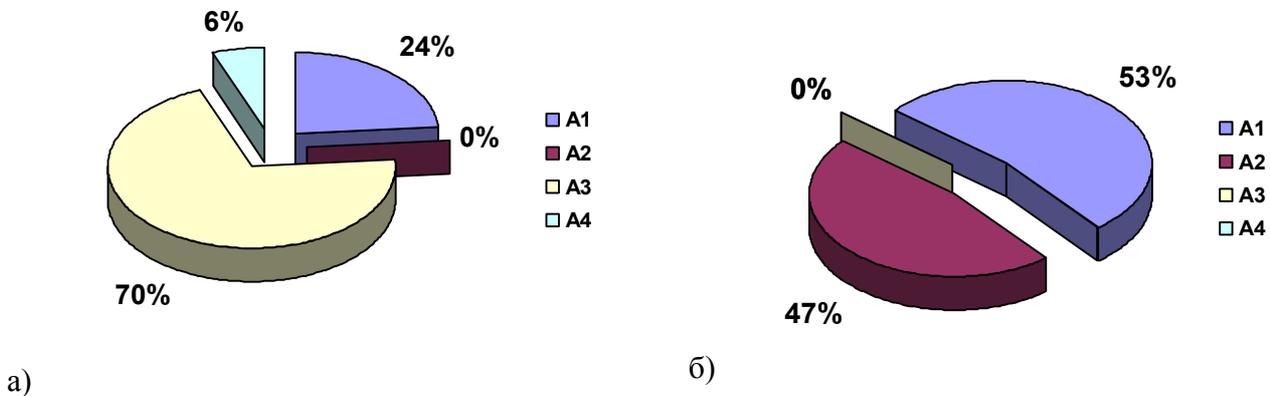


Рис. 2. Распределение обследованных стреловых самоходных кранов по группам эксплуатации: а – паспортной; б – фактической

На рис. 3 представлено распределение кранов по годам выпуска. На момент проведения исследования они проработали от 18 до 35 лет, причем две трети из них (63 %) - не менее 25 лет.

Анализ актов диагностического обследования и дефектных ведомостей исследованных кранов позволил сформировать общий перечень дефектов и классифицировать их по двум признакам:

- причине возникновения;

- месту возникновения (металлоконструкции, механизму или системе).

Распределение выявленных дефектов по указанным признакам приведено на рис. 4. Анализ диаграмм показывает, что наиболее опасные дефекты, обусловленные разрушением конструктивных элементов или наличием в них усталостных трещин (разрушение и трещины в сварных швах грузоподъемных стрел, опорно-поворотных устройств и проушин крепления ауригеров, разрыв прово-

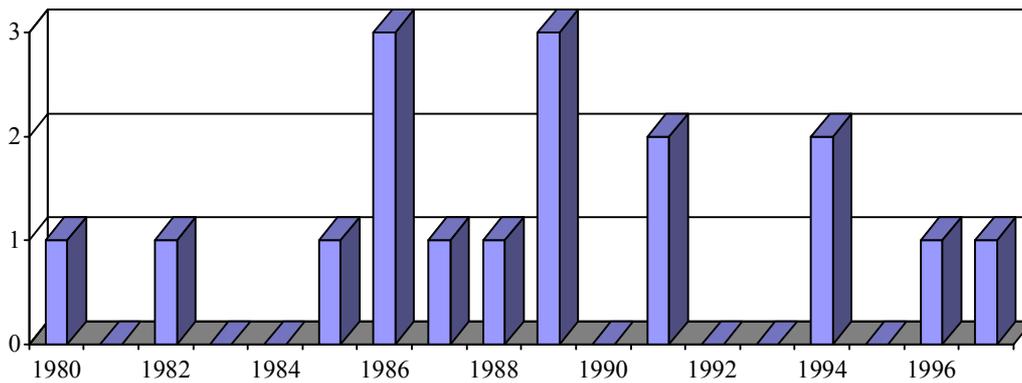
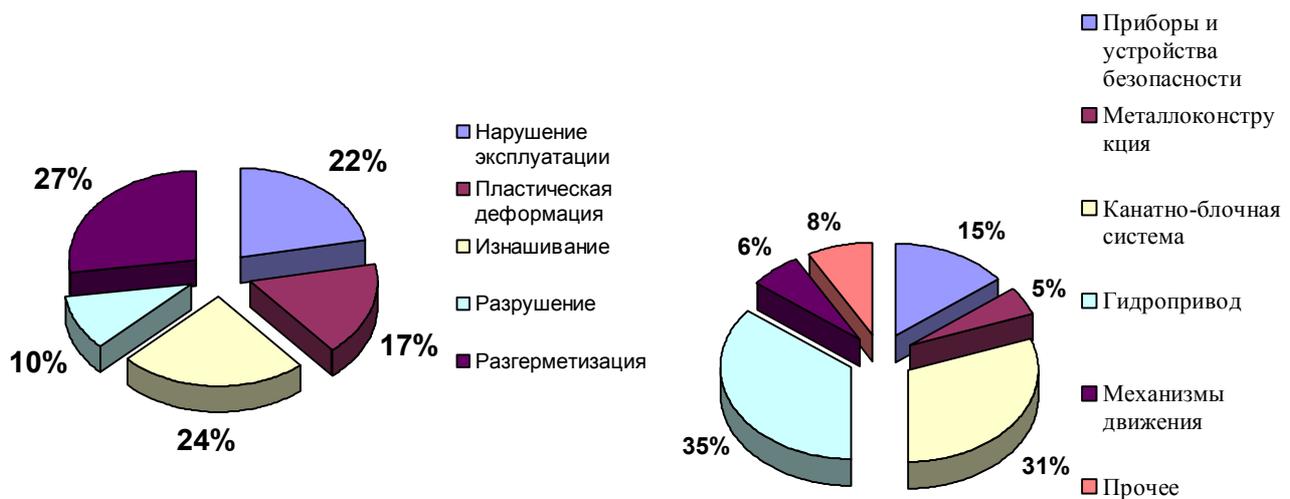


Рис. 3. Распределение числа обследованных стреловых самоходных кранов по годам выпуска

лок канатов и гидролиний и др.), составляют лишь 10 % их числа. Существенная доля приходится на дефекты, обусловленные изнашиванием конструктивных элементов (износ каната, опорных роликов, подшипниковых узлов, элементов канатно-блочной системы, тормозов и др.) - 24 % (т.е. примерно четверть от всего числа дефектов). Чуть меньше приходится на дефекты, обусловленные нарушением требований эксплуатации кранов (разрушение лакокрасочного покрытия, негерметичность гидравлических соединений, недостаток смазки, нарушение узлов крепления каната, отсутствие ограждения и защитных кожухов, неработоспособность устройств безопасности и др.) - 22 %, и на дефекты, обусловленные проявлением пластической деформации элементов металлоконструкции (чрезмерная деформация

элементов и секций стрелы, контактная деформация опорных роликов и крюков и др.) - 17 %. Наибольшая доля (27 %) приходится на мало опасные дефекты, связанные с разгерметизацией уплотнительных поверхностей – утечками рабочей жидкости из гидроцилиндров или гидромоторов, течью в местах соединения трубопроводов или рукавов.

По локализации больше всего дефектов связаны с гидросистемой (35 % от общего числа – чуть более одной трети) и канатно-блочной системой, включая крюковую подвеску (31 % - чуть менее одной трети всех дефектов). Кроме того, заметное число дефектов связано с приборами и системами безопасности кранов (15 %). На дефекты несущей металлоконструкции и механизмов движения приходится по 5...6 %.



