

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

**ВЕСТНИК
ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Серия «Технические науки»

**Научный рецензируемый журнал
№ 1 (5), 2020**

Тверь 2020

Учредитель – ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

Редакционная коллегия

Главный редактор А.Н. Болотов, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

Члены редакционной коллегии:

В.В. Измайлов, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ, зам. главного редактора по направлению «Машиностроение и машиноведение»

А.Л. Яблонев, д-р техн. наук, доцент ТвГТУ, зам. главного редактора по направлению «Транспортное, горное и строительное машиностроение»

Г.Б. Бурдо, д-р техн. наук, доцент ТвГТУ, зам. главного редактора по направлению «Информатика, вычислительная техника и управление»

Л.Е. Афанасьева, канд. физ.-мат. наук, доцент ТвГТУ, ответственный секретарь

Н.И. Березовский, д-р техн. наук, профессор БНТУ, Республика Беларусь

П.Н. Богданович, д-р техн. наук, профессор БелГУТ, Республика Беларусь

И.С. Гершман, д-р техн. наук, профессор, ВНИИЖТ

В.В. Голенков, д-р техн. наук, профессор БГУИР, Республика Беларусь

К.А. Головин, д-р техн. наук, доцент ТулГУ

И.В. Горлов, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

В.И. Гультияев, д-р техн. наук, доцент ТвГТУ

Б.Ф. Зюзин, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

Л.И. Кантович, д-р техн. наук, профессор НИТУ «МИСиС»

А.М. Керопян, д-р техн. наук, профессор НИТУ «МИСиС»

Л.В. Козырева, д-р техн. наук, доцент ТвГТУ

А.В. Кондратьев, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

Б.И. Марголис, д-р техн. наук, доцент ТвГТУ

В.В. Мешков, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

А.В. Михайлов, д-р техн. наук, профессор СПГУ

М.В. Новоселова, канд. техн. наук, доцент ТвГТУ

Б.В. Палюх, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

Н.А. Семенов, д-р техн. наук, профессор ТвГТУ

И.А. Солдатенков, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИПМех РАН

П.В. Цибуленко, канд. техн. наук, доцент БНТУ, Республика Беларусь

В.С. Шоркин, д-р физ.-мат. наук, профессор ОГУ имени И.С. Тургенева

Л.Ш. Шустер, д-р техн. наук, профессор УГАТУ

Адрес редакции: 170026, Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22.

E-mail: vestnik_tstu_tekh@mail.ru

Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки» публикует научные статьи и краткие обзоры по направлениям: 05.02.00 Машиностроение и машиноведение, 05.05.00 Транспортное, горное и строительное машиностроение, 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление. Журнал издается с января 2019 года, выходит 4 раза в год.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер: серия ПИ № ФС77-74321 от 19 ноября 2018 года. Индексируется в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Перепечатка материалов из журнала возможна при письменном согласии с редакцией, при этом ссылка на журнал обязательна.

© ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Измайлов В.В., Гусев А.Ф., Новоселова М.В.</i> О зависимости переходного сопротивления контакта от контактного нажатия.....	5
<i>Афанасьева Л.Е., Зигерт А.Д., Иванова А.И., Гречишкин Р.М.</i> Магнитооптическая визуализация дефектов сварных соединений.....	13
<i>Архаров А.П.</i> Патрон клиновой механизированный для установки заготовки на центрах токарного станка.....	21
<i>Архаров А.П., Козлов А.И.</i> Патрон цанговый механизированный.....	26

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Горлов И.В., Болотов А.Н., Рахутин М.Г.</i> Уплотнение узлов трения торфяных машин с помощью магнитных порошков.....	31
<i>Семенов А.Г.</i> Боковой дверной блок бронированной колесной машины.....	39
<i>Васильев А.И., Семенов А.Г.</i> Разработка универсального прицепа-ропуса.....	43
<i>Семенов А.Г.</i> Ведущее колесо автомобиля высокой проходимости.....	48
<i>Синицын В.Ф., Копенкина Л.В.</i> К вопросу определения параметров фрезы машины для сводки леса.....	55

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Илясов Л.В.</i> Интерпретация измерительной информации, получаемой от самокалибрующихся газовых хроматографов.....	63
<i>Богатилов В.Н., Алексеев В.В., Мартынов Д.В., Кушнарченко В.В., Козлова Ю.Г.</i> Алгоритмическое представление задачи определения сроков внедрения инновационных технологий.....	75
<i>Нестеров Я.А., Петухова Р.А.</i> Перспективы использования блокчейн-технологии в области таможенно-тарифного регулирования.....	87
Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». Оформление статей. Правила для авторов.....	94

CONTENTS

MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

<i>Izmailov V.V., Gusev A.F., Novoselova M.V.</i> On the dependence of a boundary contact resistance on a contact pressure.....	5
<i>Afanasieva L.E., Zigert A.D., Ivanova A.I., Grechishkin R.M.</i> Magneto-optical visualization of welded joints defects.....	13
<i>Arkharov A.P.</i> Wedge mechanized chuck for installation on the centers of the lathe.....	21
<i>Arkharov A.P., Kozlov A.I.</i> Mechanized collet chuck	26

TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION MACHINERY

<i>Gorlov I.V., Bolotov A.N., Rahutin M.G.</i> Friction units of peat machines with magnetic powder seals.....	31
<i>Semenov A.G.</i> Side door unit of the armored wheel machine.....	39
<i>Vasiliev A.I., Semenov A.G.</i> Development of universal trailer-dismissal.....	43
<i>Semenov A.G.</i> Leading wheel for car of the high passability.....	48
<i>Sinizin V.F., Kopenkina L.V.</i> To the question of determining the parameters of the milling cutter machine for forest logging.....	55

INFORMATICS, COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT

<i>Iliasov L.V.</i> Interpretation of measurable information, obtained from self calibrating gas chromatographs.....	63
<i>Bogatikov V.N., Alekseev V.V., Martynov D.V., Kushnarenko V.V., Kozlova Yu.G.</i> Algorithmic representation of the problem of determining the implementation timeline for innovative technologies	75
<i>Nesterov Ya.A., Petukhova R.A.</i> Prospects of using bockchain technology in customs tariff regulation	87

Instructions for authors of the journal “Bulletin of the Tver State Technical University. Series «Engineering». Manuscript requirements.....	94
---	-----------

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.01

О ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТА ОТ КОНТАКТНОГО НАЖАТИЯ

В.В. ИЗМАЙЛОВ, д-р техн. наук, А.Ф. ГУСЕВ, канд. техн. наук,
М.В. НОВОСЕЛОВА, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: iz2v@tvcom.ru

© Измайллов В.В., Гусев А.Ф., Новоселова М.В., 2020

Теоретически и экспериментально рассмотрено влияние некоторых конструктивных и эксплуатационных факторов на зависимость переходного сопротивления электрического контакта от контактного нажатия. Показано, что зависимость переходного сопротивления контакта от контактного нажатия или номинального контактного давления в инженерных (проектных) расчетах может быть описана степенной функцией. Параметры степенной функции зависят от характера деформации выступов шероховатости контактирующих поверхностей, а также от максимальной высоты выступов. Вид функции распределения высот выступов мало влияет на параметры степенной функции.

Ключевые слова: электрические контакты, сопротивление контакта, контактное давление, шероховатость поверхности.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразные по конструкции и назначению электроконтактные соединения являются элементами практически любого современного технического устройства. От надежности электрических контактных соединений в немалой степени зависит надежность сложных и ответственных технических систем в целом. Надежность электроконтактного соединения как такового, в числе прочих факторов, определяется величиной усилия нажатия, приложенного к контактирующим деталям и обеспечивающего требуемую величину переходного электросопротивления контакта. Вопрос о влиянии величины усилия нажатия на переходное сопротивление контакта приобретает дополнительную актуальность в связи с современной тенденцией к миниатюризации и микроминиатюризации технических устройств, что часто ограничивает верхний предел усилия нажатия.

В работе рассматривается зависимость переходного сопротивления контакта от усилия нажатия (в том числе в виде номинального контактного давления) в широком диапазоне изменения величины последнего для различных сочетаний физико-механических и микрогеометрических характеристик контактирующих поверхностей.

Характер зависимости переходного сопротивления от контактного нажатия определяется в основном двумя факторами:

1) наличием на поверхности контактирующих деталей оксидных и других непроводящих или плохо проводящих пленок и их разрушением под действием приложенной нагрузки;

2) статистической природой переходного сопротивления, вытекающей из статистической природы микрогеометрии контактирующих поверхностей и случайного характера числа и размеров площадок фактического контакта, которые обеспечивают транспорт носителей заряда от одной контакт-детали к другой.

ЕДИНИЧНЫЙ КОНТАКТ

Влияние первого фактора рассмотрим на физической модели контакта единичных неровностей шероховатых поверхностей, которая исключает влияние второго фактора. Модель представляет собой контакт трех сферических тел с плоской поверхностью. Геометрические характеристики контактирующих деталей и физико-механические свойства материалов, из которых они изготовлены, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики контактирующих тел

Форма контакт-детали	Материал контакт-детали	ρ , 10^{-8} Ом·м	H , МПа	E , ГПа	Ra , мкм
Сферическая, радиус 1,5 мм	Сталь ШХ15	34	>7 000	200	<0,03
Плоская	Латунь ЛС59-1	6,5	1 600	100	

Примечание: ρ – удельное электросопротивление; H – микротвердость; E – модуль упругости; Ra – шероховатость поверхности.

Величина переходного сопротивления в контакте стального шарика с латунной плоскостью измерялась по четырехпроводной схеме при токе через контакт 0,1 А от стабилизированного источника. Результаты измерения представлены на рис. 1.

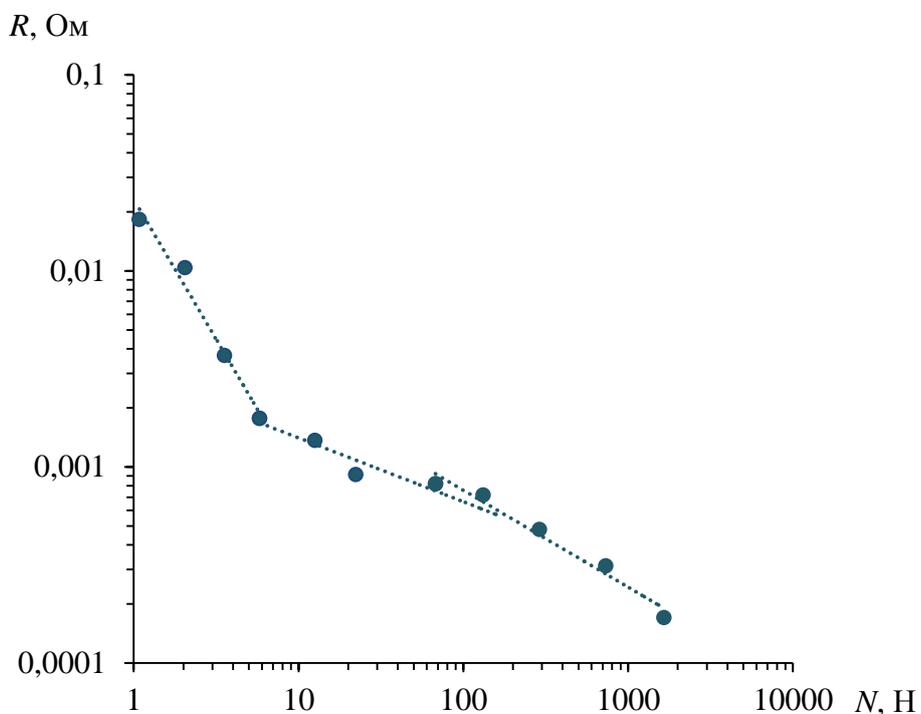


Рис. 1. Зависимость переходного сопротивления от контактного нажатия

На графике зависимости $R(N)$ явно выделяются три участка. На первом, в области малых нагрузок, зависимость переходного сопротивления от усилия нажатия описывается аппроксимирующей формулой

$$R = 0,023N^{-1,43}. \quad (1)$$

В области средних нагрузок зависимость $R(N)$ описывается аппроксимирующим выражением

$$R = 3,0 \cdot 10^{-3}N^{-0,33}. \quad (2)$$

Наконец, в области больших нагрузок аппроксимирующая зависимость принимает вид

$$R = 7,4 \cdot 10^{-3}N^{-0,49}. \quad (3)$$

Резкое падение сопротивления в области малых нагрузок связано, очевидно, с разрушением оксидных пленок и вряд ли может быть описано теоретической зависимостью. Два других участка хорошо описываются теоретически.

Судя по показателю степени при нагрузке в формуле (2), в этом диапазоне изменения величины N преобладает упругая деформация контактирующих тел. В этом случае зависимость сопротивления от усилия нажатия описывается зависимостью, вытекающей из решения Г. Герца контактной задачи для упругого контакта шар-плоскость [1, 2] и известной формулы Р. Хольма для аналогичного контакта [1, 2]:

$$R = \frac{1}{4}(\rho_1 + \rho_2) \left(\frac{3Nr}{4E^*} \right)^{-\frac{1}{3}}, \quad (4)$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельные сопротивления материалов контактирующих тел; r – радиус сферической детали; E^* – эквивалентный модуль упругости. Подставив в формулу (4) соответствующие величины из табл. 1, получим

$$R = 4,0 \cdot 10^{-3}N^{-\frac{1}{3}},$$

что удовлетворительно совпадает с формулой (2).

В области больших нагрузок контакт носит преимущественно пластический характер. В этом случае на основании той же формулы Р. Хольма и очевидного выражения для радиуса контактного пятна $a = \sqrt{\frac{N}{\pi H}}$ получим

$$R = \frac{1}{4}(\rho_1 + \rho_2)\sqrt{\pi H} N^{-\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Подстановка в формулу (5) соответствующих величин из табл. 1 приводит к зависимости

$$R = 7,2 \cdot 10^{-3}N^{-\frac{1}{2}},$$

что хорошо совпадает с формулой (3).

МНОЖЕСТВЕННЫЙ КОНТАКТ

Оценить влияние микротопографии контактирующих поверхностей на зависимость переходного сопротивления от усилия нажатия можно только на примере множественного контакта, образованного ансамблем контактирующих выступов, распределенных по высоте по тому или иному статистическому закону. При этом для исключения влияния первого фактора – разрушения оксидных пленок – на зависимость $R(N)$ желательно исследовать контакт поверхностей, минимально подверженных химическому воздействию окружающей среды. Ниже рассмотрим результаты таких экспериментов.

В первом случае исследовали зависимость переходного сопротивления от усилия нажатия (точнее, номинального контактного давления) в контакте плоских стальных поверхностей с золотым покрытием толщиной 5 мкм. Из всех электроконтактных материалов золото наименее подвержено образованию непроводящих поверхностных пленок. Номинальная площадь контакта 300 мм². Шероховатость контактирующих поверхностей $Ra = 3$ мкм. Результаты представлены на рис. 2.

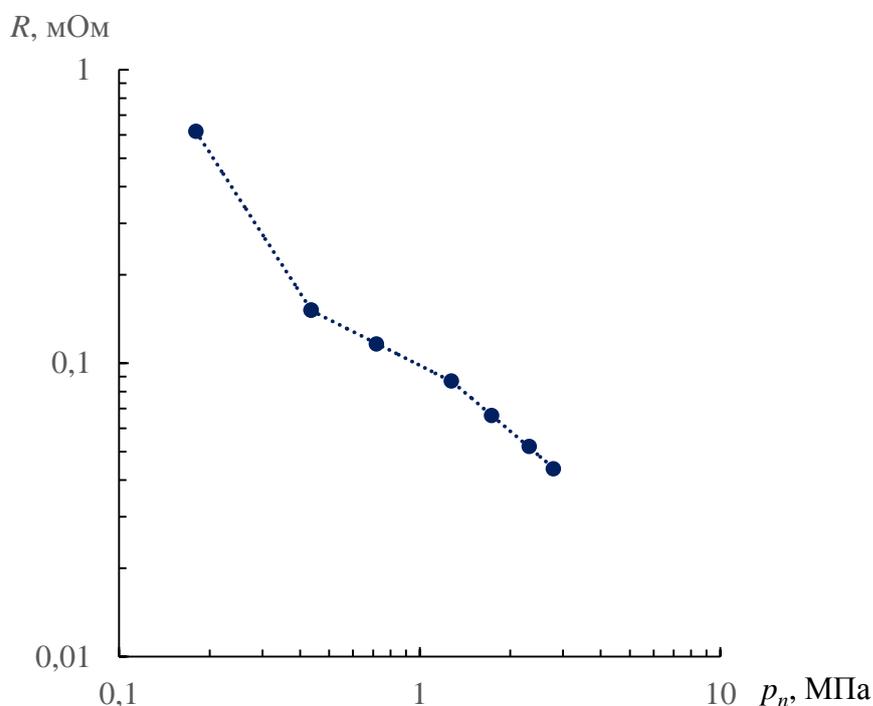


Рис. 2. Зависимость переходного сопротивления от номинального давления в контакте стальных поверхностей с золотым покрытием

На рис. 2 явно выражены три участка, которые описываются аппроксимирующими зависимостями $R(p_n)$:

в области малых номинальных давлений ($p_n < 0,4$ МПа)

$$R = 0,040p_n^{-1,60}, \quad (6)$$

в области средних номинальных давлений ($0,4 < p_n < 1,3$ МПа)

$$R = 0,098p_n^{-0,52}, \quad (7)$$

в области больших номинальных давлений ($p_n > 1,3$ МПа)

$$R = 0,108p_n^{-0,87}, \quad (8)$$

где R выражено в мОм, а p_n – в МПа.