а)

б)

Рис. 4. Распределение числа выявленных дефектов: а – по причине возникновения; б – по месту возникновения

Приведенные статистические результаты анализа исследованной группы стреловых самоходных кранов, естественно, не могут претендовать на возможность их обобщения на более широкую современную номенклатуру указанного типа кранов вследствие ограниченности и не репрезентативности исходной информации по типам кранов, срокам их эксплуатации, режимам и особенностям условий работы, качеству технического обслуживания и ремонта и т.д. Известные в настоящее время аналогичные статистические данные, например, представленные в [12, 13], также могут быть использованы лишь для ограниченного круга грузоподъемных машин. Поэтому пока нельзя говорить о возможности проведения полноценного и адекватного риск-анализа конкретных кранов в конкретных условиях эксплуатации, в том числе, стреловых кранов на основе общепризнанных расчетных аналитических методик.

В условиях недостаточной исходной информации и отсутствия устоявшихся методик расчета достаточно эффективным для решения широкого круга практических задач оказывается подход на основе экспертных оценок [14]. Метод экспертных оценок был использован авторами данной статьи для проведения риск-анализа стреловых самоходных кранов.

Экспертная группа была сформирована из специалистов в области проектирования и эксплуатации грузоподъемных кранов в составе 10 человек, имеющих многолетний опыт научной или практической работы и базовое или профильное образование. В том числе, 7 экспертов имеют ученое звание по профильной научной специальности доктора или кандидата технических наук, 6 – аттестованы в системе Ростехнадзора России как эксперты в сфере промышленной безопасности подъемных сооружений.

Для получения первичной информации от экспертов был разработан опросный лист, включающий 5 вопросов и бланк для ответов, в котором были перечислены все потенциально возможные дефекты, встречающиеся при проведении экспертного диагностирования стреловых самоходных кранов с превышенным сроком эксплуатации.

Вопросы были сформулированы следующим образом:

Вопрос 1. По Вашему мнению, какие из перечисленных ниже возможных дефектов автомобильных стреловых кранов могут привести к:

А – экономическому ущербу от повреждения самого крана;

Б – травматическому воздействию на человека;

В – экономическому ущербу от повреждения транспортируемого груза.

При ответе для каждого дефекта в графах А, Б, В следует поставить «+», если дефект может привести к соответствующим последствиям, или «-», если привести не может.

Вопрос 2. Оцените в баллах от 1 до 5 предполагаемое влияние соответствующего дефекта крана на стоимость его ремонта после аварии крана, вызванной данным дефектом:

1 балл – стоимость ремонта менее 1% первоначальной стоимости крана;

2 балла – св. 1 до 10%;

3 балла – св. 10 до 50%;

4 балла – св. 50 до 80%;

5 баллов – свыше 80% или требуется полная замена крана.

Вопрос 3. Оцените в баллах от 1 до 5 предполагаемое влияние соответствующего дефекта крана на величину повреждения перемещаемого груза:

1 балл – повреждение менее 1% стоимости груза;

2 балла – св. 1 до 10%;

3 балла – св. 10 до 50%;

4 балла – св. 50 до 80%;

5 баллов – свыше 80% или полное повреждение груза.

Вопрос 4. Оцените в баллах от 1 до 5 величину предполагаемого экономического ущерба, связанного с возникновением при эксплуатации крана соответствующего дефекта:

1 балл – менее 20 тыс. руб.;

2 балла – св. 20 до 50 тыс. руб.;

3 балла – св. 50 до 250 тыс. руб.;

4 балла – св. 250 до 500 тыс. руб.;

5 баллов – св. 500 тыс. руб.

Вопрос 5. Оцените в баллах от 1 до 5 предполагаемое влияние последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих

краном или находящихся в непосредственной близости от него:

- 1 балл – не влияет;
- 2 балла – травмы легкой степени тяжести;
- 3 балла – травмы средней степени тяжести;
- 4 балла – травмы тяжелой степени тяжести;
- 5 баллов – летальный исход.

Принятая форма бланка для ответов экспертов приведена в табл. 1. Здесь же проставлены:

- число экспертов, давших утвердительный ответ относительно реализации последствий А, Б и В возникновения дефектов согласно вопроса 1 (графа В1, подграфы А, Б, В);

- средние значения \bar{x}_{ij} полученных ответов экспертов на вопросы 2...5 (графы В2...В5), которые вычислялись в соответствии с зависимостью:

$$\bar{x}_{ij} = 0,1 \sum_{m=1}^{m=10} x_{ij,m}, \quad (1)$$

где $x_{ij,m}$ - балл, поставленный в опросном листе m -м экспертом при оценке влияния j -го дефекта из i -й группы ($i=1,2,3,4$) на соответствующий вопрос В2, В3, В4 или В5.

Таблица 1

Средние значения ответов экспертов на вопросы опросного листа

№ п/п	Возможные дефекты	В1			В2	В3	В4	В5
		А	Б	В				
1. Несущие металлоконструкции								
1	Недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы	10	9	10	3,6	4,5	3,7	4,3
2	Недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы	10	9	10	4,1	4,0	3,5	3,9
3	Недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (раскосов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов)	10	7	8	2,9	3,8	2,7	3,2
4	Недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы	10	6	6	3,2	2,9	2,6	3,0
5	Наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы	10	8	10	2,8	3,8	2,5	3,8
6	Наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции рамы	10	7	7	3,4	2,9	2,5	3,4
7	Наличие элементов металлоконструкции стрелы с усталостным или хрупким разрушением	10	8	10	3,3	4,0	2,8	3,8
8	Наличие элементов металлоконструкции рамы с усталостным или хрупким разрушением	10	7	8	3,8	3,3	2,8	3,7
9	Повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы	9	6	8	2,7	2,8	2,4	3,2
10	Повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы	9	4	4	3,2	2,4	2,4	3,3
11	Недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой	10	8	9	3,1	3,7	2,6	3,7
12	Обрыв элементов болтовых соединений	10	6	9	2,5	3,4	2,1	3,6
13	Нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций	6	0	0	1,3	1,0	1,2	1,3
2. Узлы и детали механизмов движения								
1	Недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства	10	5	6	2,2	2,3	2,3	2,2
2	Обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства	10	9	9	2,3	2,9	2,3	3,3

Продолжение табл. 1

№ п/п	Возможные дефекты	В1			В2	В3	В4	В5
		А	Б	В				
3	Недопустимое повреждение грузового каната	7	9	10	2,0	4,6	2,1	4,4
4	Наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка	6	9	10	1,5	4,3	1,5	4,2
5	Недопустимое увеличение ширины зева крюка	5	8	9	1,4	3,9	1,5	3,6
6	Повышенное сопротивление вращению крюка	3	2	6	1,3	1,9	1,3	1,9
7	Отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески	3	6	9	1,3	3,3	1,4	3,5
8	Отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески	4	6	8	1,4	3,6	1,5	3,1
9	Наличие трещин и изломов реборд канатных блоков	8	4	9	1,8	3,2	1,7	3,3
10	Недопустимый износ ручьев канатных блоков	5	3	8	1,8	2,7	1,6	2,9
11	Наличие трещин и трещиноподобных дефектов барабанов	8	4	8	2,1	2,8	2,1	2,6
12	Наличие среза или повышенного износа гребней или ручьев, стенки барабана	7	4	6	2,2	2,7	2,2	2,6
13	Неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента	6	9	10	1,9	3,5	1,6	4,0
14	Наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок	7	9	10	1,8	3,2	1,7	4,2
15	Недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок	7	8	10	2,0	3,2	1,7	3,3
16	Наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов	5	9	10	1,7	3,1	1,5	3,6
17	Наличие трещин, облом лап и фланцев корпусов редукторов и подшипниковых узлов	7	3	3	1,9	2,2	1,9	2,3
18	Недостаточное количество, загрязненность смазочного материала в редукторах и подшипниковых узлах	7	0	0	1,4	1,1	1,4	1,1
19	Недопустимые радиальные и осевые люфты, износ отверстий подшипников	7	0	1	1,6	1,3	1,4	1,2
20	Наличие разрушения, износа, трещин, цветов побежалости дорожек качения и элементов подшипников	8	0	1	1,4	1,3	1,4	1,3
21	Наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота	9	3	4	2,2	2,3	2,3	2,3
22	Негерметичность гидравлических систем, повышенные утечки смазочного материала или рабочей жидкости	8	4	4	1,8	2,4	1,6	2,3
23	Неработоспособность аутригера	10	10	10	3,3	3,9	2,3	4,3
3. Электрооборудование								
1	Обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов	7	10	1	1,7	1,1	1,7	4,5
2	Неработоспособность автоматических выключателей и пакетных переключателей панелей управления	8	7	6	1,6	2,0	1,8	3,0
3	Повреждение, отказ контрольно-измерительных приборов пульта управления	8	5	6	2,2	2,5	2,1	2,5
4	Разрушение или недостаточная величина сопротивления изоляции устройств и агрегатов	6	8	1	1,5	1,4	1,5	2,9

Окончание табл. 1

№ п/п	Возможные дефекты	В1			В2	В3	В4	В5
		А	Б	В				
5	Наличие трещин, облом лап и фланцев корпусов электродвигателей	8	4	2	1,8	1,6	1,9	2,2
6	Повреждение клеммных коробок электродвигателей	8	2	0	1,3	1,1	1,4	1,6
7	Недопустимый износ или разрушение токосъемных щеток электродвигателей	7	0	1	1,4	1,4	1,4	1,1
4. Приборы безопасности								
1	Отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка	10	8	9	2,4	4,0	2,0	3,5
2	Отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности	10	10	9	2,8	4,4	2,1	4,7
3	Отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения	9	9	5	2,1	2,6	1,8	4,6
4	Отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена	10	10	10	2,4	4,0	2,2	4,1
5	Отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана	9	9	10	2,4	3,8	2,1	3,7

Для оценки адекватности результатов метода экспертных оценок важное значение имеет степень совпадения мнений отдельных экспертов между собой. Она может быть выражена числом совпадающих ответов или величиной интервала разброса количественных характеристик ответов.

Первый подход, связанный с анализом количества совпадающих ответов, удобно использовать для вопроса 1. При этом была разработана шкала эквивалентности числа ответов и степени совпадения мнения экспертов о возможности влияния дефектов на реализацию последствий А, Б и В (табл. 2).

Таблица 2

Шкала эквивалентности числа совпадающих ответов и степени совпадения мнения экспертов

Число ответов	Степень совпадения мнения экспертов
0	Полное совпадение мнений экспертов об отсутствии влияния дефекта
1	Практически полное совпадение мнений экспертов об отсутствии влияния дефекта
2, 3	Недостаточное совпадение мнений экспертов об отсутствии влияния дефекта
4-6	Несовпадение мнений экспертов об отсутствии или наличии влияния дефекта
7, 8	Недостаточное совпадение мнений экспертов о наличии влияния дефекта
9	Практически полное совпадение мнений экспертов о наличии влияния дефекта
10	Полное совпадение мнений экспертов о наличии влияния дефекта

Анализ данных табл. 1 показывает, что полное или практически полное совпадение мнений экспертов относительно влияния дефектов на величину экономического ущерба от повреждения собственно крана и транспортируемого груза, а также величину травматического воздействия на человека получено для следующих дефектов:

экономический ущерб от повреждения собственно крана (дефект влияет):

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;
- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;
- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (рас-

косов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов);

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;

- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы;

- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;

- наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота;

- неработоспособность аутригера;

- отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка;

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана;

экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза (дефект влияет):

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;

- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы;

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой;

- обрыв элементов болтовых соединений;

- обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;

- недопустимое повреждение грузового каната;

- недопустимое увеличение ширины зева крюка;

- отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- наличие трещин и изломов реборд канатных блоков;

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;

- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок;

- недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок;

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;

- неработоспособность аутригера;

- отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка;

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана;

экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза (дефект не влияет):

- нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций;

- недостаточное количество, загрязненность смазочного материала в редукторах и подшипниковых узлах;

- недопустимые радиальные и осевые люфты, износ отверстий подшипников;

- наличие разрушения, износа, трещин, цветов побегалости дорожек качения и элементов подшипников;

- обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов;

- разрушение или недостаточная величина сопротивления изоляции устройств и агрегатов;

- повреждение клеммных коробок электродвигателей;

- недопустимый износ или разрушение токосъемных щеток электродвигателей;

травматическое воздействие на человека (дефект влияет):

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;

- обрыв элементов болтовых соединений;

- обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;

- недопустимое повреждение грузового каната;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;

- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок;

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;

- неработоспособность аутригера;

- обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов;

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана;

травматическое воздействие на человека (дефект не влияет):

- нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций;

- недостаточное количество, загрязненность смазочного материала в редукторах и подшипниковых узлах;

- недопустимые радиальные и осевые люфты, износ отверстий подшипников;

- наличие разрушения, износа, трещин, цветов побежалости дорожек качения и элементов подшипников;

- недопустимый износ или разрушение токосъемных щеток электродвигателей.

Представляет также интерес перечень потенциально возможных дефектов самоходных стреловых кранов, относительно которых эксперты не пришли ни к какому согла-

сованному выводу о влиянии или отсутствии влияния на экономический ущерб собственно крану и транспортируемому грузу и на травматическое воздействие на человека. Результаты оказались следующие:

экономический ущерб от повреждения собственно крана:

- нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- недопустимое увеличение ширины зева крюка;

- отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески;

- недопустимый износ ручьев канатных блоков;

- наличие трещин и трещиноподобных дефектов барабанов;

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;

- разрушение или недостаточная величина сопротивления изоляции устройств и агрегатов;

экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза:

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- повышенное сопротивление вращению крюка;

- наличие среза или повышенного износа гребней или ручьев, стенки барабана;

- наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота;

- негерметичность гидравлических систем, повышенные утечки смазочного материала или рабочей жидкости;

- неработоспособность автоматических выключателей и пакетных переключателей панелей управления;

- повреждение, отказ контрольно-измерительных приборов пульта управления;
- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;

травматическое воздействие на человека:

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- обрыв элементов болтовых соединений;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески;

- отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески;

- наличие трещин и изломов реборд канатных блоков;

- наличие среза или повышенного износа гребней или ручьев, стенки барабана;

- негерметичность гидравлических систем, повышенные утечки смазочного материала или рабочей жидкости;

- повреждение, отказ контрольно-измерительных приборов пульта управления;

- наличие трещин, облом лап и фланцев корпусов электродвигателей.

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 2 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени влияния соответствующего дефекта крана на стоимость ремонта крана после аварии, вызванной данным дефектом. Результаты приведены на рис. 5, причем стоимость ремонта представлена как относительная величина, т.е. выражена в процентах от общей стоимости самого крана. Это сделано с той целью, чтобы полученные результаты не были привязаны к переменной во времени стоимости крана. Перечень дефектов на рис. 5 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1.