Следует отметить, что зависимость $R(p_n)$ при $p_n > 0,4$ МПа можно описать единой зависимостью

$$R = 0,092p_n^{-0,67}, \quad (9)$$

коэффициенты которой статистически значимы на уровне $p < 0,01$.

Во втором случае влияние микротопографии поверхности на зависимость $R(p_n)$ исследовали на численной модели контактного соединения. По сравнению с физическими моделями численные позволяют изучить исследуемые закономерности в более широком диапазоне изменения определяющих параметров. В нашем случае исследовались четыре модельных контактных соединения, характеристики которых приведены в табл. 2. При моделировании принято, что плотности вероятности высот и радиусов кривизны вершин выступов описываются бета-распределением

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1},$$

где x – случайная величина (в данном случае высота или радиус кривизны вершины выступа шероховатости). При $\alpha = \beta = 3$ распределение подобно нормальному (гауссовскому), при $\alpha = \beta = 1,2$ распределение близко к равномерному (прямоугольному).

Влияние процессов разрушения поверхностных пленок на переходное сопротивление контакта в данных численных экспериментах не предусмотрено методикой моделирования.

Таблица 2. Характеристики модельных контактных соединений

№	$\rho, 10^{-8}$ Ом·м	$R\rho$, мкм	r , мкм	E , ГПа	H , МПа	α	β
1	2,3	0,1	200	100	2 500	3	3
2	2,3	1,0	200	100	2 500	3	3
3	2,3	0,1	200	100	2 500	1,2	1,2
4	2,3	1,0	100	100	1 500	1,2	1,2

Примечание: $R\rho$ – высота наибольшего выступа профиля шероховатости поверхности; r – максимальный радиус кривизны вершин выступов шероховатости; α и β – параметры бета-распределения высот и радиусов вершин выступов шероховатости.

Результаты моделирования в виде зависимостей $R(p_n)$ представлены на рис. 3. Видно, что при малых номинальных давлениях зависимости $R(p_n)$ различаются не только количественно, но и качественно. При номинальных давлениях p_n больше 1 кПа все зависимости имеют сходный характер и хорошо описываются степенными функциями. Конкретные формулы зависимостей $R(p_n)$ для исследованных модельных поверхностей приведены в табл. 3.

Как ни странно, вид функции распределения высот и радиусов вершин выступов практически не влияет на характер зависимости $R(p_n)$. Это особенно наглядно видно из сравнения результатов моделирования для 2-го и 4-го контактных соединений. Существенное влияние на характер зависимости $R(p_n)$ оказала высота выступов шероховатости контактирующих поверхностей (ср. попарно модели № 1–3 и 2–4). Кроме того, некоторое влияние на характер зависимости $R(p_n)$ оказали микротвердость поверхности и радиус вершин выступов (ср. модели № 2 и 4).

Сравнение результатов численного моделирования (табл. 3) с результатами экспериментального определения зависимости $R(p_n)$ в контакте шероховатых поверхностей (см. формулы (6)–(9)) показывает их соответствие. Характер зависимостей полностью совпадает, различие коэффициентов объясняется влиянием стальной подложки в натуральных экспериментах, в результате чего эквивалентное удельное сопротивление материала контакт-деталей больше, чем монолитного золота. Рассмотрение влияния покрытий контакт-деталей на величину переходного сопротивления и его зависимости от контактного нажатия заслуживает отдельного обсуждения и не входит в задачи данной работы.

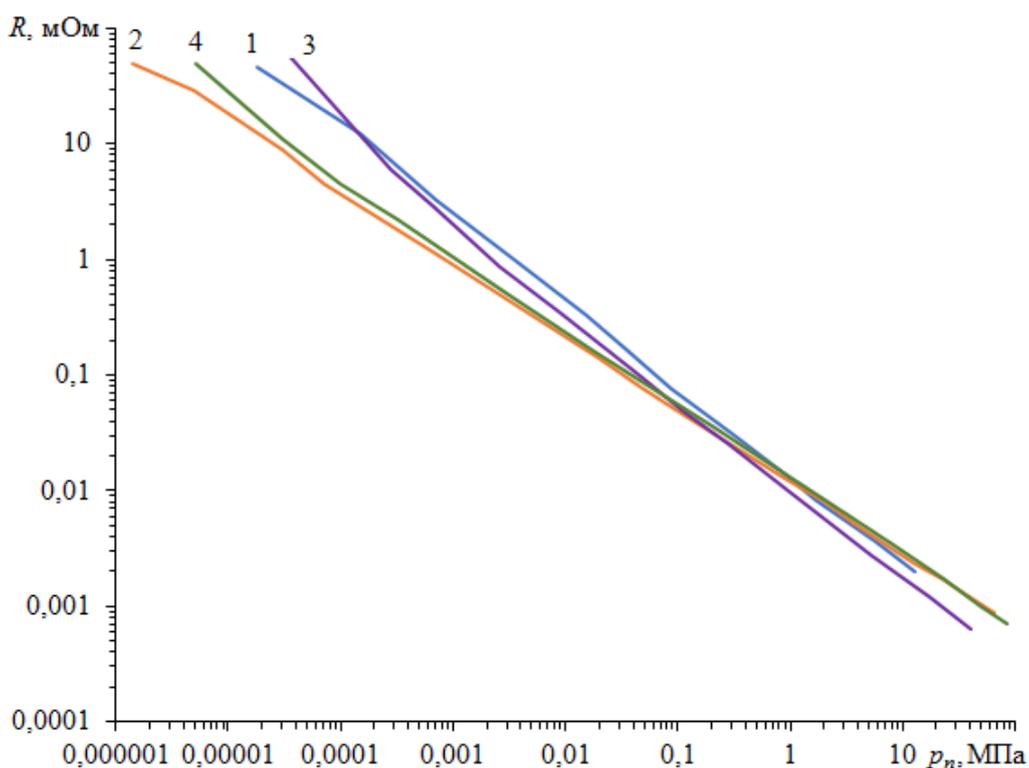


Рис. 3. Зависимость переходного сопротивления от номинального контактного давления (номер линии соответствует номеру модельного контактного соединения в табл. 2)

Таблица 3. Зависимости переходного сопротивления контакта от номинального давления

Номер модельного контактного соединения			
1	2	3	4
$R = 0,013p_n^{-0,76}$	$R = 0,012p_n^{-0,63}$	$R = 0,010p_n^{-0,75}$	$R = 0,012p_n^{-0,64}$

Примечание. Во всех формулах величина p_n выражена в МПа; R – в мОм.

В заключение хотелось бы отметить следующее обстоятельство. Зависимости, аналогичные формулам (1)–(3), приводятся во многих учебниках и справочных изданиях по теории электрических аппаратов ([3, 4] и др.). Как показали представленные выше результаты, такие зависимости вполне могут использоваться для инженерных расчетов при проектировании контактных систем электрических аппаратов. Однако, на наш взгляд, в такой форме их целесообразно применять только для точечного (условно) контакта, а именно: контакта двух сферических деталей, сферы с плоскостью или двух скрещенных цилиндров. Для линейных и плоских контактов такая запись неинформативна, поскольку величина нормальной силы (усилия нажатия) не характеризует степень нагруженности таких контактов. В этих случаях целесообразно использовать удельные величины нагрузки – погонную нагрузку для линейного контакта и номинальное контактное давление для контакта двух плоских деталей. Именно в таком виде представлены зависимости $R(p_n)$ в табл. 3.

Подобная форма представления зависимости переходного сопротивления от силового параметра – в виде функции номинального давления – встретила нам только в работе [5]. Применительно к контакту медных и алюминиевых шин эта зависимость имеет вид (в пересчете на актуальные единицы физических величин)

$$R = K p_n^{-0,7}.$$

Если номинальное давление p_n выражено в МПа, а переходное сопротивление R – в мОм, коэффициент $K = 0,04...0,16$, что согласуется с формулами табл. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зависимость переходного сопротивления электрического контакта от силового параметра, характеризующего контактное нажатие, для инженерных (проектных) расчетов может быть описана степенной функцией. При этом в качестве силового параметра целесообразно использовать: для условно одноточечного контакта – величину силы нажатия, для линейного контакта – погонную нагрузку (величину силы, приходящейся на единицу длины контакта), для контакта двух плоских деталей – номинальное контактное давление.

В контакте номинально плоских деталей при малых контактных давлениях зависимость переходного сопротивления от номинального давления имеет нестабильный характер с отрицательным показателем степени в степенной зависимости $R(p_n)$, большим единицы по модулю. При номинальном давлении p_n больше 1 кПа характер зависимости $R(p_n)$ стабилизируется, при этом отрицательный показатель степени увеличивается по модулю с уменьшением высоты выступов шероховатости контактирующих поверхностей.

На характер зависимости $R(p_n)$ существенно влияет высота выступов шероховатости контактирующих поверхностей (параметр R_p). Величина радиуса кривизны вершин выступов шероховатости и вид функций распределения случайных величин – высот и радиусов вершин выступов шероховатой поверхности – не оказывают существенного влияния на характер зависимости $R(p_n)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов В.В., Новоселова М.В. Контакт твердых тел и его проводимость: монография. Тверь: ТГТУ, 2010. 112 с.
2. Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. 560 с.

3. Основы теории электрических аппаратов / под ред. П.А. Курбатова. СПб.: Лань, 2015. 592 с.

4. Справочник по расчету и конструированию контактных частей высоковольтных электрических аппаратов / под ред. В.В. Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 384 с.

5. Займовский А.С., Усов В.В. Металлы и сплавы в электротехнике. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1941. 316 с.

Для цитирования: Измайлов В.В., Гусев А.Ф., Новоселова М.В. О зависимости переходного сопротивления контакта от контактного нажатия // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 5–12.

ON THE DEPENDENCE OF A BOUNDARY CONTACT RESISTANCE ON A CONTACT PRESSURE

V.V. IZMAILOV, Dr. Sc., A.F. GUSEV, Cand. Sc.,
M.V. NOVOSELOVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: : iz2v@tvcom.ru

The influence of some engineering and operational factors on the dependence of a boundary resistance of an electrical contact on contact pressure is considered theoretically and experimentally. It is shown that the dependence of the contact boundary resistance on contact load or nominal contact pressure in engineering (design) calculations may be described by a power-law function. The parameters of the power function depend on the nature of the deformation of the asperities of the rough contact surfaces, as well as on the maximum height of the asperities. The form of the height distribution function of the asperities has little effect on the parameters of the power function.

Keywords: electrical contacts, contact resistance, contact pressure, surface roughness.

REFERENCES

1. Izmajlov V.V., Novoselova M.V. Kontakt tverdyh tel i ego provodimost': monografiya [The contact of solids and its conductivity: monograph]. Tver': TGTU, 2010. 112 p.

2. Myshkin N.K. Konchic V.V., Braunovich M. Elektricheskie kontakty [Electrical contacts]. Dolgoprudnyj: Izdatel'skij Dom «Intellekt», 2008. 560 p.

3. Osnovy teorii elektricheskikh apparatov [Principles of Electrical Apparatus Theory] / Pod red. P. A. Kurbatova. St. Petersburg: Izdatel'stvo «Lan'», 2015. 592 p.

4. Spravochnik po raschetu i konstruirovaniyu kontaktnyh chastej sil'notochnyh elektricheskikh apparatov [Handbook on calculation and design of contact parts of high-current electrical apparatus] / Pod red. V.V. Afanas'eva. Leningrad: Energoatomizdat, 1988. 384 p.

5. Zajmovskij A.S., Usov V.V. Metally i splavy v elektrotekhnike [Metals and alloys in electrical engineering]. Moscow – Leningrad: Gosenergoizdat, 1941. 316 p.

МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Л.Е. АФАНАСЬЕВА¹, канд. физ.-мат. наук, А.Д. ЗИГЕРТ²,
А.И. ИВАНОВА², канд. физ.-мат. наук, Р.М. ГРЕЧИШКИН², д-р физ.-мат. наук

¹Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: ludmila.a@mail.ru

²Тверской государственной университет, 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33,
e-mail: alex-zigert@yandex.ru

© Афанасьева Л.Е., Зигерт А.Д.,
Иванова А.И., Гречишкин Р.М., 2020

Рассмотрены возможности использования индикаторных висмутсодержащих феррит-гранатовых пленок для визуализации пространственных распределений магнитных полей рассеяния дефектов сварных соединений. Рабочий слой индикаторных пленок толщиной 1...10 мкм получен методом жидкофазной эпитаксии на прозрачной подложке немагнитного гадолиний-галлиевого граната $Gd_3Ga_5O_{12}$ толщиной порядка 0,5 мм. Представлены результаты экспериментальных исследований использования индикаторных пленок с одноосной и плоскостной магнитной анизотропией для магнитооптической визуализации полей рассеяния изучаемых объектов.

Ключевые слова: сварное соединение, неразрушающий контроль, дефекты, визуализация, магнитооптические феррит-гранатовые пленки.

ВВЕДЕНИЕ

Для выявления дефектов сварных соединений используют различные методы неразрушающего контроля: визуально-измерительный, ультразвуковой, магнитный, радиографический и др. [1]. Применение неразрушающего контроля сварных соединений позволяет минимизировать аварийные риски и повысить уровень эксплуатационной безопасности сварных конструкций.

Магнитная дефектоскопия сварных соединений основана на выявлении рассеянных магнитных потоков, или «полей дефектов», появляющихся в намагниченных изделиях в случае их присутствия. К наиболее распространенным методам визуализации дефектов сварных соединений относятся методы магнитопорошкового, магнитографического и индукционного контроля [1]. В последние годы отмечается развитие нового метода магнитной дефектоскопии – магнитооптического [2–12]. Технология магнитооптической визуализации полей рассеяния дефектов включает в себя возбуждение магнитных полей рассеяния дефектов контролируемого сварного соединения, их запись на магнитный носитель, визуализацию магнитограмм с использованием преобразователей на основе магнитооптического эффекта Фарадея, анализ и оценку полученных результатов контроля [4]. В качестве магнитных индикаторных сред используют висмутсодержащие монокристаллические пленки ферритов-гранатов, обладающие аномально большим удельным вращением плоскости поляризации света и высокой прозрачностью (Vi:ФГ пленки) [3–5]. В тех областях техники, где не требуются высокий магнитооптический контраст и чувствительность, в качестве индикатора полей рассеяния используются более дешевые аморфные пленки гадолиний-кобальт (Gd-Co) [12].

Технические средства магнитооптической дефектоскопии отличаются высокой производительностью, малым энергопотреблением, возможностями программной обработки и документирования результатов, автономностью и мобильностью [10]. С целью получения сравнительной оценки чувствительности данного метода в работе [10] выполнена визуализация поверхностных трещин тестового образца различными методами контроля: визуально-оптическим, капиллярным, магнитопорошковым и магнитооптическим. Авторы работы выяснили, что при магнитооптической визуализации отображается геометрическая конфигурация не только трещин, но и области концентрации внутренних напряжений в точке роста трещины. Полученные оценки чувствительности метода магнитооптической визуализации к различным классам дефектов показывают его превосходство над визуально-оптическим, магнитопорошковым и капиллярным методами [10].

Метод магнитооптической визуализации эффективен при неразрушающем контроле приповерхностных слоев глубиной до 2 мм и тонкостенных ферромагнитных изделий [10]. Этот метод можно использовать также для контроля качества сварных соединений проводящих неферромагнитных материалов (алюминиевых сплавов, нержавеющей стали аустенитного класса и т.п.) за счет индуцирования вихревых токов [11]. Индикаторные Vi:ФГ пленки показали свою эффективность при анализе микрополей магнитных носителей информации, магнитных головок, доменной структуры материалов, сверхпроводников и т.д. [6–9]. Технологические возможности метода жидкофазной эпитаксии позволяют получать Vi:ФГ пленки с разными типами эффективной магнитной анизотропии. Цель настоящей работы – рассмотреть особенности применения индикаторных Vi:ФГ пленок с разными типами магнитной анизотропии (одноосной и плоскостной) для магнитооптической визуализации дефектов сварных соединений.

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве тестовых объектов использовали заготовку из конструкционной стали марки 09Г2С с прямоугольной прорезью шириной 0,3 мм и глубиной 7 мм, образцы сварного соединения нержавеющей стали аустенитного класса марки 12Х18Н12Т с углеродистой сталью 20 и наплавленную быстрорежущую сталь марки Р2М8, полученную с помощью импульсно-дуговой наплавки и содержащую поры.

Регистрацию и анализ магнитооптических изображений выполняли с помощью металлографического микроскопа МИМ-8, оснащенного цифровой камерой. Для анализа изображений применяли специальное программное обеспечение со встроенными функциями количественного анализа.

Для визуализации микрораспределений магнитного поля дефектов в качестве индикатора поля использовали монокристаллические висмутсодержащие пленки ферритов-гранатов (Vi:ФГ) состава $\text{R}_{3-x}\text{Vi}_x\text{Fe}_{5-y}\text{M}_y\text{O}_{12}$, где R – комбинация редкоземельных элементов, M – Ga, Al. Рабочий слой Vi:ФГ толщиной 1...10 мкм выращен методом жидкофазной эпитаксии на жесткой плоской прозрачной подложке немагнитного гадолиний-галлиевого граната $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ толщиной ~0,5 мм. На рабочую поверхность преобразователя нанесены зеркальный слой серебра или алюминия и износостойкое покрытие.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Vi:ФГ пленки с одноосной магнитной анизотропией. Пленки с преимущественно одноосной магнитной анизотропией обладают в равновесном состоянии лабиринтной структурой магнитных доменов 180-градусного типа с ориентацией векторов намагниченности соседних доменов $\pm\mathbf{M}_s$ вдоль нормали z к плоскости пленки.

Анализ доменной структуры, образующейся при воздействии изучаемого внешнего магнитного поля, позволяет получить информацию о распределении z -компоненты этого поля в плоскости пленки [4].

В зависимости от градиента внешнего поля, действующего на одноосные пленки, образуются два основных типа конфигураций доменов. Если на пленку, лежащую в плоскости xu , воздействует внешнее неоднородное поле вида $H_z(x) = \beta x$, то при значениях β , больших некоторого критического градиента β_c , вдоль оси y образуется плоская изолированная доменная граница. При $\beta < \beta_c$ возникает так называемая синусоидальная неустойчивость – волнообразные искривления формы доменных границ [4]. Критический градиент β_c зависит от намагниченности насыщения M_s , толщины пленки h и характеристической длины материала $l_c = \sigma/4\pi M_s^2$, где σ – поверхностная плотность энергии доменной границы.

Наиболее распространенным видом поверхностных дефектов сварных соединений, которые активно исследуются ввиду их опасности, являются трещины. Именно этот тип дефектов является тестовым при оценке чувствительности многих методов неразрушающего контроля [1]. На рис. 1 представлены магнитооптические отображения модельного дефекта – прямоугольной прорези в образце стали 09Г2С с помощью одноосной гранатовой пленки на разных расстояниях от поверхности. Образец подмагничен П-образным магнитом перпендикулярно прорези.

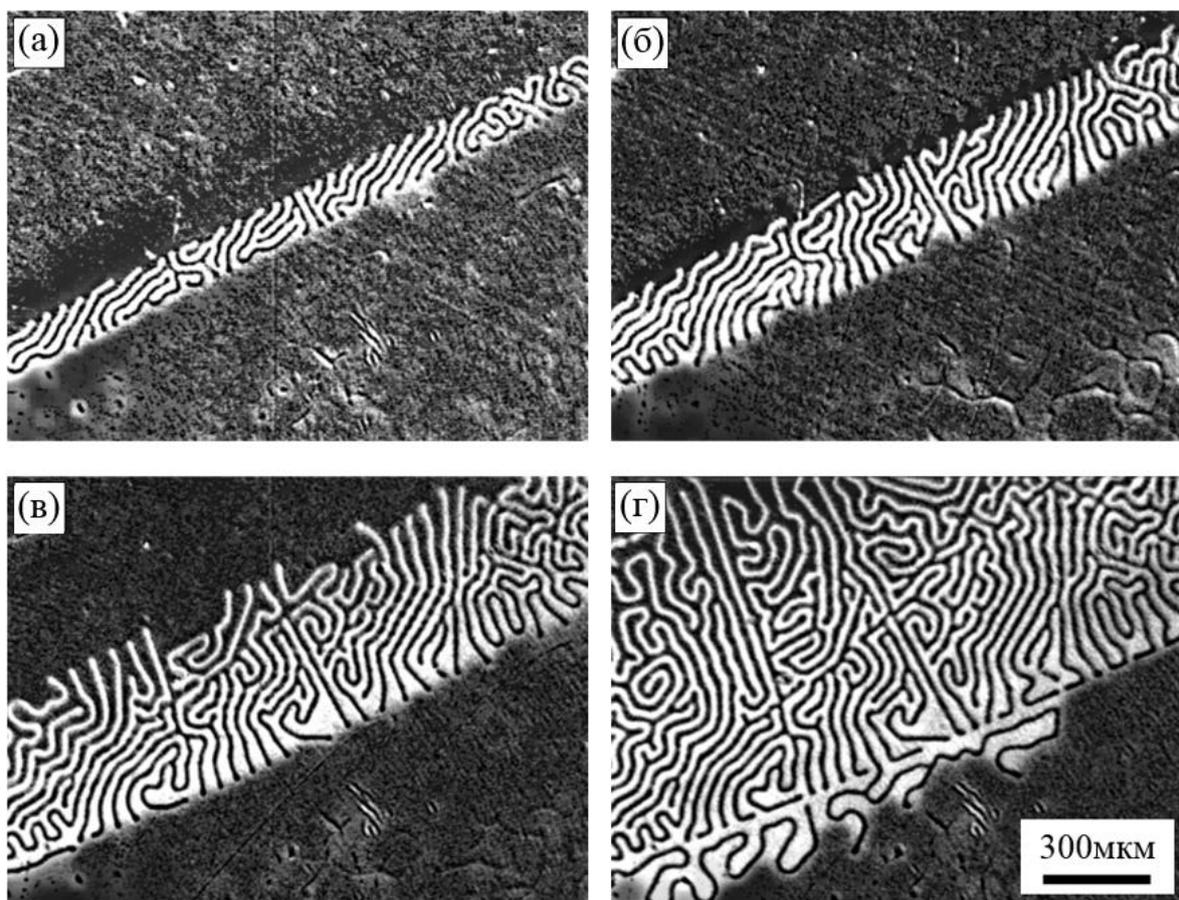


Рис. 1. Отображение поля рассеяния прямоугольной прорези в стали марки 09Г2С с помощью одноосной V_i :ФГ пленки при расстояниях до поверхности образца, мм: 0,3 (а); 0,6 (б); 1,5 (в); 3 (г)

Увеличение расстояния до дефекта приводит к расширению полосы индуцированной доменной лабиринтной структуры, отображающей дефект, что объясняется уменьшением нормальной компоненты поля рассеяния и его градиента. Границы полосы соответствуют изолиниям, вдоль которых происходит смена знака z -компоненты исследуемого внешнего поля. При еще меньших значениях амплитуды и градиента внешнего поля в индикаторной пленке наблюдается ее собственная лабиринтная доменная структура и эффект источника (дефекта) проявляется в модуляции ширины этих доменов, хорошо распознаваемой при визуальном контроле.

Vi:ФГ пленки с плоскостной магнитной анизотропией. Для интерпретации индуцированных внешним полем конфигураций доменной структуры в одноосных индикаторных пленках в работе [4] предложены схемы и правила построения магнитных топограмм – множества изолиний изучаемого поля, для нахождения которых используется регулируемое вспомогательное поле от независимого внешнего источника. Гистерезис и коэрцитивность доменных границ являются основным источником погрешностей при топографировании полей рассеяния дефектов с помощью одноосных Vi:ФГ пленок.

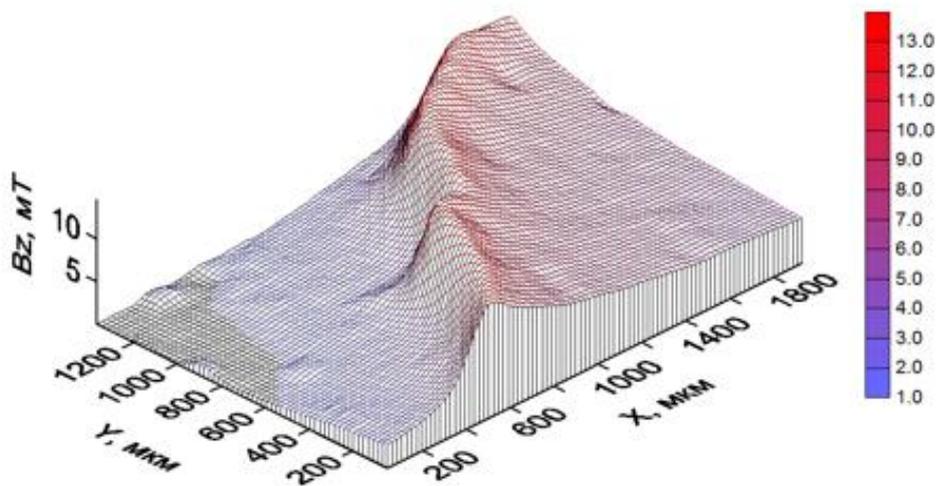
Эти недостатки метода визуализации с помощью одноосных Vi:ФГ пленок устраняются при использовании квазиизотропных пленок с минимизированной кубической и наведенной анизотропией. В этом случае из-за анизотропии формы в нулевом внешнем поле вектора намагниченности лежат в плоскости пленки. При воздействии внешнего поля энергия анизотропии

$$E = E_s + E_H = K_s \sin^2\varphi - H_e M_s \cos(\theta - \varphi),$$

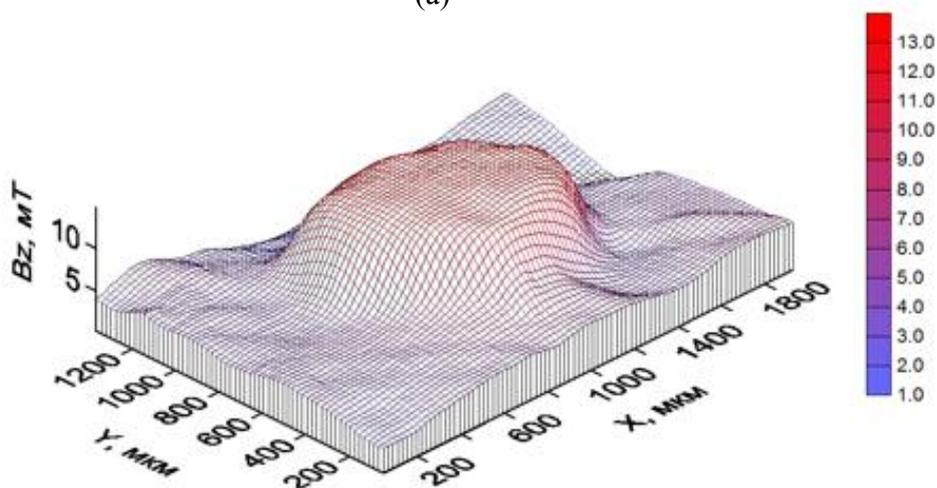
где θ – угол между направлением внешнего поля H_e и плоскостью пленки. Устойчивое направление M_s определяется из условия минимума энергии $\partial E/\partial\varphi = 0$. Для частного случая $\theta = \pi/2$ нормальная z -проекция намагниченности при $M_z \leq M_s$ является линейной функцией внешнего поля ($M_z = M_s^2 H/2K_s$), что благоприятно для построения аналоговых магнитооптических преобразователей на эффекте Фарадея, так как поворот плоскости поляризации при эффекте Фарадея пропорционален именно z -компоненте намагниченности. В отсутствие внешнего поля векторы намагниченности собственных доменов пленки лежат в плоскости пленки, и в геометрии Фарадея эти домены являются невидимыми. Контраст возникает только при выходе вектора намагниченности из плоскости образца.

В плоскостных пленках благодаря обратимым безгистерезисным процессам вращения намагниченности образуется аналоговое полутоновое изображение, локальная яркость которого является непрерывной функцией нормальной компоненты внешнего поля. Это позволяет, в дополнение к визуальному контролю, получать количественную информацию о топографии поля дефектов путем обработки соответствующих изображений на ЭВМ.

Полученные таким способом магнитограммы полей рассеяния сварного соединения нержавеющей стали 12X18H12T со сталью 20 (поперечный шлиф) и поры в наплавленной быстрорежущей стали представлены на рис. 2. Результаты выполненных исследований показывают, что магнитная визуализация полей рассеяния дефектов наглядна, имеет высокую разрешающую способность.



(а)



(б)

Рис. 2. Магнитогаммы полей рассеяния сварного соединения нержавеющей стали 12Х18Н12Т со сталью 20 (поперечный шлиф) (а) и поры в наплавленном металле (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индикаторные магнитооптические феррит-гранатовые пленки расширяют функциональные возможности методов магнитного контроля и могут успешно применяться для характеристики сварных соединений и их дефектов, а также быть полезными при металлографических исследованиях сварных соединений как однофазных, так и многофазных сплавов, содержащих магнитные структурные составляющие.

Компьютерная установка для магнитооптической визуализации в лабораторных условиях базируется на стандартном оборудовании – металлографических микроскопах, оснащенных цифровыми видеокамерами. Для обработки и анализа изображений применяется специальное программное обеспечение со встроенными функциями количественного анализа. Для работы в полевых условиях можно использовать

упрощенный вариант ручного дефектоскопа с несложной оптической системой и видеокамерой с экраном.

Рассмотренная магнитооптическая методика может быть также использована в традиционной магнитографической дефектоскопии для быстрой и качественной визуализации магнитных отпечатков на магнитных лентах, их компьютерного анализа и занесения информации в банк данных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Металлографические исследования выполнены с использованием оборудования Регионального центра коллективного пользования на базе Тверского государственного университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник / под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 1986. Т. 2. 351 с.
2. Абакумов А.А. Система визуализации дефектов внутренней структуры ферромагнитных объектов // *Приборы и системы управления*. 1997. № 10. С. 32–35.
3. Звездин А.К., Котов В.А. Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988. 192 с.
4. Кубраков Н.Ф. Метод магнитооптической визуализации и топографирования пространственно-неоднородных магнитных полей // *Труды ИОФАН*. Т. 35. М.: Наука, 1992. С. 136–164.
5. Afanas'eva L.E., Zubkov N.S., Soshin S.S., Glukhov O. Computer methods of structural analysis // *Welding International*. 2000. V. 14. № 3. P. 236–237.
6. Гречишкин Р.М., Гусев М.Ю., Чигиринский С.А., Ильяшенко С.Е., Афанасьева Л.Е., Мамкина Н.О. Магнитооптические твердотельные индикаторные среды и их технические применения // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2007. № S2. С. 99–110.
7. Grechishkin R.M., Goosev M.Yu., Ilyashenko S.E., Neustroev N.S. High-resolution sensitive magneto-optic ferrite-garnet films with planar anisotropy // *Journal of magnetism and magnetic materials*. 1996. V. 157. P. 305–306.
8. Гусев М.Ю., Гречишкин Р.М., Козлов Ю.Ф., Неустроев Н.С. Магнитооптическая визуализация магнитного поля с помощью монокристаллических пленок ферритов-гранатов // *Известия вузов. Материалы электронной техники*. 2000. № 1. С. 27–37.
9. Вирченко М.К., Егужокова Р.М., Залетов А.Б., Иванова А.И. Магнитооптический контроль пространственных распределений магнитного поля микроэлектромеханических систем // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2017. № 9. С. 128–132.
10. Агалиди Ю.С., Левый С.В., Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н. Магнитооптическая дефектоскопия приповерхностных слоев ферромагнитных изделий // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2007. № 4. С. 16–20.
11. Вишневецкий В.Г., Бержанский В.Н., Козик Г.П., Михайлов В.И., Панков Ф.Н., Левый С.В., Агалиди Ю.С. Магнитооптический вихретоковый контроль: интроскопический и магнитографический методы // *Вестник Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского*. 2011. Т. 24. № 2. С. 127–140.
12. Иванов В.Е. Визуализация неоднородных магнитных полей при помощи аморфных пленок гадолиний-кобальт // *Физика металлов и металловедение*. 2008. Т. 105. № 5. С. 485–491.