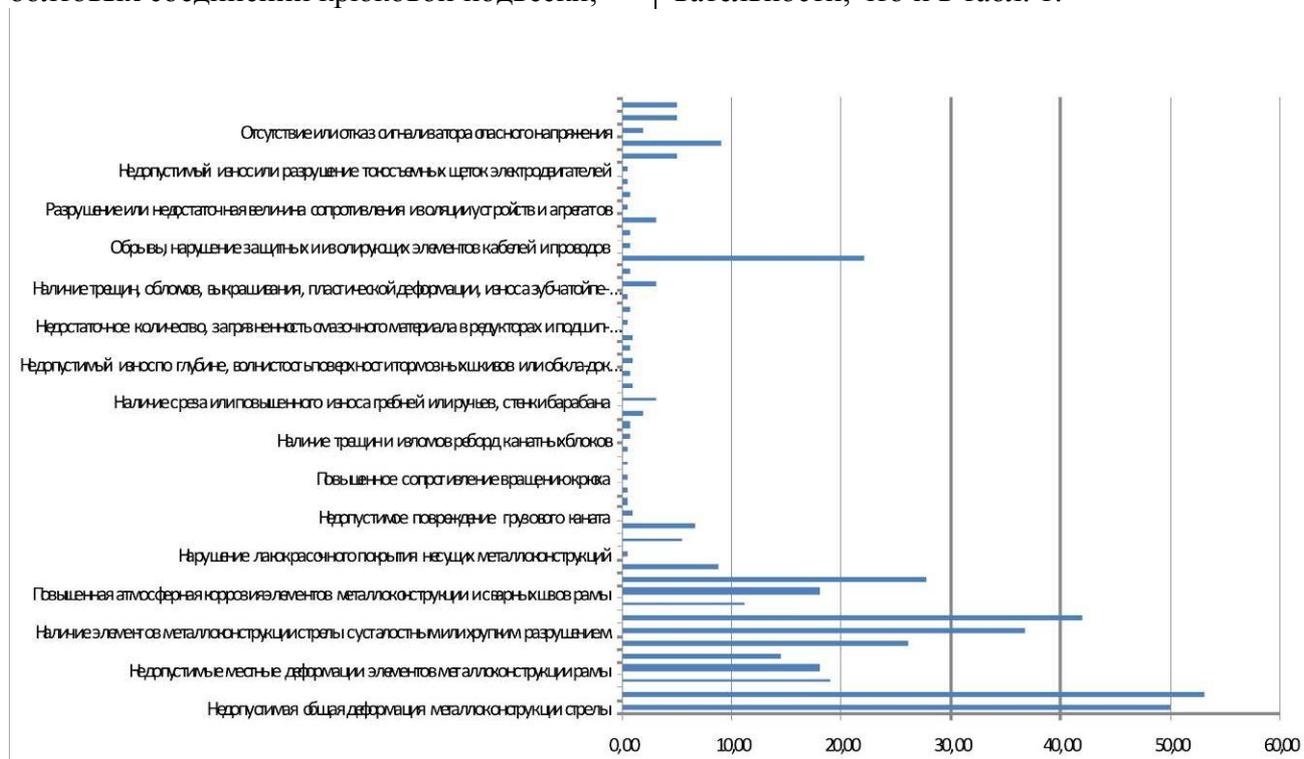


Рис. 5. Результаты средневзвешенной оценки экспертов относительной стоимости ремонта крана после аварии, вызванной соответствующим дефектом (в % от общей стоимости крана)

Осредненная оценка стоимости ремонта была рассчитана как

$$\bar{y}_{ij}^{(k)} = 0,1 \sum_{m=1}^{m=10} y_{ij,m}^{(k)}, \quad (2)$$

где $y_{ij,m}^{(k)}$ - среднее значение количественной оценки поставленного m -м экспертом балла $x_{ij,m}$ при ответе на k -й вопрос опросного листа ($k=2, 3, 4$).

Согласованное мнение экспертов о степени влияния соответствующего дефекта крана на стоимость ремонта крана после аварии, вызванной данным дефектом, показывает, что наиболее экономически затратными ($\bar{y}_{ij}^{(2)} \geq 20$ % общей стоимости крана) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов (расположены в порядке убывания значимости):

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 53$ %);
- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 50$ %);

- наличие элементов металлоконструкции рамы с усталостным или хрупким разрушением ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 42$ %);

- наличие элементов металлоконструкции стрелы с усталостным или хрупким разрушением ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 37$ %);

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 28$ %);

- наличие трещин, непроваров и других дефектов сварных швов металлоконструкции рамы ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 26$ %);

- неработоспособность аутригера ($\bar{y}_{ij}^{(2)} = 22$ %).

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 3 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени влияния соответствующего дефекта крана на величину повреждения перемещаемого груза, вызванного соответствующим дефектом. Результаты приведены на рис. 6, причем величина повреждения представлена как относительная величина, т.е. выражена в процентах от стоимости груза. Перечень дефектов на рис. 6 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1. Осредненная оценка относитель-

ной стоимости повреждения груза была рассчитана по зависимости (1).

Согласованное мнение экспертов о степени влияния соответствующего дефекта крана на относительную стоимость повреждения перемещаемого груза, показывает, что наиболее экономически затратными ($\bar{y}_{ij}^{(3)} \geq 50$ % стоимости груза) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов (расположены в порядке убывания значимости):

- недопустимое повреждение грузового каната ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 92$ %);

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 90$ %);

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 88$ %);

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 86$ %);

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$ %);

- наличие элементов металлоконструкции стрелы с усталостным или хрупким разрушением ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$ %);

- отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$ %);

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крана ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$ %);

- недопустимое увеличение ширины зева крюка ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 77$ %);

- неработоспособность аутригера ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 77$ %);

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (раскосов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов) ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 74$ %);

- наличие трещин, непроваров и других дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 74$ %);

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 74$ %);

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 71$ %);