Для цитирования: Афанасьева Л.Е., Зигерт А.Д., Иванова А.И., Гречишкин Р.М. Магнитооптическая визуализация дефектов сварных соединений // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 13–20.

MAGNETO-OPTICAL VISUALIZATION OF WELDED JOINTS DEFECTS

L.E. AFANASIEVA¹, Cand. Sc., A.D. ZIGERT²,
A.I. IVANOVA², Cand. Sc., R.M. GRECHISHKIN², Dr. Sc.

¹ Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: ludmila.a@mail.ru

² Tver State University, 33, Zhelyabova st. 170100, Tver,
Russian Federation, e-mail: alex-zigert@yandex.ru

The possibilities of using indicator bismuth-containing ferrite-garnet films for visualizing spatial distributions of magnetic fields of scattering of defects of welded joints are considered. The working layer of indicator films 1 ... 10 μm thick was obtained by liquid-phase epitaxy on a transparent substrate of non-magnetic gadolinium-gallium gallium Gd₃Ga₅O₁₂ garnet with a thickness of about 0.5 mm. The results of experimental studies of the use of indicator films with uniaxial and planar magnetic anisotropy for magneto-optical visualization of the scattering fields of the studied objects are presented.

Keywords: welded joint, non-destructive testing, defects, visualization, magneto-optical ferrite-garnet films.

ACKNOWLEDGMENTS

These studies were performed using the equipment of the Regional Center of Tver State University.

REFERENCES

1. Pribory dlya nerazrushayushchego kontrolya materialov i izdeliy. Spravochnik [Devices for non-destructive testing of materials and products. Handbook]. Pod red. V.V. Klyuyeva. Moscow: Mashinostroyeniye, 1986. V. 2. 351 p.
2. Abakumov A.A. A system for visualizing defects in the internal structure of ferromagnetic objects. *Pribory i sistemy upravleniya*. 1997. No. 10, pp. 32–35. (In Russian).
3. Zvezdin A.K., Kotov V.A. Magnitooptika tonkikh plonok. [Magneto-optics of thin films]. Moscow: Nauka, 1988. 192 p.
4. Kubrakov N.F. The method of magneto-optical visualization and topography of spatially inhomogeneous magnetic fields. *Trudy IOFAN*. V. 35. Moscow: Nauka, 1992, pp. 136–164. (In Russian).
5. Afanas'eva L.E., Zubkov N.S., Soshin S.S., Glukhov O. Computer methods of structural analysis. *Welding International*. 2000. V. 14. No. 3, pp. 236–237.
6. Grechishkin R.M., Gusev M.Yu., Chigirinsky S.A., Ilyashenko S.E., Afanasieva L.E., Mamkina N.O. Magneto-optical solid-state indicator media and their

technical applications. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2007. No. S2, pp. 99–110. (In Russian).

7. Grechishkin R.M., Goosev M.Yu., Ilyashenko S.E., Neustroev N.S. High-resolution sensitive magneto-optic ferrite-garnet films with planar anisotropy. *Journal of magnetism and magnetic materials*. 1996. V. 157, pp. 305–306.

8. Gusev M.Yu., Grechishkin R.M., Kozlov Yu.F., Neustroev N.S. Magneto-optical visualization of a magnetic field using single-crystal films of garnet ferrite. *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoy tekhniki*. 2000. No. 1, pp. 27–37. (In Russian).

9. Virchenko M.K., Eguzhokova R.M., Zaletov A.B., Ivanova A.I. Magneto-optical control of spatial distributions of the magnetic field of microelectromechanical systems. *Fiziko-khimicheskiye aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*. 2017. No. 9, pp. 128–132. (In Russian).

10. Agalidi Yu.S., Levyy S.V., Troitsky V.A., Posypayko Yu.N. Magneto-optical flaw detection of the surface layers of ferromagnetic products. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol'*. 2007. No. 4, pp. 16–20. (In Russian).

11. Vishnevsky V.G., Berzhansky V.N., Kozik G.P., Mikhailov V.I., Pankov F.N., Levyy S.V., Agalidi Yu.C. Magneto-optic eddy current control: introsopic and magnetographic methods. *Vestnik Fiziko-tekhnicheskogo instituta Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo*. 2011. V. 24. No. 2, pp. 127–140. (In Russian).

12. Ivanov V.E. Visualization of inhomogeneous magnetic fields using amorphous gadolinium-cobalt films // *Fizika metallov i metallovedeniye*. 2008. V. 105. No. 5, pp. 485–491. (In Russian).

ПАТРОН КЛИНОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ НА ЦЕНТРАХ ТОКАРНОГО СТАНКА

А.П. АРХАРОВ, канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: arharovanatoliy@yandex.ru

© Архаров А.П., 2020

Отмечена актуальность выполненных исследований. Представлен анализ известных патронов для установки валов на технологическое оборудование. Выявлены их существенные недостатки. Приведено описание предложенного патрона. Проведен сравнительный анализ разработанного патрона с аналогичными известными конструкциями. Отражены оригинальность разработки и достигаемый технический результат.

Ключевые слова: патрон клиновой механизированный, кулачки, заготовка, установка, центровое отверстие, станок, центр.

ВВЕДЕНИЕ

В состав изделий машиностроения, в том числе станкостроения, часто входят валы. При их изготовлении на большинстве операций механической обработки в качестве технологических баз используют центровые отверстия. Это обеспечивает сохранение постоянства баз, что важно при автоматизации технологического процесса. При этом может использоваться различный набор средств для установки заготовки на центрах станка и средств для передачи ей крутящего момента от шпинделя станка. Так, для обработки валов с одной установки напроход применяют специальные торцовые поводковые центры [1], которые содержат в своем составе поводковые шайбы, которые передают заготовке крутящий момент. Это исключает необходимость использования поводкового устройства. Однако от использования поводковой шайбы на торце детали остаются следы, которые снижают качество валов.

Для установки валов используют также рифленые упорные центры (передний и задний) [2], позволяющие вести обработку без поводка. Однако установка на рифленые центры не обеспечивает высокой точности (ввиду большого радиального биения – до 0,5 мм) и допускает только однократное использование центровых гнезд в качестве базы вследствие повреждения их при первой установке.

Существует также набор технологических средств для установки вала на центры станка, который включает упорные передний и задний центры, поводковый патрон и хомутик [3]. При этом упорные центры устанавливаются в шпиндель станка и в пиноль задней бабки. Поводковый патрон устанавливают на шпиндель, а хомутик – на заготовку. Затем заготовку с хомутиком устанавливают на упорные центры. Однако размещение и закрепление хомутика на валу, а затем его снятие снижает производительность установки и препятствует автоматизации загрузки и разгрузки технологического оборудования.

Патрон двухкулачковый клиновой механизированный [4, 5] состоит из корпуса с окном и двумя радиальными пазами. Внутри корпуса размещен толкатель, который обладает способностью осевого перемещения и содержит наклонные клиновые пазы. Ползуны с кулачками и наклонными клиновыми выступами размещены в радиальных пазах корпуса и имеют сопряжения с наклонными клиновыми пазами. Патрон содержит

также шток, соединенный с двуплечим рычагом. В корпусе выполнено окно, на боковых сторонах которого закреплены шпонки. Толкатель выполнен в виде двух полувтулок, между которыми размещен шток, а каждая из полувтулок содержит гнездо с боковыми уступами, сопряженными со шпонками. На штоке перпендикулярно его оси и с возможностью поворота вокруг оси, перпендикулярной оси штока, размещен двуплечий рычаг, концы плеч которого расположены в гнездах полувтулок. Окна на боковых сторонах корпуса в совокупности с расположенными в них шпонками функционируют как направляющие. Толкатель, выполненный в виде двух полувтулок с размещенным между ними штоком, обеспечивает кулачкам переменный характер движения в случае соприкосновения с заготовкой только одного кулачка, а также закрепление последней только после соприкосновения с ней другого кулачка. Благодаря этому кулачки получают возможность самоустанавливаться по контуру, несимметричному и симметричному относительно базовой поверхности заготовки.

Размещение двуплечего рычага на штоке с возможностью поворота вокруг оси, перпендикулярной оси штока, обеспечивает независимые движения полувтулок и, следовательно, установку с высокой точностью заготовок, несимметричных по контуру. Однако в указанном патроне невозможно устанавливать валы с базированием по центровым отверстиям.

Целью статьи является разработка кулачкового механизированного патрона для установки вала на центрах токарного станка, в котором для передачи крутящего момента от шпинделя к валу вместо малопроизводительного поводкового патрона использовалось бы более совершенное средство.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе выполнен структурный анализ известных средств установки валов на центрах металлорежущего оборудования, а при разработке нового патрона использовался принцип сохранения базирования заготовки при ее последующем закреплении.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение поставленной цели достигнуто в разработанном устройстве для установки вала на центры токарного станка. Его основу составляет механизированный патрон с переменным движением кулачков [5].

Сравнение разработанного патрона с известным [5] показывает, что разработанный патрон дополнительно содержит фланец с коническим отверстием и упорный центр с присоединительным конусом, а также отличается расположением и связями упомянутых конструктивных элементов. Это обеспечивает возможность базирования устанавливаемой заготовки в центрах, из которых передним центром является упорный центр патрона, а также ее закрепление переменным движением кулачков. Причем такое закрепление может быть выполнено за поверхности с отклонениями формы и отклонениями расположения относительно базового центрального отверстия без нарушения выполненного базирования. В то же время в разработанном патроне сохранены возможности известного патрона по закреплению без деформации заготовки по поверхностям симметричного и несимметричного контуров, а также заготовки, не имеющей центральных отверстий. Поскольку разработанный патрон, как и известный, не является самоцентрирующим, то в нем за счет соосного расположения конического отверстия относительно центрирующего пояса обеспечивается соосность упорного центра относительно упомянутого пояса, что уменьшает погрешность базирования.

На рисунке показан общий вид патрона. Патрон содержит корпус 1, на первом торце которого выполнены радиальные пазы 2 и 3, а на втором – центрирующий пояс 4. В патроне имеется шток 5, ползуны 6 и 7 с кулачками 8 и 9, размещенные в радиальных пазах 2 и 3 соответственно, и механизм 10 преобразования осевого перемещения штока 5 в переменные радиальные движения кулачков. Кроме того, патрон снабжен упорным центром 11 с присоединительным конусом 12 и фланцем 13 с коническим отверстием 14. Причем фланец закреплен на первом торце корпуса с обеспечением соосности своего конического отверстия относительно центрирующего пояса, а упорный центр установлен присоединительным конусом в коническом отверстии. Заготовка 15 имеет центровые отверстия 16.

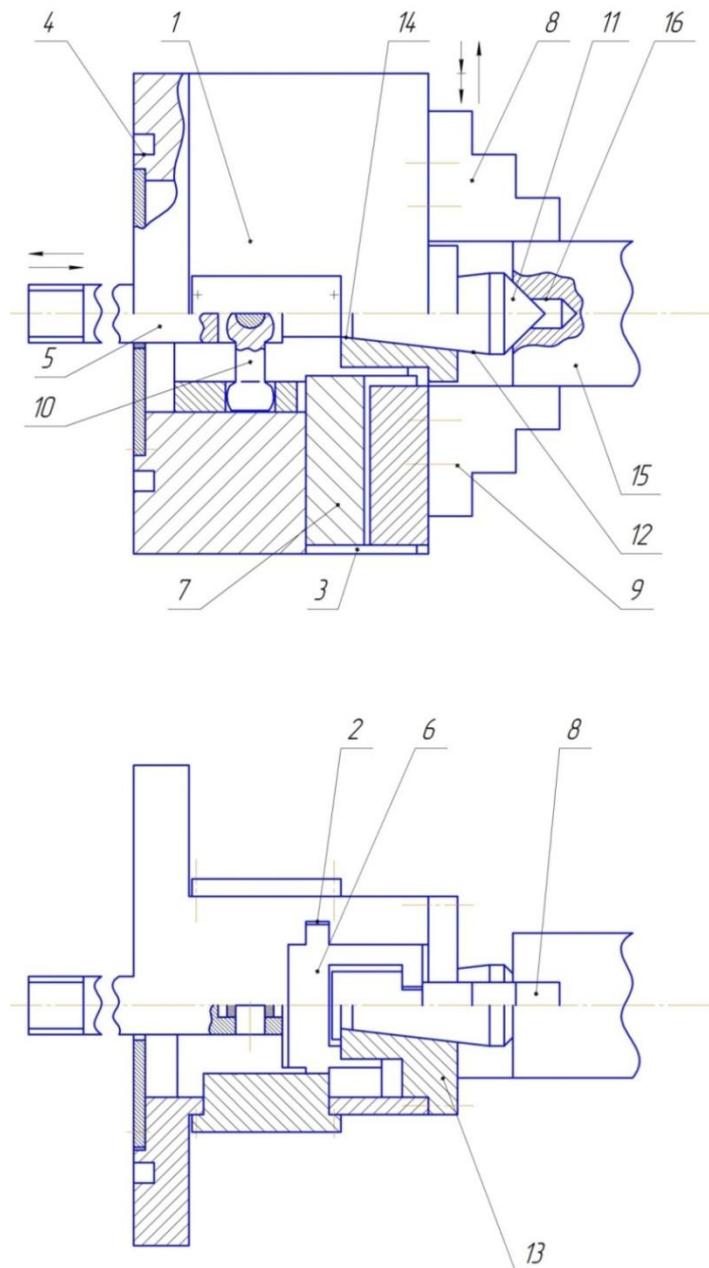


Схема клинового механизированного патрона

Патрон работает следующим образом. В корпусе патрона, установленного центрирующим пояском на шпиндель станка (на рисунке не показан), базируют заготовку путем установки ее одним из своих центровых отверстий на упорный центр, а другим – на задний центр, закрепленный в пиноли задней бабки (на рисунке не показаны). От привода сообщают движение штоку. Это осевое движение с помощью механизма 10 преобразуется в радиальные переменные перемещения ползунов 6 и 7 с кулачками 8 и 9 соответственно. При соприкосновении одного из кулачков с заготовкой его движение прерывается, а движение другого продолжается. Движение остановившегося кулачка возобновляется после касания другим кулачком заготовки. Дальнейшее совместное движение обоих кулачков приводит к закреплению заготовки. Переменное движение кулачков не нарушает выполненного базирования заготовки на упорном центре независимо от того, что поверхность, за которую происходит закрепление, может иметь погрешность формы и отклонение от ее соосности относительно центрального отверстия, а также независимо от возможного отклонения от симметричности рабочих поверхностей кулачков относительно оси упорного центра. Выполненное таким образом закрепление обеспечивает передачу заготовке крутящего момента от шпинделя при последующей обработке. В разработанном патроне возможна также установка заготовок, не имеющих центровых отверстий с симметричным и несимметричным контурами и не обладающих при закреплении подвижностью в радиальном направлении.

Таким образом, обеспечивается повышение производительности, расширение технологических возможностей патрона и повышение точности установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный структурный анализ средств, используемых при установке заготовок на токарный станок, а также известных из литературных источников и патентной документации, выявил их невысокую производительность, ограниченные технологические возможности, а в некоторых случаях – снижение точности установки. Разработанный патрон позволяет устранить отмеченные недостатки. Патрон может быть использован на машиностроительных предприятиях при автоматической загрузке, разгрузке и переустановке заготовок на технологическом оборудовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов Б.Л., Глейзер Л.А., Колесов И.М. Технология машиностроения: учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1986. 656 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. М.: Машиностроение-1, 2003. 912 с.
4. Архаров А.П., Павлов А.В. Двухкулачковый механизированный токарный патрон // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2018. № 2 (34). С. 53–56.
5. Патент РФ 2655417. *Патрон двухкулачковый клиновой механизированный* // Архаров А.П., Павлов А.В. Заявл. 18.07.2017. Опубл. 28.05.2018, Бюл. № 16.

Для цитирования: Архаров А.П. Патрон клиновой механизированный для установки заготовки на центрах токарного станка // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 21–25.

WEDGE MECHANIZED CHUCK FOR INSTALLATION ON THE CENTERS OF THE LATHE

A.P. ARKHAROV, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: arharovanatoliy@yandex.ru

The relevance of the research topic is noted. Analysis of the chucks for shaft fastening on technological equipment is done. Significant deficiencies of the chucks are identified. The developed chuck description is given below. A comparative analysis of the developed chuck and similar known designs is carried out. The development originality and the achieved technical result are reflected in this work.

Keywords: chuck wedge mechanized, jaws, workpiece, installation, center hole, lathe, center.

REFERENCES

1. Bepalov B.L., Glazer L.A., Kolesov I.M. Tehnologija mashinostroenija. Uchebnoe posobie dlja vuzov [Engineering technology. Textbook for universities]. Moscow: Mashinostroenie, 1973. 448 p.
2. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja: v 2 t. [Directory technologist machine builder in 2 volumes] V. 1 / Eds. A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 656 p.
3. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja: v 2 t. [Directory technologist machine builder in 2 volumes] V. 1 / Eds. A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, A.G. Suslov. Moscow: Mashinostroenie-1, 2003. 912 p.
4. Arkharov A.P., Pavlov A.V. Scroll two-jaw mechanized chuck. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2018. No. 2 (34), pp. 53–56. (In Russian).
5. Patent RF 2655417 *Patron dvuhkulachkovyi klinovoi mehanizirovannyi* [Wedge two-jaw mechanized chuck] // Arkharov A.P., Pavlov A.V. Declared 18.07.2017. Published 28.05.2018, Bulletin No. 16.

ПАТРОН ЦАНГОВЫЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ

А.П. АРХАРОВ, канд. техн. наук, А.И. КОЗЛОВ

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: *arharovanatoliy@yandex.ru*

© Архаров А.П., Козлов А.И., 2020

Выполнен анализ конструкций известных цанговых патронов для установки заготовок на металлорежущих станках. Выявлены их недостатки. Приведена схема разработанного механизированного цангового патрона. Проведено сравнение по существенным признакам его конструкции с существующими патронами. Отмечен достигаемый технический результат. Отражена область использования разработанного патрона.

Ключевые слова: патрон, цанга, заготовка, втулка, переустановка, закрепление, точность, автоматизация.

ВВЕДЕНИЕ

Среди факторов, влияющих на точность изготовления деталей на металлорежущих станках, можно выделить деформацию обрабатываемых заготовок от сил закрепления. Этот фактор имеет особое значение при изготовлении тонкостенных деталей. При высоких требованиях к расположению обрабатываемых поверхностей относительно баз заготовки устанавливаются отверстиями в самоцентрирующие патроны и на различные оправки. В таких приспособлениях сила закрепления распределяется на расширенную площадь охвата зажимными элементами поверхности закрепления. Однако при изготовлении тонкостенных деталей на современном оборудовании (например, на обрабатывающих центрах с двумя шпинделями – основным и противошпинделем) возникает необходимость переустановки заготовки. При этом заготовка остается закрепленной в приспособлении основного шпинделя и не может перемещаться в радиальном направлении. Поэтому самоцентрирующий цанговый патрон, установленный на противошпинделе, при перехвате заготовки будет деформировать ее из-за погрешности формы отверстия, за которое производится перезакрепление, и вследствие отклонения от соосности упомянутого отверстия относительно оси цанги патрона.

Анализ литературных источников показал следующее. Автоматический цанговый патрон для закрепления тонкостенного полого цилиндрического изделия [1] содержит корпус, выполненный с цилиндрическим каналом. Патрон своим корпусом закрепляется на шпинделе станка. В патроне имеются также цанга с прорезями, на лепестках которой с внутренней стороны выполнены конические участки, и тяга, соединенная с подвижным валом в шпиндельном узле. Эта тяга размещена в полости цанги и выполнена с конической шляпкой, которая сопряжена с коническими участками лепестков цанги. Тяга размещена в цилиндрическом канале корпуса с возможностью осевого перемещения.

Однако такой цанговый патрон выполнен самоцентрирующим и предназначен для закрепления заготовки, подвижной в радиальном направлении. Его использование для закрепления тонкостенной заготовки, не имеющей при закреплении подвижности

в радиальном направлении, приведет к деформации упомянутой заготовки из-за погрешности формы закрепляемой поверхности и отклонения ее от соосности относительно оси патрона.

Существует также механизированная шпиндельная оправка, сущность которой раскрыта в [2]. Она выполнена в виде корпуса с центральным отверстием и с хвостовиком и цанги с лепестками и коническим отверстием. На хвостовике имеется нажимной элемент в виде конуса, сопряженного с коническим отверстием цанги. В центральном отверстии установлен шток привода с возможностью осевого перемещения. На штоке закреплена цанга. Известны и другие цанговые оправки, содержащие в своем составе сборную тягу и конус [3, 4]. Эти оправки применяют для втулок, обладающих при закреплении подвижностью в радиальном направлении.

Однако использование оправок при автоматическом закреплении тонкостенной заготовки, не имеющей подвижности в радиальном направлении при закреплении, приводит к деформации заготовки, вызванной разным давлением лепестков цанги ввиду отклонений от соосности отверстия заготовки, за которое производится закрепление, и оси цанги.

Цель настоящей работы – разработка усовершенствованной конструкции механизированного цангового патрона для переустановки тонкостенной заготовки на металлорежущих станках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Известно, что процесс проектирования включает анализ и синтез [5]. В данной работе для проверки новизны решений поставленной цели применялся структурный анализ используемых на практике, описанных в научной литературе и в патентной документации цанговых патронов и оправок для закрепления тонкостенных заготовок. При разработке нового патрона применялся синтез таких элементов, которые в совокупности образуют единое целое, отвечающее критерию оригинальности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение поставленной задачи и технический результат достигаются тем, что разработанный механизированный цанговый патрон содержит корпус с центральным отверстием, цангу с лепестками и коническим отверстием, выполненным на лепестках, привод со штоком, сопряженным с центральным отверстием с возможностью осевого перемещения, и нажимной элемент с наружным конусом. Последний сопряжен с коническим отверстием цанги. Нажимной элемент выполнен в виде втулки, установленной на штоке с возможностью радиального смещения относительно оси штока, а цанга закреплена на корпусе. Сравнение разработанного патрона с вышеупомянутой механизированной шпиндельной оправкой показывает следующее. В шпиндельной оправке цанга закреплена на штоке и сопряжена с неподвижным наружным конусом. При переустановке заготовка и шпиндельная оправка расположены между собой с отклонениями от соосности. Поэтому для обеспечения равномерности закрепления всеми лепестками в условиях автоматической переустановки заготовка должна обладать подвижностью в радиальном

направлении. В рассматриваемых условиях заготовка не имеет такой подвижности, поскольку на исходной позиции она закреплена. Для исключения деформации тонкостенной заготовки при ее переустановке в предлагаемом патроне цанга закреплена на корпусе, а втулка установлена на штоке с возможностью радиального смещения при касании заготовки не всеми лепестками цанги. Это обеспечивает выравнивание давления на заготовку всеми лепестками и позволяет повысить точность установки заготовки.

Схема цангового патрона приведена на рисунке.

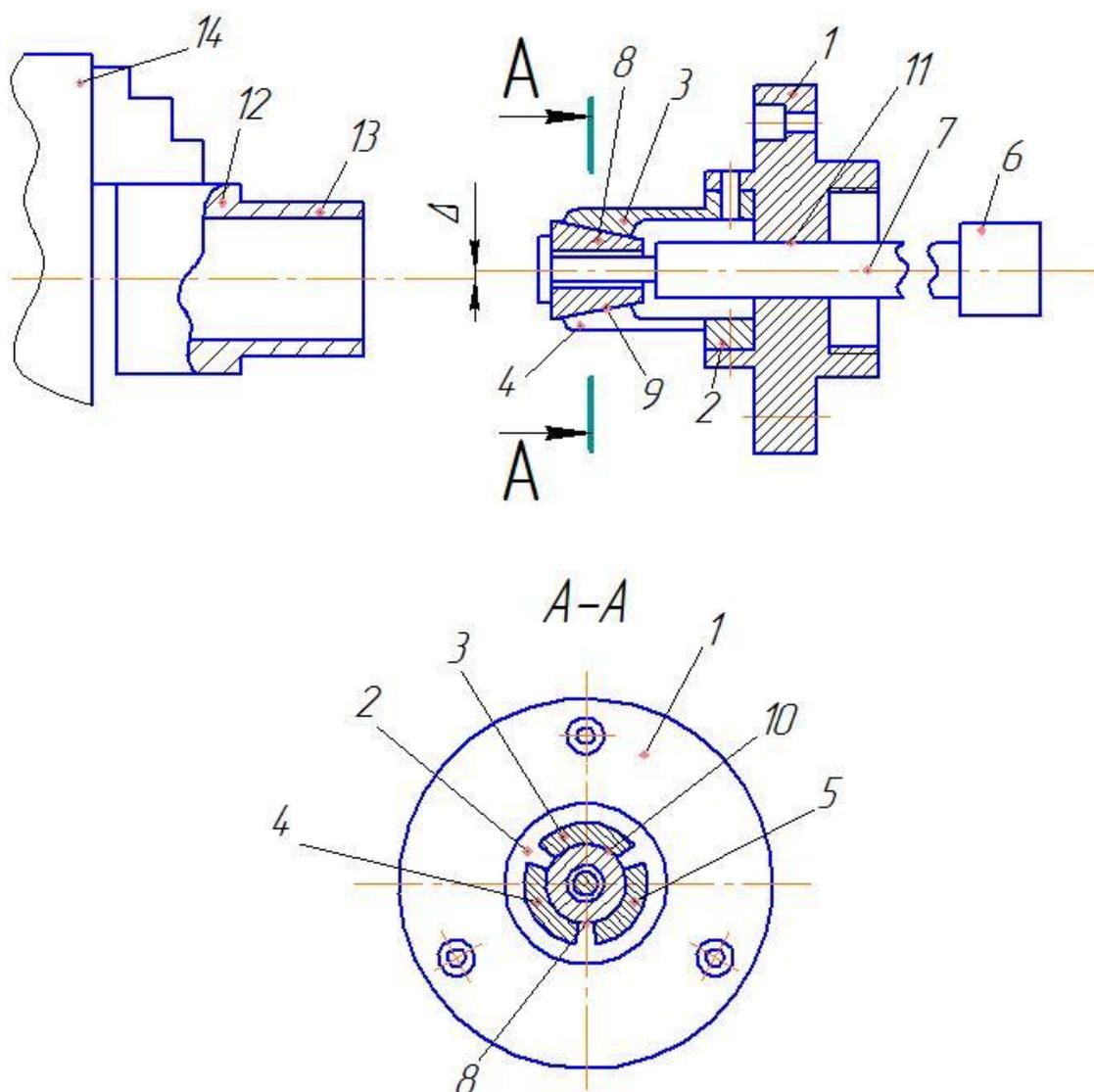


Схема механизированного цангового патрона

Цанговый патрон содержит корпус 1, цангу 2 с лепестками 3–5, привод 6 со штоком 7, втулку 8 с наружным конусом 9. Цанга выполнена с коническим отверстием 10 на лепестках и закреплена на корпусе. В корпусе выполнено центральное отверстие 11, с которым сопряжен шток с возможностью перемещения вдоль его оси. Втулка сопряжена наружным конусом с коническим отверстием и установлена на штоке с возможностью радиального смещения.

Тонкостенная заготовка 12 с отверстием 13 закреплена в кулачковом патроне 14. Между осью отверстия и осью цанги при переустановке возникает отклонение от соосности Δ . Цанговый патрон закреплен на шпинделе станка (на рисунке не показан).

Цанговый патрон работает следующим образом. При переустановке заготовки подводят цанговый патрон к кулачковому патрону с заходом цанги в отверстие. Шток перемещают вдоль оси центрального отверстия от привода. Втулка, перемещаясь со штоком, воздействует своим наружным конусом через коническое отверстие на лепестки, деформируя их. Лепестки перемещаются в радиальном направлении на сближение с отверстием. Однако из-за отклонения от соосности лепестки соприкоснутся с отверстием не одновременно (например, соприкоснется только лепесток 3). С этого момента и до касания отверстия всеми лепестками втулка будет смещаться в радиальном направлении к лепесткам 4 и 5. С момента касания отверстия всеми лепестками начинается закрепление заготовки. Затем ее открепляют в кулачковом патроне, а цанговый патрон вместе с заготовкой отводят в исходное положение.

В результате радиальных смещений втулки обеспечивается выравнивание давления лепестков на тонкостенную заготовку, что позволяет повысить точность автоматической переустановки заготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана усовершенствованная конструкция механизированного цангового патрона для закрепления тонкостенной заготовки при ее переустановке. Патрон отвечает критериям новизны и оригинальности конструкции. Он может быть использован в машиностроительных предприятиях при автоматической загрузке, разгрузке и переустановке заготовок на технологическом оборудовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 170965. *Автоматический цанговый патрон* // Курилов И.Н., Чуприков А.О., Никитин И.В.; Заявл. 29.12.2015. Оpubл. 16.05.2017, Бюл. № 14.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. М.: Машиностроение-1, 2003. 901 с.
3. Патент SU 1808495. *Оправка* // Каганер А.М. Заявл. 09.01.1991. Оpubл. 15.04.1993, Бюл. № 14.
4. ГОСТ 31.1066.02-85. Приспособления к металлорежущим станкам. Оправки с разрезными цангами для точных работ. Основные параметры и размеры. М.: Стандартиформ, 2005. 17 с.
5. Хилл П. Наука и искусство проектирования. М.: Мир, 1973. 264 с.

Для цитирования: Архаров А.П., Козлов А.И. Патрон цанговый механизированный // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 26–30.

MECHANIZED COLLET CHUCK

A.P. ARKHAROV, Cand. Sc., A.I. KOZLOV

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: arharovanatoliy@yandex.ru

Analysis of the known collet chuck designs for workpiece fastening on metal cutting machine is done. Deficiencies of the collet chucks are identified. The scheme of the developed mechanized chuck is given below. Essential features comparison of the developed chuck design and known designs is carried out. Achieved technical result is noted. Usage field of the developed chuck is reflected in this work.

Keywords: chuck, collet, work piece, sleeve, repositioning, fixing, precision, automation.