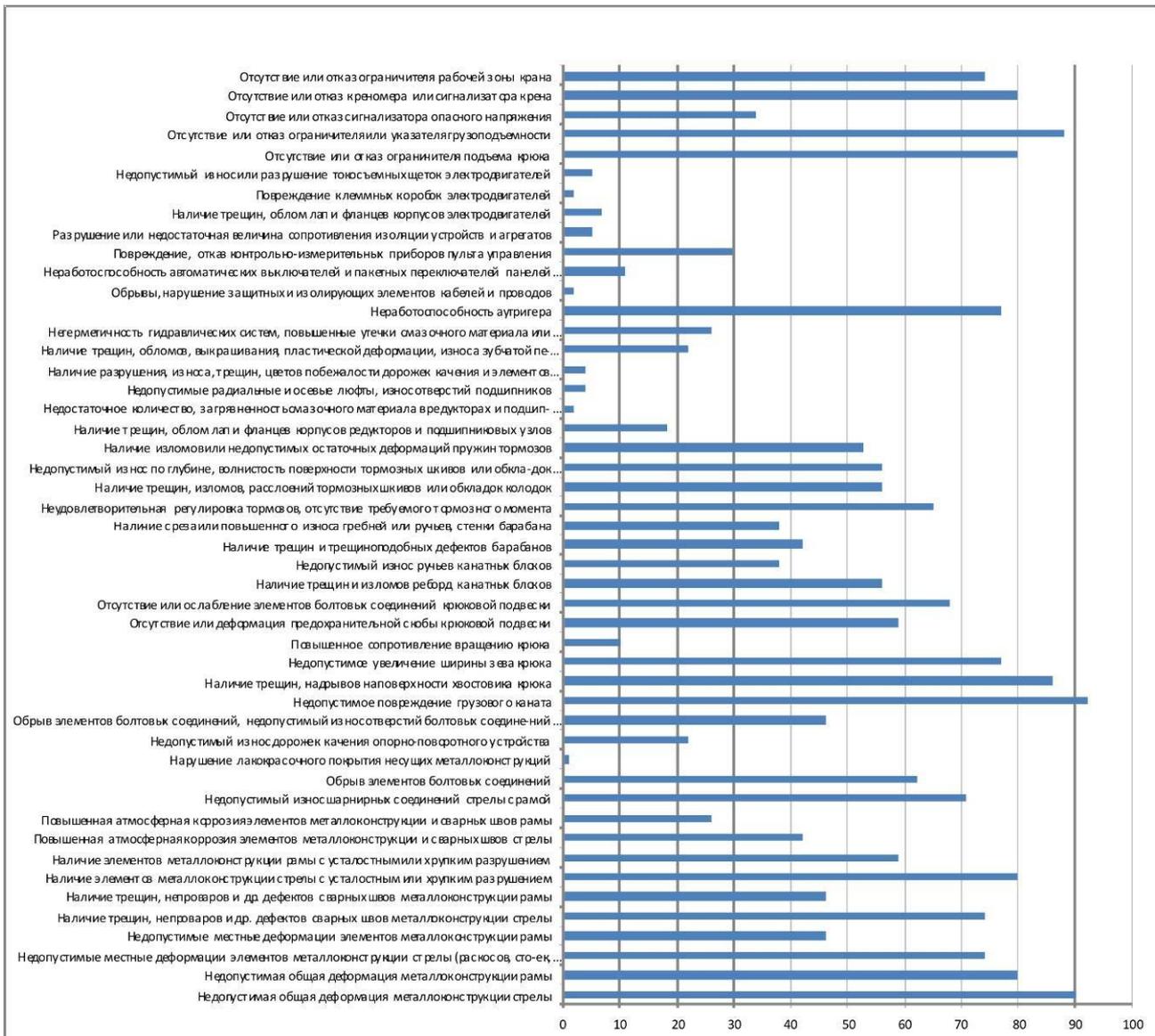


Рис. 6. Результаты средневзвешенной оценки экспертов относительной стоимости повреждения перемещаемого груза, вызванного соответствующим дефектом (в % от стоимости груза)

- отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 68 \%$);

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 65 \%$);

- обрыв элементов болтовых соединений ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 62 \%$);

- наличие элементов металлоконструкции рамы с усталостным или хрупким разрушением ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 59 \%$);

- отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 59 \%$);

- наличие трещин и изломов ребер канатных блоков ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 56 \%$);

- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 56 \%$);

- недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 56 \%$);

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов ($\bar{y}_{ij}^{(3)} = 53 \%$).

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 4 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о величине предполагаемого экономического ущерба, связанного с воз-

никновением при эксплуатации крана соответствующего дефекта. Результаты приведены на рис. 7, причем величина повреждения представлена как абсолютная величина, т.е. выражена в рублях на момент проведения данного исследования (май 2015 г.). Пере-

чень дефектов на рис. 7 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1. Осредненная оценка абсолютной величины предполагаемого экономического ущерба была рассчитана по зависимости (2).

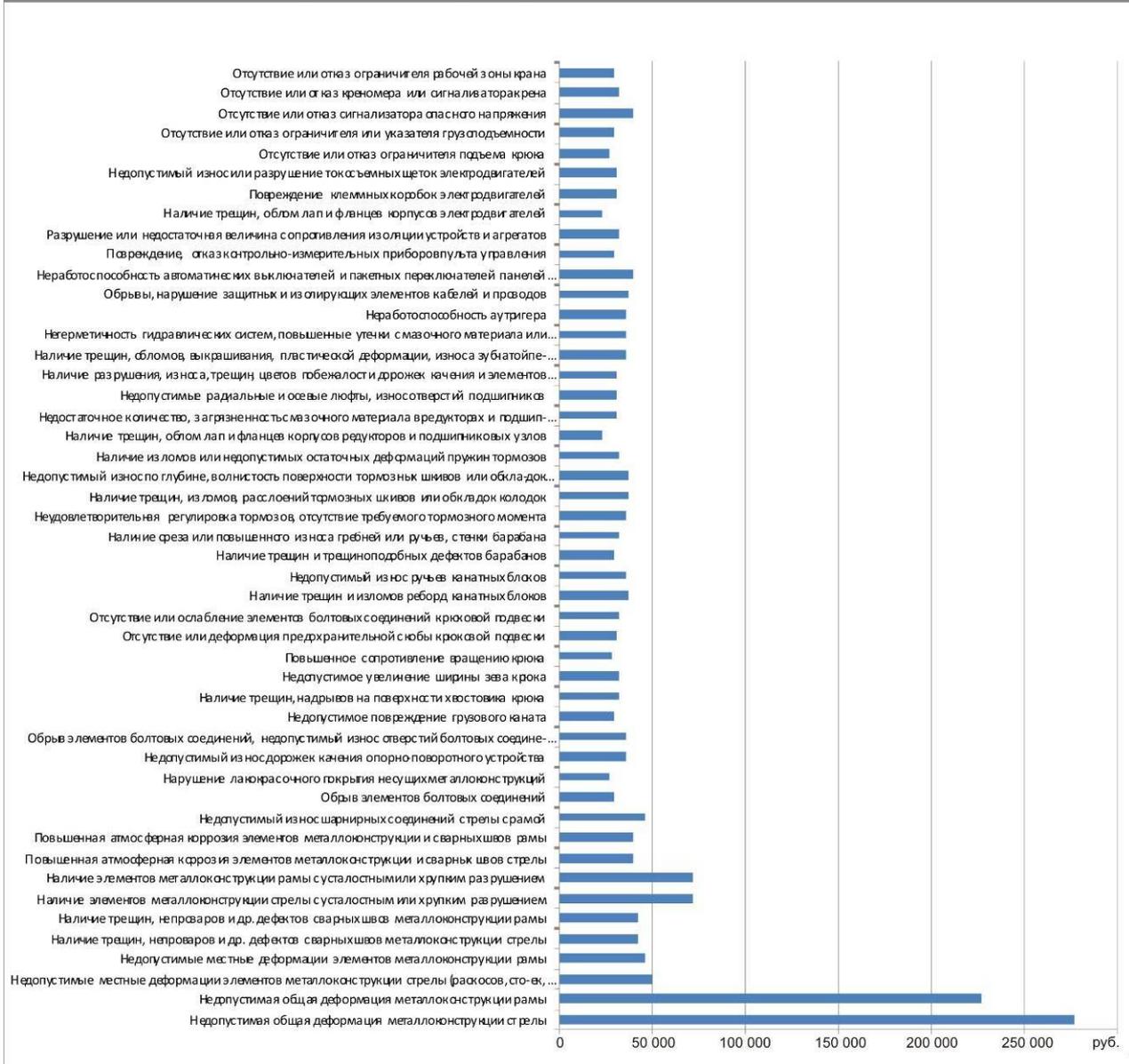


Рис. 7. Результаты средневзвешенной оценки экспертами величины предполагаемого экономического ущерба, вызванного соответствующим дефектом

Согласованное мнение экспертов о величине предполагаемого экономического ущерба, связанного с возникновением при эксплуатации крана соответствующего дефекта, показывает, что наиболее экономически опасными ($\bar{y}_{ij}^{(4)} \geq 200\ 000$ руб.) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов:

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ($\bar{y}_{ij}^{(4)} = 278\ 000$ руб.);

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы ($\bar{y}_{ij}^{(4)} = 228\ 000$ руб.).

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 5 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени предполагаемого влияния последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих краном или находящихся в непосредственной близости от

него. Результаты приведены на рис. 8, причем степень влияния выражена средним значением баллов, поставленных экспертами. Перечень дефектов на рис. 8 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1. Осредненная оценка степени влияния была рассчитана по зависимости (1).