REFERENCES

1. Patent RF 170965. *Avtomatičeskij tsangovyy patron* [Automatic collet chuck]. Kurilov I.N., Chuprikov A.O., Nikitin I.V. Declared 29.12.2015. Published 16.05.2017, Bulletin No. 14.
2. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja: v 2 t. [Directory technologist machine builder in 2 volumes] V. 2 / Eds. A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, A.G. Suslov. Moscow: Mashinostroenie-1, 2003. 901 p.
3. Patent SU 1808495. *Opravka* [Holder-adapter]. Kaganer A.M. Declared 09.01.1991. Published 15.04.1993, Bulletin No. 14.
4. GOST 31.1066.02-85. Attachments for metall-cutting machine tools. Mandrels with split collets for precision machining. Basic parameters and dimensions. Moscow: Standartinform, 2005. 17 p.
5. Hill P. *Nauka i iskusstvo proektirovaniya* [Science and the art of design]. Moscow: Mir, 1973. 264 p.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.23.05:621.891

УПЛОТНЕНИЕ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ

И.В. ГОРЛОВ¹, д-р техн. наук, А.Н. БОЛОТОВ¹, д-р техн. наук,
М.Г. РАХУТИН², д-р техн. наук

¹ Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: gorloviv@yandex.ru;

² Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», 119049, Москва, Ленинский пр., д. 4, e-mail: kancela@misis.ru

© Горлов И.В., Болотов А.Н., Рахутин М.Г., 2020

В настоящее время использование возобновляемых источников в энергетике является важнейшим направлением развития топливно-энергетического комплекса. В связи с этим торфяная промышленность имеет значительные перспективы для расширения производства. Однако недостатки в конструкции значительного числа агрегатов (в частности, несовершенство узлов трения), а также высокая металлоемкость торфяных машин и тяжелые условия эксплуатации требуют больших затрат на ремонт и техническое обслуживание. Таким образом, необходимо изменить подход к разработке узлов трения торфяных машин, что позволит обеспечить снижение затрат на их эксплуатацию и, как следствие, уменьшит себестоимость добычи торфа. На большинстве торфяных предприятий подготовка и ремонт технологического оборудования производится в осенне-зимний период перед сезоном добычи, поэтому важно, чтобы ресурс наиболее нагруженных узлов торфяных машины был близок к наработке за сезон добычи. Для этого конструктивные элементы торфяных машин должны быть достаточно прочными, износостойкими, обеспечивать взаимозаменяемость деталей и удобство монтажа. Большинство основных узлов трения торфяных машин требуют частых сервисных работ. Следовательно, для снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт необходимо реализовать ряд мероприятий, обеспечивающих качественную модификацию трибосопряжений, что позволит увеличить цикл обслуживания за счет использования современных самосмазывающихся материалов, обладающих повышенным ресурсом.

Ключевые слова: торфяные машины, эксплуатация, модернизация, надежность, ресурс, узлы трения, магнитопорошковые уплотнения, исследования.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей особенностью эксплуатации торфяных машин является сезонность, что обуславливает недопустимость серьезных отказов и простоев машин в период добычи торфа. Вследствие этого конструкция основных узлов машины должна обеспечивать необходимую прочность, износостойкость, взаимозаменяемость деталей и удобство монтажа. Детали торфяных машин, особенно их рабочие органы и гусеничные устройства, работают в сложных условиях статических и динамических нагрузок, агрессивной окружающей среды и нуждаются в повышении сроков службы.

В процессе эксплуатации торфяные машины неоднократно ремонтируются в связи с тяжелыми условиями работы (высокая влажность и кислотность торфяной залежи, абразивная среда, наличие древесных включений и др.). С течением времени затраты средств на ремонт машин существенно возрастают, а производительность значительно снижается [1, 2]. В какой-то момент восстановление машины становится экономически невыгодным. Следовательно, при конструировании торфяных машин необходимо добиваться повышения ресурса узлов для снижения затрат на эксплуатацию.

Изменение условий трения в узлах торфяных машин позволяет активно влиять на все факторы, которые определяют характер взаимодействия поверхностей и их разрушение. Уменьшение разрушающего действия сил трения в сочленениях торфяных машин достигается устранением абразивных частиц из области трения сопряженных деталей.

Долговечность торфяных машин ограничивается тремя ремонтными циклами, причем за это время машина проходит два капитальных ремонта, на проведение которых расходуется больше средств, чем на изготовление новой машины. При таких обстоятельствах срок эксплуатации торфяных машин следует считать недостаточным. Повышение долговечности приведет к снижению суммарных затрат на добычу торфа.

Замену машины производят тогда, когда стоимость выполненной ею работы превышает установленный минимум. При этом сроки рациональной замены машины определяются экономическими соображениями [3, 4]. Общая цель производителей торфяных машин и торфопредприятий заключается в максимальном повышении надежности, в том числе и за счет увеличения ресурса уплотнительных узлов агрегатов.

АНАЛИЗ НОВЫХ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ СОПРЯЖЕНИЙ ОТ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

В настоящее время одним из определяющих факторов, лимитирующим долговечность трибоузлов торфяных машин и различных механизмов горной промышленности, является интенсивность абразивного износа деталей [5, 6]. Поскольку в данных отраслях потребность в зубчатых передачах и подшипниках наиболее высока, важной задачей является эффективная герметизация механизмов с целью предотвращения попадания в них абразива.

Использование для таких целей типовых контактных уплотнений, таких как торцевые или манжетные уплотнения, которые сами подвергаются значительному износу, а также имеют достаточно большие потери мощности на трение, не всегда обеспечивает требуемые характеристики защиты.

В современной научной литературе широко обсуждаются новые подходы к решению сложных триботехнических проблем, возникающих при создании и эксплуатации перспективных машин и механизмов. Один из таких подходов состоит в применении энергии магнитных полей и новых дисперсных магнитоактивных смазочных материалов для целенаправленного регулирования процессов в зоне фрикционного контакта [7–9].

В настоящее время значительный интерес представляют новые типы уплотнения. Так, магнитожидкостные уплотнения (МЖ) позволяют кардинально изменить качество и значительно повысить надежность защиты механизмов от попадания в них газов и ряда однофазных жидкостей [10–13]. Под действием выталкивающей магнитогадростатической силы абразивные немагнитные частицы задерживаются пробкой, состоящей из магнитной жидкости. В то же время использование МЖ уплотнений в большом количестве узлов затруднительно, так как достаточно часто возникает большой расход магнитной жидкости, обусловленный ее вытеснением

абразивными частицами. Исключить данный негативный процесс в принципе можно при использовании магнитных жидкостей с лиофобными свойствами, но до настоящего времени это не удается.

Дальнейшим развитием магнитных способов герметизации маломагнитных абразивных загрязнений является магнитопорошковое (МП) уплотнение, когда магнитный порошок герметизирует зазор и удерживается непосредственно в нем с помощью неоднородного магнитного поля. При этом поле способствует образованию определенной структуры, в которой расположение частиц порошка создает достаточно высокий градиент магнитной энергии, направленной на выталкивание абразива, а также приводит к значительному уплотнению магнитного порошка.

С точки зрения термодинамического состояния удерживание частиц абразива уплотнением обеспечивается тем, что при продвижении таких частиц в уплотнении повышается суммарная энергия данной магнитной системы, но самопроизвольное протекание таких видов процессов маловероятно.

Долговечность таких уплотнений ограничивается только температурно-временной стабильностью магнитного порошка, а при его правильном выборе она может составлять десятки лет. Работоспособность МП уплотнения не нарушается абразивом и действием сил трения. Такие уплотнения могут эффективно эксплуатироваться в широком диапазоне температур, от 800...900 К и без ограничений в нижнем пределе. В то же время для повышения эффективности защиты при использовании МП уплотнений в средах, которые содержат помимо абразива еще и жидкие компоненты, для отсекаания жидкости требуется последовательно с ними устанавливать типовое уплотнение.

Механизм герметизации МЖ и МП уплотнений имеет некоторое сходство. Однако в магнитопорошковых уплотнениях герметизация обеспечивается с помощью материала, который имеет на порядок большее значение намагниченности, чем магнитная жидкость, и на три порядка превосходит магнитную проницаемость. Кроме того, в МП уплотнении значительно большее влияние на герметичность оказывают сдвиговые напряжения, которые разупорядочивают магнитный порошок. Такие особенности магнитопорошковых уплотнений не всегда позволяют однозначно распространить на них известный принцип конструирования, который разработан для МЖ уплотнений. Поэтому необходимо экспериментально изучить основные закономерности эксплуатации МП уплотнений, а также оценить их эффективность.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОПОРОШКОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Исследование свойств МП уплотнений проводилось на установке, схема которой представлена на рис. 1. Цилиндрический корпус, выполненный из немагнитного материала, закреплен на самоустанавливающемся подшипнике качения, обеспечивающий возможность его колебания и свободного вращения. Внутри этого корпуса находится вал диаметром 14 мм, один из концов которого закреплен в подшипнике. Выступ предназначен для установки уплотнения. Измерение момента от сил трения в представленном уплотнении осуществляется тензобалкой.

Герметичность МП уплотнения проверялась за счет клейкой прокладки, которая устанавливалась перед подшипниковым узлом (при необходимости она легко вынималась). Проникшие через уплотнение абразивные частицы прилипают к указанной прокладке, и их можно наблюдать визуально. Герметичность уплотнительного устройства контролировалась с периодом 0,5 ч, при каждом контроле клейкая прокладка взвешивалась на аналитических весах VIBRA HT 224RCE.

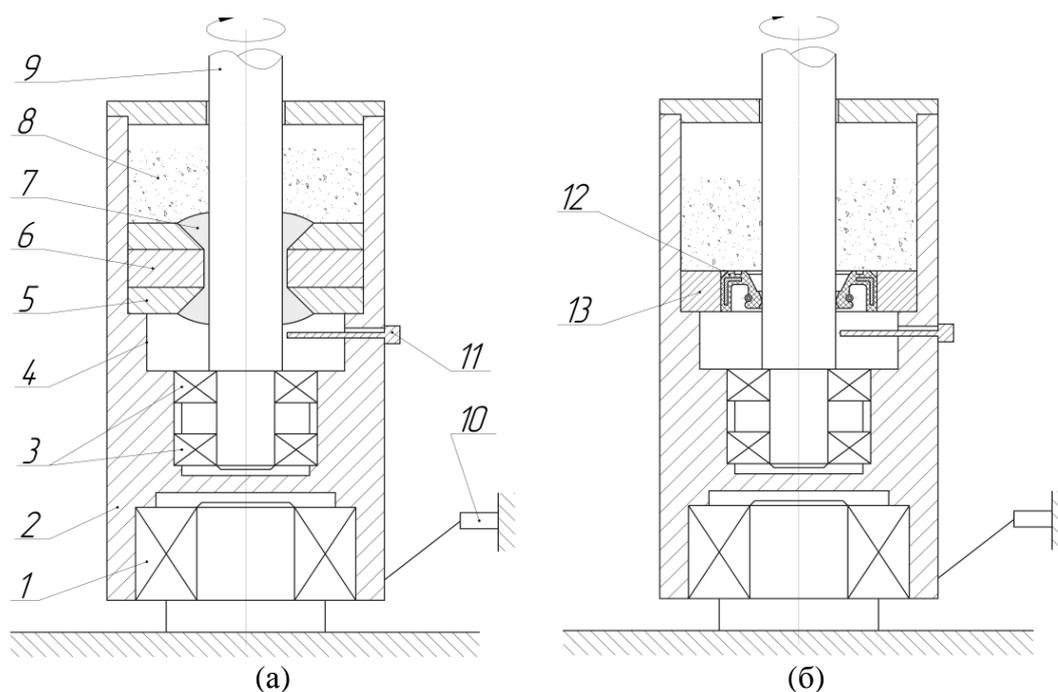


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с магнитопорошковым (а) и манжетным (б) уплотнениями: 1 – самоустанавливающийся подшипник; 2 – цилиндрический корпус; 3 – подшипники; 4 – установочный выступ; 5 – однозубые полюсные наконечники; 6 – постоянный магнит; 7 – магнитный порошок; 8 – область для размещения абразива; 9 – вал; 10 – тензобалка; 11 – клейкая прокладка; 12 – манжетное уплотнение; 13 – переходная деталь

Магнитопорошковое уплотнение представляет собой постоянный магнит с однозубовыми полюсными наконечниками и магнитным порошком. Магнитное поле создает магнит размерами $40 \times 20 \times 10$ мм с остаточной намагниченностью 0,78 Тл. Магнитопроводы изготовлены из углеродистой стали 45, их толщина составляет 7 мм, а угол на вершине зубца равен 45° . Для герметизации используется порошок никеля с дисперсностью 10...50 мкм с добавлением графита в соотношении 1:3 для снижения параметров трения и уменьшения износа вала. Абразивный корундовый порошок с дисперсностью 1...100 мкм помещается в область 8.

Во время исследований частота вращения вала составляла 17 с^{-1} . Для обеспечения подвижности абразива и ужесточения условий работы уплотнения корпус 2 с такой же частотой и амплитудой около 0,05 мм колебался относительно подшипниковых опор 1. Момент от силы трения в уплотнении с никелевым магнитным порошком без графита составлял приблизительно 4...5 Н·см, а с графитом – 3...4 Н·см. Герметичность в среднем нарушалась через 3...5 часов после начала испытаний.

Анализ протекающих в уплотнении процессов показывает, что проникновение абразивных частиц вызывает значительные сдвиговые напряжения. В данной области влияние магнитных сил частично нивелируется в сравнении с силами трения, которые вызывают интенсивное перемешивание магнитного порошка. Попавшие в эту область частицы абразива смешиваются с магнитными частицами, после чего под действием сил тяжести проникают через уплотнение. Основная причина, по которой нарушается герметичность, заключается в том, что магнитный порошок недостаточно сильно самоуплотняется. Это можно объяснить тем, что в

сравнении с МЖ уплотнением неоднородность требуемого магнитного поля, которое действует на единичную частицу в герметизируемом с помощью МП уплотнения зазоре, значительно снижается при введении в него вещества с высокими магнитными параметрами.

Для улучшения подвижности магнитных частиц и снижения трения в магнитный порошок добавлялось масло И20А (20 % по объему от магнитного порошка). Герметичность уплотнения не была нарушена даже после 10 часов испытаний. Масло, помимо смазывающих свойств, выполняло функцию абсорбента для абразивных частиц, что обеспечило высокую степень защиты.

По мере работы уплотнения количество абразивных частиц в магнитном порошке увеличивается, потому периодически придется проводить его замену. Интервал до замены магнитного порошка необходимо установить с помощью дополнительных исследований.

Для сравнения МП уплотнения с другими видами уплотнений проводилась оценка долговечности манжетного уплотнения (см. рис. 1б), исследуемого в таких же условиях. Манжетное уплотнение 12 запрессовывалось в переходную деталь 13, которое устанавливалось в корпус экспериментальной установки. Герметичность типового манжетного уплотнения необратимо нарушалась через 0,5...1,0 часов даже при использовании дополнительных устройств, которые защищали его от прямого попадания частиц абразива. Результаты исследования показаны на рис. 2.

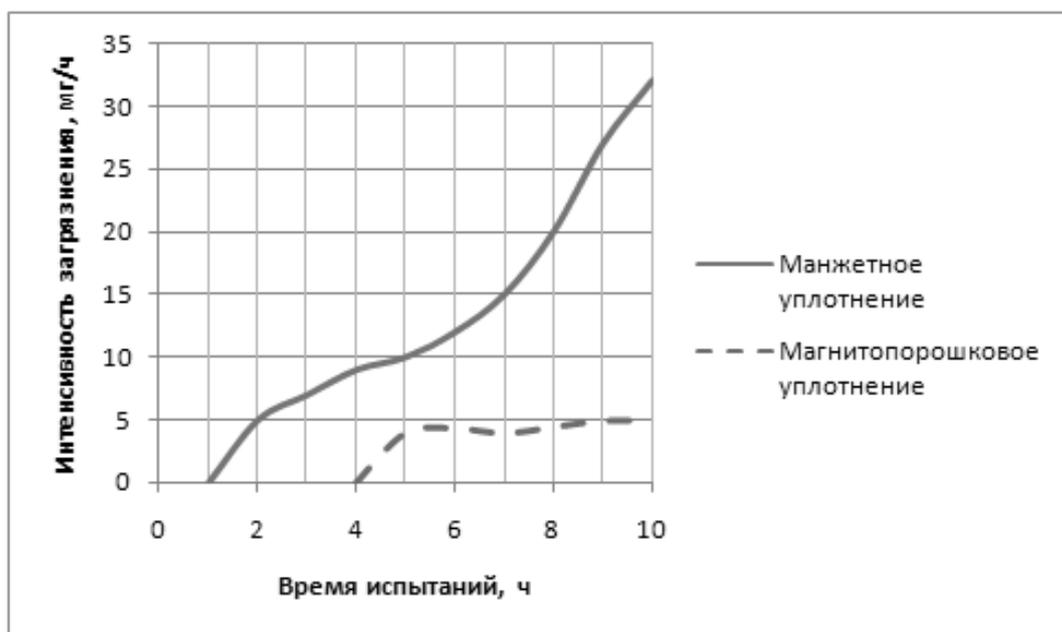


Рис. 2. Результаты исследования проникновения абразивных частиц через различные уплотнения

Исследования показали, что у манжетного уплотнения быстро нарушается герметичность, при этом скорость проникновения абразивных частиц постоянно растет. При этом у МП уплотнения скорость проникновения абразивных частиц увеличивается только в первые пять часов испытаний (что объясняется насыщением магнитного порошка абразивом), после чего практически не меняется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейшая особенность торфяных машин – это сезонность эксплуатации и относительно короткий период добычи, что обуславливает недопустимость их простоев во время работы. Несвершенство конструкции, высокая металлоемкость торфяных машин и тяжелые условия эксплуатации требуют от специалистов машиностроительных предприятий постоянного внимания к совершенствованию узлов трения, что позволяет снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт и, как следствие, уменьшить себестоимость торфяной продукции. Ремонт и подготовку оборудования к рабочему сезону производят в осенне-зимний период по окончании добычи. Следовательно, необходимо стремиться к тому, чтобы ресурс узлов и агрегатов был приближен к наработке за сезон.