Согласованное мнение экспертов о степени предполагаемого влияния последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих краном или находящихся в непосредственной близости от него, показывает, что наиболее социально опасными (способными привести к летальному исходу или

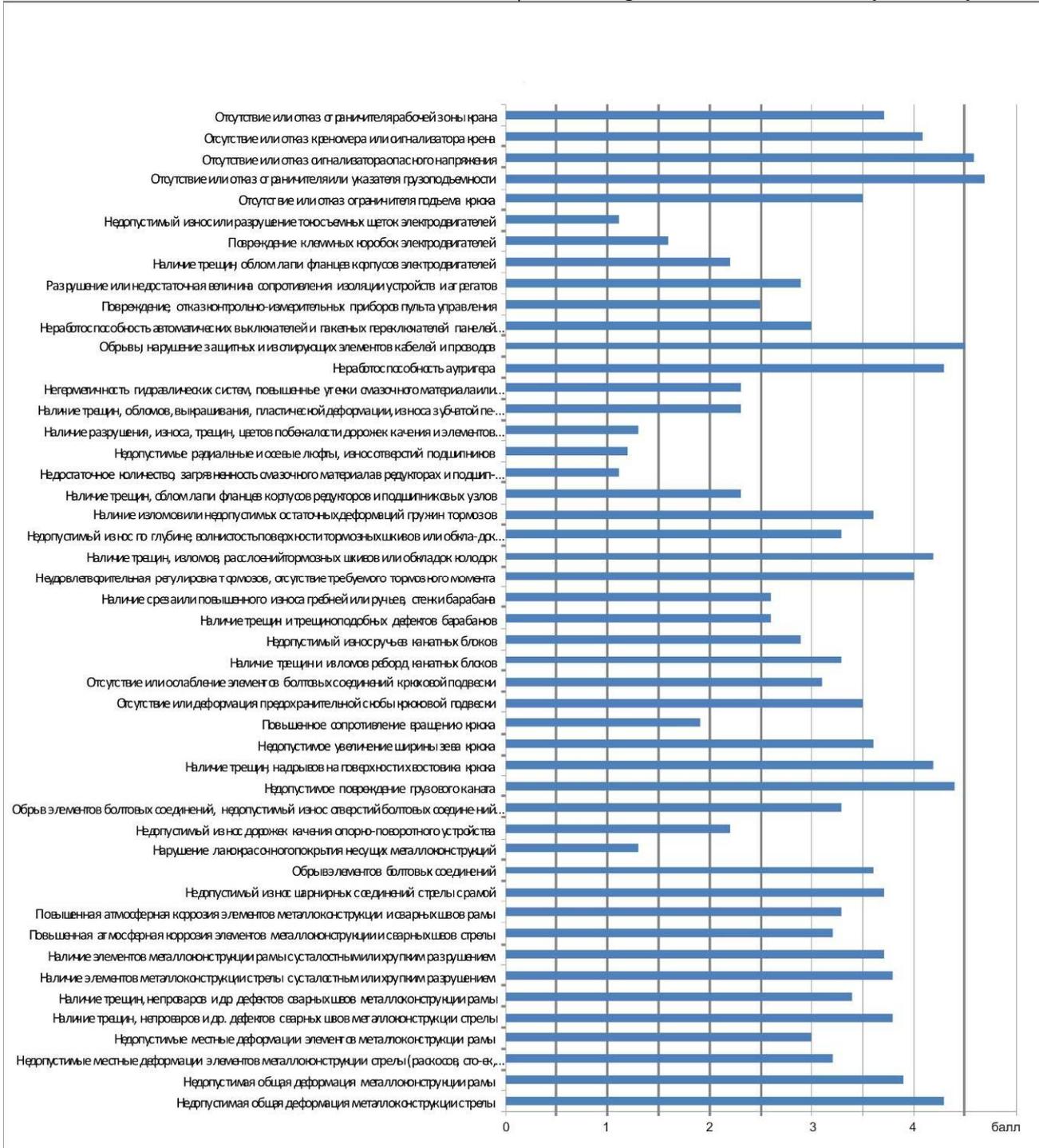


Рис. 8. Результаты средневзвешенной оценки экспертов балла, характеризующего степень предполагаемого влияния последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих краном или находящихся в непосредственной близости от него

травмам тяжелой степени тяжести, т.е. $\bar{x}_{ij}^{(5)} \geq 4$) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов (расположены в порядке убывания среднего значения балла):

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,7$);
- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,6$);
- обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,5$);
- недопустимое повреждение грузового каната ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,4$);
- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,3$);
- неработоспособность аутригера ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,3$);
- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,2$);
- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,2$);
- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,1$);
- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента ($\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,0$).

Статистические данные о частоте встречаемости того или иного дефекта, получаемые при анализе ведомостей дефектов обследуемого массива стреловых самоходных кранов, являются основой для расчета вероятности его возникновения в пределах некоторого временного промежутка времени эксплуатации, например, одного календарного года. Ориентировочные

оценки указанной вероятности для ij -го дефекта могут быть выполнены с помощью следующего соотношения

$$p_{ij} \approx \frac{1}{L_{cr}} \sum_{l=1}^{l=L_{cr}} \frac{n_{ij}}{\Delta T_l},$$

где L_{cr} - общее число обследованных кранов; ΔT_l - промежуток времени, выраженный в календарных годах, между двумя диагности-

ческим обследованиями l -го крана; n_{ij} - число раз возникновения ij -го дефекта за промежуток времени ΔT_l .

Наряду с имеющимися результатами средневзвешенной оценки экспертами величины предполагаемого экономического ущерба, вызванного соответствующим дефектом, знание вероятностей p_{ij} позволяет выполнить ориентировочную оценку величины технического риска [15] при эксплуатации стреловых самоходных кранов с помощью зависимости:

$$R_T = \sum_{ij} R_{Tij} = \sum_{ij} p_{ij} \bar{y}_{ij}^{(4)}, \quad (3)$$

где R_{Tij} - технический риск вследствие отказа из-за возникновения ij -го дефекта; p_{ij} - вероятность возникновения ij -го дефекта в пределах одного календарного года.

Расчет технического риска по формуле (3) применительно к обследованным стреловым самоходным кранам с учетом приведенных выше экспериментальных статистических данных и экспертных оценок показал, что величина $R_T \sim 53\ 000$ руб./год.

Представленная в данной работе методика оценки технического риска стреловых самоходных кранов позволяет выполнять приближенные оценки или экспресс-оценки значения технического риска в процессе эксплуатации указанных грузоподъемных машин в условиях недостаточности необходимой информации о величине слагаемых риска – вероятностях возникновения отказов вследствие проявления тех или иных характерных дефектов металлоконструкции, механизмов движения, систем энергообеспечения и безопасности, а также связанного с этим экономических потерь. Повышение достоверности оценки технического риска может быть достигнуто как увеличением объема первичной статистической информации о частоте возникновения дефектов на основе расширения числа и типоразмеров обследованных стреловых самоходных кранов, так и повышением качества экспертных оценок.

Список литературы

1. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины / А.А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.

2. Белецкий, Б.Ф. Технология и механизация строительного производства / Б.Ф. Белецкий. – Ростов н/Д.: Феникс, 2004. – 752 с.
3. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с.
4. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
5. Котельников, В.С. Диагностика и риск-анализ металлических конструкций грузоподъемных кранов / В.С. Котельников, А.А. Короткий, А.Н. Павленко, И.И. Еремин. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2006. – 315 с.
6. Лагерев, А.В. Оптимальное управление техническим риском при проектировании гидропривода грузоподъемных машин / А.В. Лагерев, Е.А. Лагерева // Известия МГТУ «МАМИ». - 2015. – Т.1. - № 3. – С. 60-66.
7. Кобзев, Р.А. Методы оптимального проектирования козловых кранов высокого класса ответственности: дис. ... доктора техн. наук / Кобзев Роман Анатольевич. – Саратов, 2014. – 384 с.
8. Емельянова, Г.А. Методология повышения надежности грузоподъемного оборудования при обеспечении требуемых критериев риска: дис. ... доктора техн. наук / Емельянова Галина Александровна. – Москва, 2017. – 384 с.
9. Горынин А.Д., Анцев В.Ю., Толоконников А.С. Методика анализа риска отказа металлоконструкции пролетного строения мостового крана на базе имитационного моделирования процесса эксплуатации // Механизация строительства. - 2015. - № 8 (854). - С. 9-10.
10. Лагерев, А.В. Вероятностная оценка надежности гидропривода кранов-манипуляторов путем имитационного моделирования потока отказов элементов / А.В. Лагерев, Е.А. Лагерева, И.А. Лагерев // Приводы и компоненты машин. - 2012.- № 2-3.- С. 2-5.
11. Лагерев, А.В. Прогнозирование кинетики показателей надежности гидроприводов подъемно-транспортной техники на основе имитационного моделирования потока отказов элементов / А.В. Лагерев, В.И. Аверченков, Е.А. Лагерева // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2012. - № 2.- С. 8-16.
12. Анцев, В.Ю. Дефекты и отказы автомобильных кранов / В.Ю. Анцев, П.В. Витчук, К.Ю. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. -2016. - № 7-1. - С. 88-93.
13. Анцев, В.Ю. Классификация дефектов и отказов грузоподъемных машин / В.Ю. Анцев, П.В. Витчук, К.Ю. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2015. - № 10. - С. 121-128.
14. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
15. Вишняков, Я.Д. Общая теория рисков / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – М.: Академия, 2008. – 368 с.

Сведения об авторах

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

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

Блейшмидт Леонид Израйлович – кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора ООО «Промбезопасность», lblshdt@rambler.ru.

RISK ASSESSMENT DURING OPERATING SELF-PROPELLED LIFTING JIB CRANES IN CONDITIONS OF INSUFFICIENT INFORMATION

Lagerev A.V.¹, Konchits S.V.², Bleyshmidt L.I.³

¹ - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

² - Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russian Federation

³ - Limited Society «Prombezopasnost», Bryansk, Russian Federation

Presents the results of statistical analyses identified by the expert diagnostics of defects of the self-propelled lifting jib cranes, spent a normative term of exploitation. The greatest number of defects associated with the destruction and deterioration of structural elements, the occurrence of fatigue cracks and a violation of the conditions of operation of the equipment. The greatest number of defects occurs in the hydraulic system of cranes, the rope-block system, and rarely in steel structures. To conduct risk analysis of self-propelled jib cranes in case of insufficient information, proposed the method of expert estimations. It allows to assess the impact of potential defects on self-propelled jib cranes on the value of the economic damage of the crane and moving cargo and the value of the traumatic exposure on men. The proposed list of possible defects self-propelled lifting jib cranes and a checklist of questions about the degree of influence of these defects. Proposed calculated dependences to the approximate calculation of the magnitude of technical risk in the operation of self-propelled jib cranes. The results of statistical analysis of expert estimations for each possible defect and performed their ranking in terms of impact on the magnitude of the economic damage of the crane and moving loads, the value of the traumatic exposure. Was calculated the value of technical risk for the surveyed taps.

Key words: safety, self-propelled lifting jib crane, defect, expert evaluation, risk analysis, diagnostics.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220

References

1. Vaynson A.A. *Podemno-transportnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 536 p. (In Russian)
2. Beletskiy B.F. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Technology and mechanization of construction production]. Rostov-na-Donu, Feniks, 2004. 752 p.
3. Lagerev I.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov manipulyatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselevykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Modeling of work processes in manipulation systems for mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 371 p. (In Russian)
4. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman, 2000. 552 p. (In Russian)
5. Kotelnikov V.S., Korotkiy A.A., Pavlenko A.N., Eremin I.I. *Diagnostika i risk-analiz metallicheskih konstruktsiy gruzopodemnykh kranov* [Diagnosis and risk analysis of metal structures of cranes]. Novocherkassk: UPC «Nabla» YuRGTU (NPI), 2006. 315 p. (In Russian)
6. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Optimal management of technical risk the design of the hydraulic lifting machines drive. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2015, Vol.1, No.3, pp. 60-66. (In Russian)
7. Kobzev R.A. Methods of optimal design gantry cranes with high-class responsibility. *Doct. Diss. (Engineering)*. Saratov, 2014. 384 p. (In Russian)
8. Emelyanova G.A. Methodology to enhance reliability of lifting equipment in ensuring the desired risk criteria. *Doct. Diss. (Engineering)*. Moscow, 2017. 384 p. (In Russian)
9. Gorynin A.D., Antsev V.Yu., Tolokonnikov A.S. The method of analysis of the risk of failure of steel structures of the superstructure of the bridge crane on the basis of imitating modeling of process of operation. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2015, No.8, pp. 9-10. (In Russian)
10. Lagerev A.V., Lagereva E.A., Lagerev I.A. Probabilistic estimation of reliability of the hydraulic drive of crane-manipulators simulation-based flow of element failures. *Pryvody i komponenty mashin*, 2012, No.2-3, pp. 2-5. (In Russian)
11. Lagerev A.V., AVerchenkov V.I., Lagerева E.A. Prediction of kinetics of dependability indices hydraulic drive of load-haul-dump machines simulation-based flow of element failures. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No.2, pp. 8-16. (In Russian)
12. Antsev V.Yu., Vitchuk P.V., Krylov K.Yu. Defects and failures of truck cranes. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo univer-*

siteta. Tekhnicheskie nauki, 2016, No.7-1, pp. 88-93. (In Russian)

13. Antsev V.Yu., Vitchuk P.V., Krylov K.Yu. Classification of defects and failure of lifting machines. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2015, No.10, pp. 121-128. (In Russian)

14. Litvak B.G. *Ekspertnye otsenki i prinyatie resheniy* [Expert assessment and decision-making]. Moscow, Patent, 1996. 271 p. (In Russian)

15. Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. *Obshchaya teoriya riskov* [General theory of risks]. Moscow, Akademiya, 2008. 368 p. (In Russian)

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*.

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

Leonid I. Bleyshmidt - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice director at Limited Society “Prombezopasnost”, *lblshdt@rambler.ru*.

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2017



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 165377

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ СЕКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ СТРЕЛЫ КРАНО- МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2016116726

Приоритет полезной модели 27 апреля 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 сентября 2016 г.

Срок действия патента истекает 27 апреля 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.И. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **165 377** (13) **U1**

(51) МПК
B66C 23/64 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016116726/11, 27.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.04.2016

(45) Опубликовано: 20.10.2016 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Лагерев Игорь Александрович (RU),
Ковальский Виктор Федорович (RU),
Мильто Андрей Александрович (RU),
Лагерев Александр Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

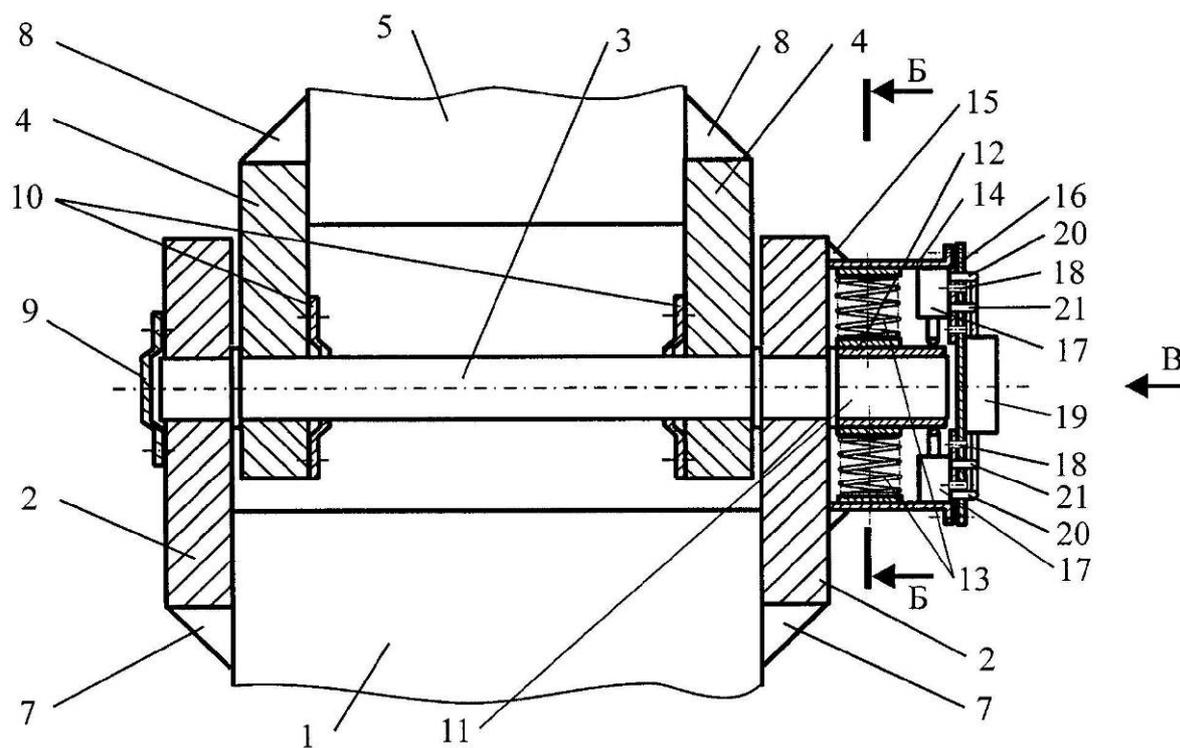
(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ СЕКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ СТРЕЛЫ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