Приведенные исследования показывают, что магнитопорошковые уплотнения имеют существенные преимущества перед типовыми уплотнениями [14, 15] при герметизации трибоузлов для защиты от попадания загрязнений, содержащих абразив. В связи с этим применение магнитопорошковых уплотнений может значительно увеличить ресурс узлов трения торфяных машин, что приведет к снижению затрат на ремонт и техническое обслуживание, предотвращению простоев и, соответственно, повысит эффективность их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Бондарев Ю.Ю. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2014. № 3 (202). С. 229–235.
2. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2015. № 14. С. 82–91.
3. Alhuraish I., Robledo C., Kobi A. Assessment of lean manufacturing and six sigma operation with decision making based on the analytic hierarchy process // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. № 12. P. 59–64.
4. Горлов И.В., Болотов А.Н. Информационная составляющая системы управления работоспособностью торфяных машин // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2013. № 1. С. 216–221.
5. Доценко А.И., Буяновский И.А. Основы триботехники: учебник. М.: Инфра-М, 2014. 336 с.
6. Хрущов М.М. Трение, износ и микротвердость материалов: Избранные работы (к 120-летию со дня рождения). М.: КРАСАНД, 2012. 512 с.
7. Bolotov A.N., Gorlov I.V., Novikov V.V. Nanodispersed ferrofluid oil lubricity improvement with processing methods // *Procedia Engineering*. 2017. V. 206. P. 606–610.
8. Болотов А.Н., Измайлов В.В., Новоселова М.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов в триботехнических системах: монография. Тверь: ТвГТУ, 2019. 164 с.
9. Pavlov V.G., Fishman R.I. Experimental and calculated estimate of wear rate of a rolling bearing lubricated with magnetic powder // *Journal of Friction and Wear*. 2002. V. 23, № 2. P. 49–54.
10. Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Бондаренко В.В. Разработка герметичной системы для передачи механической энергии с использованием постоянных магнитов // *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 12. С. 122–125.

11. Urreta H., Aguirre G., Kuzhir P., de Lacalle L.N.L. Seals based on magnetic fluids for high precision spindles of machine tools // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2018. V. 19. № 4. P. 495–503.

12. Zhang Y., Li D., Chen Y., Li Z. A comparative study of ferrofluid seal and magnetorheological fluid seal // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2018. V. 54. № 12. P. 1–7.

13. Kubik M., Pavlicek D., Machacek O., Strecker Z. A magnetorheological fluid shaft seal with low friction torque // *Smart Materials and Structures*, 2019. V. 28. № 4. P. 047002.

14. Мельников О.М. Работоспособность соединений «вал – манжета» и повышение их надежности // *Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина*. 2018. Вып. 2 (84). С. 50–54.

15. Иванов И.Г., Денисов А.С. Изменение технического состояния сальника под влиянием эксплуатационных факторов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. № 2 (56). Вып. 2. С. 41–45.

Для цитирования: Горлов И.В., Болотов А.Н., Рахутин М.Г. Уплотнение узлов трения торфяных машин с помощью магнитных порошков // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 1 (5). С. 31–38.

FRICITION UNITS OF PEAT MACHINES WITH MAGNETIC POWDER SEALS

I.V. GORLOV¹, Dr. Sc., A.N. BOLOTOV¹, Dr. Sc., M.G. RAHUTIN², Dr. Sc.

¹ Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, Russian Federation, e-mail: gorloviv@yandex.ru;

² National University of Science and Technology "MISiS", 4, Leninsky pr., 119049, Moscow, Russian Federation, e-mail: kancela@misis.ru

The use of renewable energy sources is the most important area of development of the fuel and energy complex. Peat industry in this direction has significant prospects. However, the imperfection of the design of friction units, the significant metal consumption of peat machines and difficult operating conditions require significant improvement in terms of reducing the cost of repairs and maintenance. Therefore, the specialists of engineering and peat enterprises need to change the approach to improving the friction units of peat machines, which will reduce the cost of their operation, and as a result, reduce the cost of peat products. Repair and preparation of technological equipment for the production season is carried out in the autumn-winter period, therefore, it is necessary to ensure that the resource of the most critical units and assemblies is close to the operating time for the production season. This requires the design of the peat machine of sufficient strength, wear resistance, interchangeability in parts and ease of assembly. The analysis of the main friction units of most peat machines showed that a number of units require frequent maintenance work. To reduce the cost of repairs and maintenance, a high-quality modification of tribological couplings is required, which will provide an increase in the service cycle due to the use of self-lubricating materials, such as magnetic lubricants and magnetic particle seals, which have an increased resource.

Keywords: peat machines, operation, modernization, reliability, resource, friction units, magnetic powder seals, research.

REFERENCES

1. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Bondarev Yu.Yu. The state of technical re-equipment of the machine and tractor fleet of peat mining companies // *Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2014. No. 3 (202), pp. 229–235. (In Russian).
2. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Gabov V.V. Formation and efficient use of the machine park of peat mining companies // *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo*. 2015. No. 14, pp. 82–91. (In Russian).
3. Alhuraish I., Robledo C., Kobi A. Assessment of lean manufacturing and six sigma operation with decision making based on the analytic hierarchy process // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. No. 12, pp. 59–64.
4. Gorlov I.V., Bolotov A.N. The information component of the peat machine performance management system // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)*, 2013. No. 1, pp. 216–221. (In Russian).
5. Dotsenko A.I., Buyanovskiy I.A. *Osnovy tribotekhniki: uchebnik*. [Fundamentals of tribotechnology. Textbook]. Moscow: Infra-M, 2014. 336 p.
6. Khrushchov M.M. *Treniye, iznos i mikrotvordost' materialov: Izbrannyye raboty (k 120-letiyu so dnya rozhdeniya)*. [Friction, wear and microhardness of materials: Selected works (on the 120th anniversary of birth)]. Moscow: KRASAND, 2012. 512 p.
7. Bolotov A.N., Gorlov I.V., Novikov V.V. Nanodispersed ferrofluid oil lubricity improvement with processing methods // *Procedia Engineering*. 2017. V 206, pp. 606–610.
8. Bolotov A.N., Izmaylov V.V., Novoselova M.V. *Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya protsessov v tribotekhnicheskikh sistemakh* [Theoretical and experimental studies of processes in tribotechnical systems]: monograph. Tver: TvSTU, 2019. 164 p.
9. Pavlov V.G., Fishman R.I. Experimental and calculated estimate of wear rate of a rolling bearing lubricated with magnetic powder // *Journal of Friction and Wear*. 2002. V. 23. No. 2, pp. 49–54. (In Russian).
10. Sazonov Yu.A., Mokhov M.A., Bondarenko V.V. Development of a sealed system for transferring mechanical energy using permanent magnets // *Neftyanoye khozyaystvo*. 2016. No. 12, pp. 122–125. (In Russian).
11. Urreta H., Aguirre G., Kuzhir P., de Lacalle L.N.L. Seals based on magnetic fluids for high precision spindles of machine tools // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2018. V. 19. No. 4, pp. 495–503.
12. Zhang Y., Li D., Chen Y., Li Z. A comparative study of ferrofluid seal and magnetorheological fluid seal // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2018. V. 54. No. 12, pp. 1–7.
13. Kubik M., Pavlicek D., Machacek O., Strecker Z. A magnetorheological fluid shaft seal with low friction torque // *Smart Materials and Structures*. 2019. V. 28. No. 4, pp. 047002.
14. Melnikov O.M. The efficiency of the shaft-cuff joints and increase their reliability // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universitet imeni V.P. Goryachkina*. 2018. V. 2 (84), pp. 50–54. (In Russian).
15. Ivanov I.G., Denisov A.S. Change of a technical condition of an epiploon under the influence of operational factors // *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. V. 2. No. 2 (56), pp. 41–45. (In Russian).

БОКОВОЙ ДВЕРНОЙ БЛОК БРОНИРОВАННОЙ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

А.Г. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: angel.777@mail.ru

© Семенов А.Г., 2020

Исследована возможность создания и разработан дверной блок бокового расположения из двух распашных дверей для бронированной колесной машины. Первая дверь встроена в большую по размерам вторую дверь. Технический результат – повышение тактико-технических характеристик. Разработка запатентована автором в России как изобретение.

Ключевые слова: броневая защита, бронированная колесная машина, дверь, дверной блок.

ВВЕДЕНИЕ

Дверь водителя в кабине колесной машины состоит обычно из проема коробчатой формы и установленной в нем на петлях дверной створки [1]. Однако в случае заедания двери эвакуация из кабины проблематична. Не исключено и вооруженное нападение сбоку и сзади при открытой двери. В машинах с открывающимися наружу в разные стороны распашными створками задней двустворчатой двери [2, 3] последние расширяют экранированное пространство за машиной. Однако место соединения створок ослабляет броню. Есть и машины, содержащие корпус с открывающейся наружу по ходу боковой распашной бронедверью [3]. Важно отметить и распространенность в гаражном и прочем хозяйственном строительстве дверных блоков «калитка в воротах», открывающихся только в одну общую сторону [4, 5].

За объект сравнения автором принята бронемашина, содержащая корпус с двумя открывающимися наружу в разные стороны боковыми распашными бронедверями на петлях, первая из которых уже второй, с возможностью выборочного открытия / закрытия одной из них [6]. Однако дублирование меньшей двери большей при условии их последовательного расположения по борту, равно как и по разным бортам, увеличивает суммарную площадь дверей, усложняя компоновку машины и бронезащиту.

Цель работы – исследование возможностей создания и разработка (на уровне технического предложения) дверного блока бокового расположения с повышенными тактико-техническими характеристиками, обеспечивающего дальнейшее совершенствование мобильных и стационарных бронеобъектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Бронированная колесная машина содержит (рис. 1, 2) бронированный корпус 1, как минимум с двумя открывающимися наружу в разные стороны боковыми распашными дверями 2 и 3 на петлях 4 и 5, ручками 6–9 и фиксаторами.

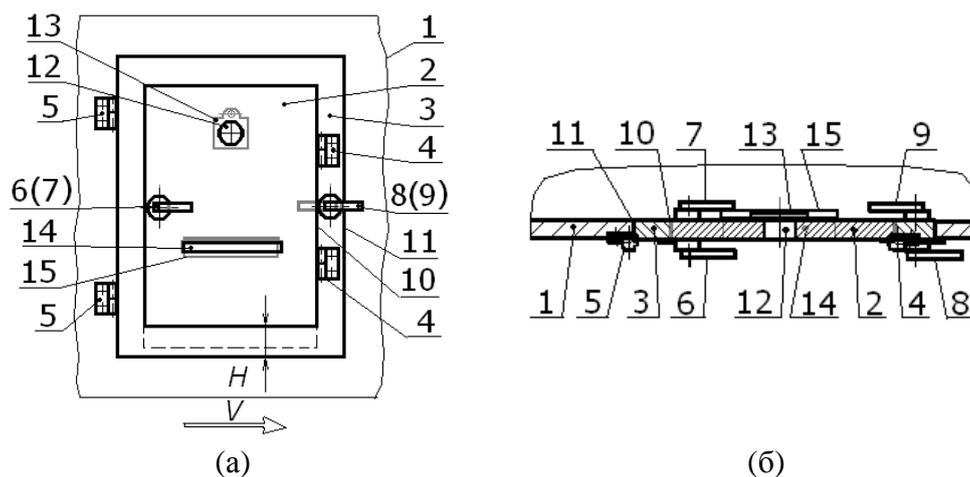


Рис. 1. Дверной блок машины в закрытом положении: вид сбоку (а); горизонтальный разрез (б)

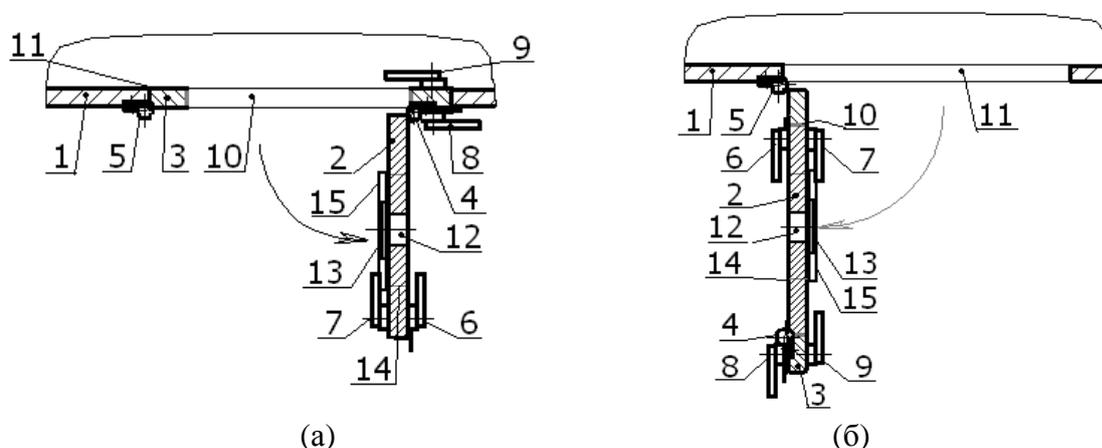


Рис. 2. Дверной блок в открытом положении, горизонтальный разрез: внутренней (меньшей) двери (а); внешней (большей) двери (б)

Предусмотрена возможность выборочного открытия / закрытия первой 2 или второй 3 двери. Дверь 3 выполнена большей по ширине, чем дверь 2 (не уже ширины стандартных носилок для раненых) и по высоте. Дверь 3 выполнена с центральным (внутренним) проемом 10, в который встроена дверь 2, так что двери 2 и 3 объединены в дверной блок в пределах общего проема 11 корпуса 1.

При этом петли 5 второй двери 3 закреплены на боковой (преимущественно задней) стороне проема корпуса 1, а петли 4 первой двери 2 – на боковой (преимущественно передней) стенке (торце) проема второй двери 3.

Иначе говоря, вторая дверь 3 двухфункциональна: она является как собственно броневой дверной створкой, так и броневой коробкой другой, меньшей по размеру броневой дверной створки, с возможностью независимого друг от друга открытия створок в противоположные стороны. В частности, расстояние H (см. рис. 1) между нижними кромками дверей 2 и 3 меньше расстояния между их боковыми кромками. Величина H может быть меньше расстояния между верхними кромками дверей 2 и 3. В двери 2 может быть предусмотрена амбразура (амбразур) 12 с заслонкой (заслонками) 13.

В «мирных» эксплуатационных режимах пользователи (экипаж, десант, командный состав и т.д.) пользуются меньшей по размерам первой дверью 2, при необходимости ведя дополнительное наблюдение через амбразуры 12 и / или 14 при открытых заслонках 13 и 15. При этом открывать / закрывать меньшую дверь 2 легче, чем большую 3, а направление откидывания (вперед по ходу машины V) соответствует общепринятому для колесных машин.

При погрузке / выгрузке раненых на носилках, а также погрузке других относительно крупногабаритных грузов, открывают / закрывают дверь 3 при закрытой двери 2, ведя при необходимости дополнительное наблюдение.

В чрезвычайных (боевых) режимах стрельбу из стрелкового оружия по противнику ведут из корпуса 1 при закрытых дверях 2 и 3, через амбразуры 12 и / или 14 (также при открытых заслонках 13 и 15 соответственно).

В бою с противником, находящимся впереди машины, открывают первую дверь 2, в преимущественном ее выполнении, по направлению V, и могут вести бой снаружи корпуса в одностороннем броневом пространстве двери 2. В бою с противником, находящимся позади машины, открывают вторую дверь 3, в преимущественном ее выполнении, против направления V, и могут вести бой также снаружи корпуса, но уже в одностороннем броневом пространстве двери 3. При этом используют те же амбразуры 12 и / или 14.