(57) Формула полезной модели

Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки, образованное двумя парами проушин, каждая из которых неподвижно закреплена на конце металлоконструкции одной из соединяемых смежных секций стрелы, изготовлена из толстостенного листового проката и имеет соосные отверстия для установки в них шарнирного пальца для создания цилиндрического шарнира, причем шарнирный палец выполнен удлиненным за счет исполнения цилиндрического хвостовика шарнирного пальца, на котором установлено металлическое кольцо, имеющее возможность свободного скольжения относительно поверхности хвостовика, а с наружной поверхностью этого кольца по его периметру контактируют расположенные радиально по отношению к продольной оси шарнирного пальца упругие амортизирующие элементы и имеющие неподвижное крепление к одной из смежных секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки, отличающееся тем, что упругие амортизирующие элементы укомплектованы гидравлическими демпфирующими устройствами.

RU 165377 U1

RU 165377 U1



RU 1 6 5 3 7 7

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

отдел инновационного развития

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

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ru

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 165378

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ СЕКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ СТРЕЛЫ КРАНО- МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2016114956

Приоритет полезной модели 18 апреля 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 сентября 2016 г.

Срок действия патента истекает 18 апреля 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **165 378** (13) **U1**

(51) МПК
B66C 23/64 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

(21)(22) Заявка: 2016114956/11, 18.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.04.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.04.2016

(45) Опубликовано: 20.10.2016 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Лагереv Игорь Александрович (RU),
Ковальский Виктор Федорович (RU),
Мильто Андрей Александрович (RU),
Лагереv Александр Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

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

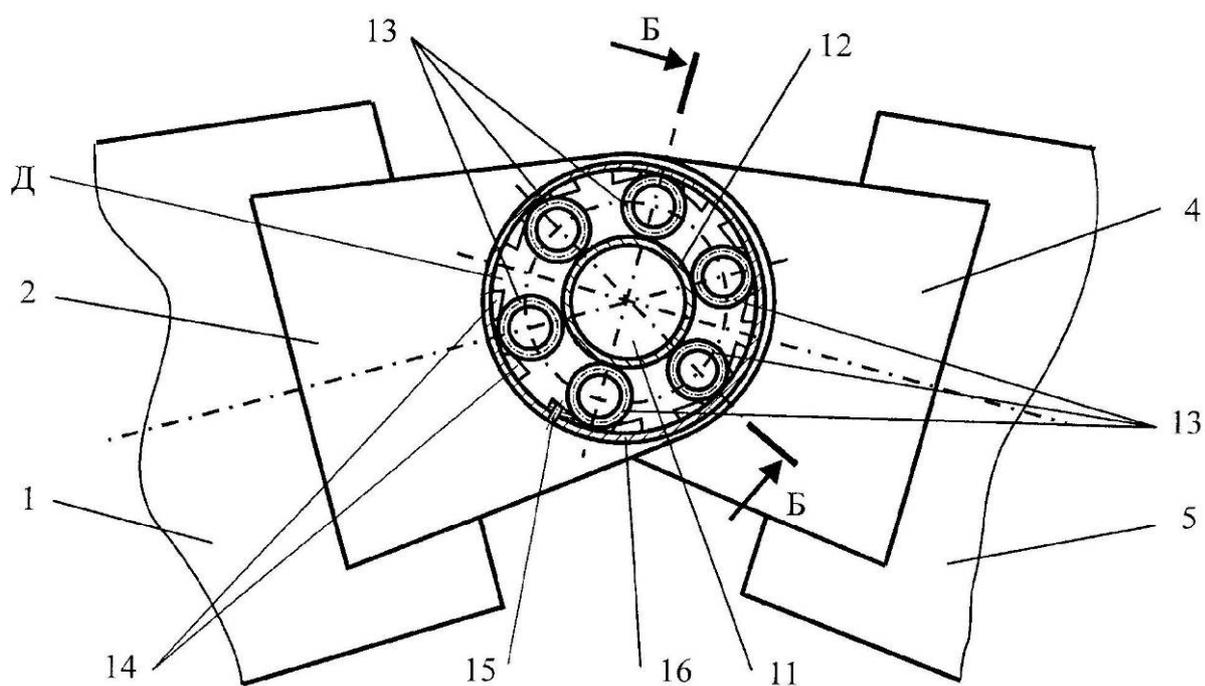
(57) Формула полезной модели

1. Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки, образованное двумя парами проушин, каждая из которых неподвижно закреплена на конце металлоконструкции одной из соединяемых смежных секций стрелы, изготовлена из толстостенного листового проката и имеет соосные отверстия для установки в них шарнирного пальца для создания цилиндрического шарнира, причем шарнирный палец выполнен удлиненным за счет исполнения цилиндрического хвостовика шарнирного пальца, на котором установлено металлическое кольцо, имеющее возможность свободного скольжения относительно поверхности хвостовика, а с наружной поверхностью этого кольца по его периметру контактируют расположенные радиально по отношению к продольной оси шарнирного пальца амортизирующие элементы, и имеющие неподвижное крепление к одной из смежных секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки, отличающееся тем, что в качестве амортизирующих элементов используются кольцевые упругие элементы.

2. Устройство для соединения секций грузоподъемной стрелы крано-манипуляторной установки по п.1, отличающееся тем, что амортизирующие элементы установлены параллельно в два ряда вдоль продольной оси шарнирного пальца, причем амортизирующие элементы в соседних рядах повернуты друг относительно друга в окружном направлении на половину углового шага установки соседних амортизирующих элементов.

RU 165378 U1

RU 165378 U1



RU 165378

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

отдел инновационного развития

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

Телефон: +7 (4832) 64-81-17 доб. 217

Факс: +7 (4832) 66-64-42

E-mail: inno-bgu@yandex.ru

Сетевое издание
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Брянского государственного университета
2017, № 2

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /
НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

Учредитель:

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

Издатель:

Редакционно-издательский отдел Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации
выдано Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Эл № ФС77-62798 от 18 августа 2015 г.**

Главный редактор сетевого издания:

доктор технических наук, профессор
А.В. Лагереv

Адрес учредителя:

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет
имени академика И.Г. Петровского»
241036, Россия, Брянск, ул. Бежицкая, д. 14

Адрес издателя и редакции:

РИО ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет
имени академика И.Г. Петровского»
241036, Россия, Брянск, ул. Бежицкая, д. 20

Дата размещения сетевого издания в сети Интернет
на официальном сайте <http://www.ntv-brgu.ru> 25.06.2017 г.