При наличии заявляемых дверных блоков с обоих бортов корпуса и расположении противника одновременно спереди и сзади, на одном борту открывают первую дверь 2 по направлению V и используют ее одностороннее броневое пространство, а на другом борту – вторую дверь 3 против направления V и используют ее одностороннее броневое пространство. При этом стрелки по каждому из бортов частично прикрывают своим огнем товарищей по другому борту машины.

Разработка защищена патентом на изобретение [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан на изобретательском уровне мировой новизны дверной блок, повышающий тактико-технические характеристики при сохранении габаритов. Эффективность разработки обеспечивается за счет компактности системы дверей и машины в целом, а также уровня защиты экипажа и / или десанта как в машине, так и снаружи непосредственно у борта(ов), главным образом при ведении боя с применением стрелкового оружия и гранат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 109049. *Дверь водителя транспортного средства* / Васильев А.В., Семиков С.А., Чайкин И.Е., Милов К.В., Ерышев А.С. Заявл. 27.04.2011. Опубл. 10.10.2011, Бюл. № 28.
2. Патент РФ 141567. *Бронева защита кузова транспортного средства* / Яворский Г.Ю. Заявл. 09.01.2014. Опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
3. Патент РФ 48404 на полезную модель. *Бронированная разведывательно-дозорная машина* / Киреев М.Ю., Томин И.П., Копылов И.Б., Заболотный А.В., Мещеряков В.С., Зеленев Ю.Н., Королев Ю.Н., Копалкин В.В. Заявл. 22.11.2004. Опубл. 10.10.2005, Бюл. № 28.
4. Патент РФ 2015276. *Ворота* / Иванов В.И. Заявл. 03.04.1991. Опубл. 30.04.1996, Бюл. № 5.
5. Ворота для гаража своими руками. URL: <http://koffkindom.ru/vorota-dlya-garazha-svoimi-rukami.htm> (дата обращения: 12.09.2019).

6. Патент РФ 174348. *Бронированная разведывательно-дозорная машина* / Большаков К.Э. Заявл. 06.02.2017. Оpubл. 11.10.2017, Бюл. № 29.

7. Патент РФ 2700156. *Бронированная колесная машина* / Семенов А.Г. Заявл. 30.08.2018. Оpubл. 12.09.2019, Бюл. № 26.

Для цитирования: Семенов А.Г. Боковой дверной блок бронированной колесной машины // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 39–42.

SIDE DOOR UNIT OF THE ARMORED WHEEL MACHINE

A.G. SEMENOV, Cand. Sc.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya st., 195251,
St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: angel.777@mail.ru

The article pertains to transport machine building. The explored possibility of the creation and is designed wheel armoured machine, containing body with opening outward in different sides lateral armor door, with possibility of the selective opening and closing first or second door. The first door built-in in greater on size second door. The technical result – increasing tactician-technical features. The development patented as invention.

Keywords: armor protection, wheel armoured machine, door, door block.

REFERENCES

1. Patent RF 109049. *Dver' voditelya transportnogo sredstva* [The door of the driver of the vehicle] / Vasiliev A.V., Semikov S.A., Chaykin I.E., Milov K.V., Eryshev A.S. Declared 04/27/2011. Published 10/10/2011, Bulletin No. 28.

2. Patent RF 141567. *Bronevaya zashchita kuzova transportnogo sredstva* [Armor protection of a vehicle body] / Yavorsky G.Yu. Declared 01/09/2014. Published 06/10/2014, Bulletin No 16.

3. Patent RF 48404 for utility model. *Bronirovannaya razvedyvatel'no-dozornaya mashina* [Armored reconnaissance and patrol vehicle] / Kireev M.Yu., Tomin I.P., Kopylov I.B., Zabolotny A.V., Meshcheryakov V.S., Zelenov Yu.N., Korolev Yu.N., Kopalkin V.V. Declared 11/22/2004. Published 10/10/2005, Bulletin No. 28.

4. Patent RF 2015276. *Vorota* [Gate] / Ivanov V.I. Declared 04/03/1991. Published 04/30/1996, Bulletin No. 5.

5. *Vorota dlya garazha svoimi rukami* [Doors for the garage with your own hands]. URL: <http://koffkindom.ru/vorota-dlya-garazha-svoimi-rukami.htm> (date accessed: 12.09.2019).

6. Patent RF 174348. *Bronirovannaya razvedyvatel'no-dozornaya mashina* [Armored reconnaissance and patrol car] / Bolshakov K.E. Declared 02/06/2017. Published 10/11/2017, Bulletin No 29.

7. Patent RF 2700156. *Bronirovannaya kolesnaya mashina* [Armored wheeled vehicle] / Semenov A.G. Declared 08/30/2018. Published 09/12/2019, Bulletin No. 26.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИЦЕПА-РОСПУСКА

А.И. ВАСИЛЬЕВ, А.Г. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: angel.777@mail.ru

© Васильев А.И., Семенов А.Г., 2020

На базе известных отечественных и зарубежных транспортно-технологических комплексов, и проектов в лесной промышленности, строительстве и нефтегазовой отрасли разработан и предлагается к внедрению универсальный прицеп-ропуск с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками. В конструкции применены: шарнирный узел с «изломом» дышла, выполненного составным, с задней и передней частями, с возможностью складывания в вертикальной плоскости на открытой платформе тягача; телескопическая взаимосвязь задней и / или передней частей составного дышла; лебедка на тягаче с возможностью самозатягивания прицепа.

Ключевые слова: наземный транспортно-технологический комплекс, автопоезд, прицеп-ропуск, дышло, универсальность.

ВВЕДЕНИЕ

В лесной промышленности (древесные хлысты, сортамент), строительстве (железобетонные фермы) и в нефтегазодобывающей промышленности (трубы) для перевозки груза соответственно лесовозом, фермовозом или трубовозом часто используют прицеп-ропуск. Такие автопоезда бывают, как правило, двух типов: с коротким прицепом-ропуском и с удлиненным прицепом-ропуском и возможностью самозатягивания (рис. 1).

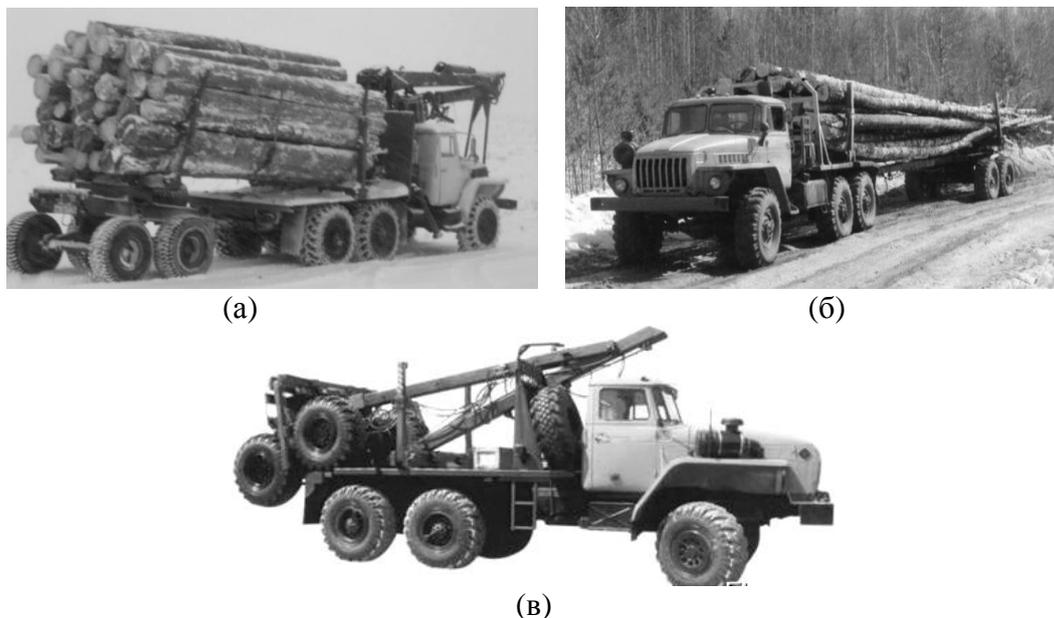


Рис. 1. Типы лесовозов: с коротким прицепом-ропуском (а); с удлиненным прицепом-ропуском с возможностью самозатягивания (б, в)

С точки зрения реализации общетехнического принципа универсальности интерес представляют прицепы с дышлом переменной длины – под «линейку» стандартных длин перевозимых изделий или, напротив, нестандартных [2]. Разность между максимальной и минимальной длиной раздвижного дышла не превышает 2,0–2,5 м [3].

В ряде моделей также предусматривается складная петля дышла [4].

В инновационной деятельности не следует пренебрегать и кустарными разработками, например самодельными удлинителями прицепов [5].

Если обратиться к патентному массиву, можно выделить следующие технические решения:

автопоезд для перевозки длинномерных грузов, у которого предусмотрено нечетное количество (не менее трех) последовательно соединенных между собой дышлами прицепных звеньев с кониками, при этом каждое четное прицепное звено соединено посредством гибких органов крестообразной сцепки с нечетными прицепными звеньями, на каждом из которых концы гибких органов указанной сцепки закреплены выше уровня подсоединения соответствующих дышл, а дышло, подсоединенное к тяговому звену, выполнено складывающимся в вертикальной плоскости [6];

транспортное средство для перевозки длинномерных грузов, у которого в поперечных балках рамы по центральной продольной оси имеются окна для прохода дышла, причем последнее выполнено с возможностью фиксации его положения после изменения расстояния между кониками, а положение дышла фиксируется посредством отверстий, выполненных на задней половине верхней плоскости дышла по его длине, причем одно из этих отверстий после изменения расстояния между кониками совпадает со сквозным отверстием, выполненным в верхней стенке окна задней поперечной балки рамы прицепа для фиксации дышла стопорным пальцем (рис. 2) [7].

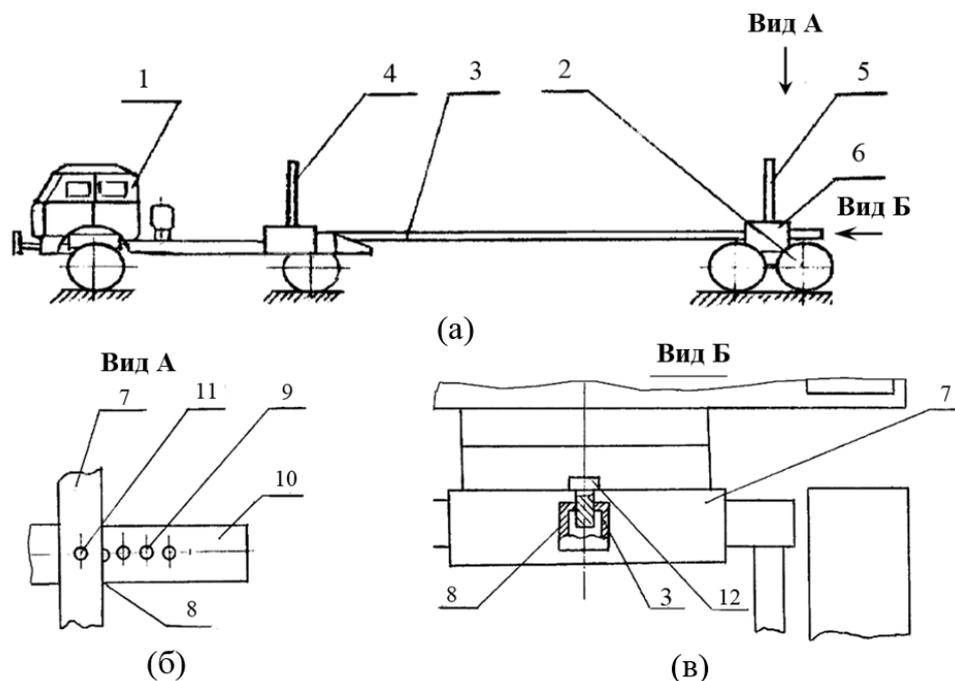


Рис. 2. Транспортное средство с удлиненным, регулируемым по длине прицепом-роспуском по аналогу-патенту 15180 U1 [7]: вид сбоку (а); вид А (б); вид Б (в);

- 1 – тягач; 2 – колесная тележка прицепа; 3 – дышло; 4 – коник тягача;
 5 – коник прицепа; 6 – прицеп; 7 – поперечная балка прицепа; 8 – отверстие под дышло;
 9 – отверстия; 10 – дышло; 11 – отверстие под палец; 12 – палец

Цель данной статьи – разработка универсального прицепа-ропуска с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками для автопоездов, используемых в различных отраслях народного хозяйства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью дальнейшей универсализации прицепа-ропуска разработан (с учетом вышеприведенного обзорного анализа) и предлагается к внедрению для автопоездов в лесном и строительном секторах экономики (в приложении к автомобилям-лесовозам, фермовозам и трубовозам) прицеп-ропуск с сочетанием в единой конструкции (рис. 3–5):

шарнирного узла с «изломом» дышла, выполненного составным (с задней 2 и передней 3 частями), с возможностью складывания в вертикальной плоскости на открытой платформе тягача (рис. 3);

телескопической взаимосвязи задней 2 и / или передней 3 частей составного дышла (то есть дышло выполняется раздвижным) (рис. 3, 4);

лебедки на тягаче (как пример) с самозатягивающимся прицепом-ропуском.

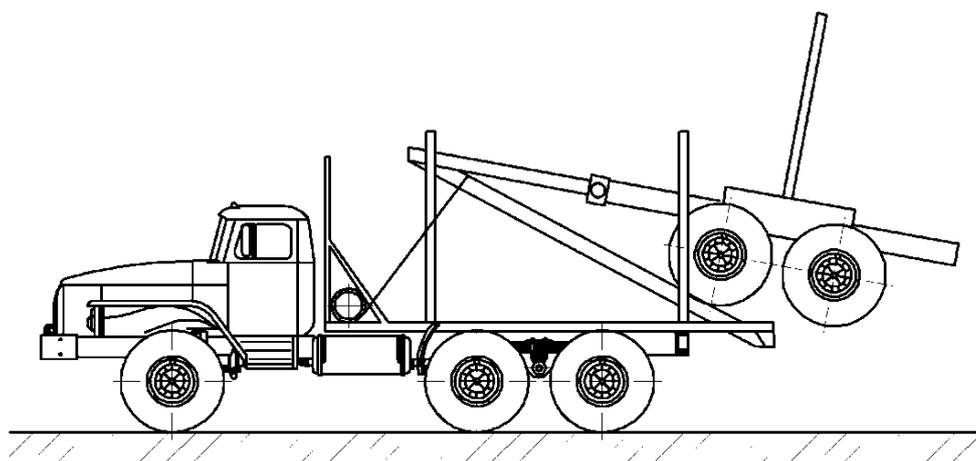


Рис. 3. Предлагаемый универсальный прицеп-ропуск в сложенном на тягаче положении

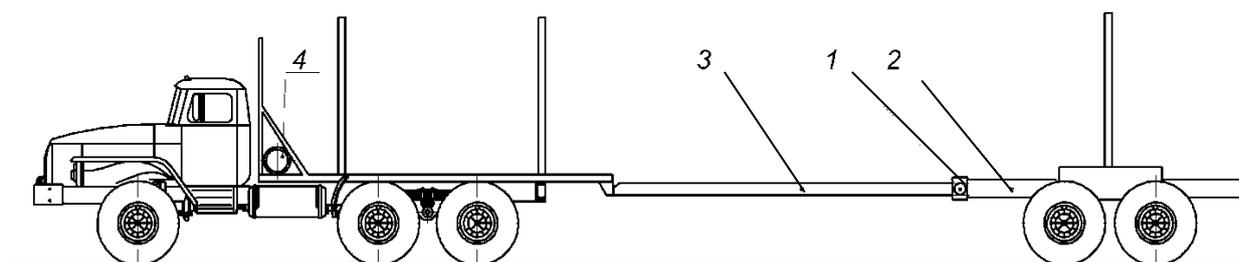


Рис. 4. «Длинная» опция предлагаемого универсального прицепа-ропуска, вид сбоку: 1 – шарнирный узел с фиксатором; 2, 3 – соответственно задняя и передняя части составного дышла; 4 – лебедка

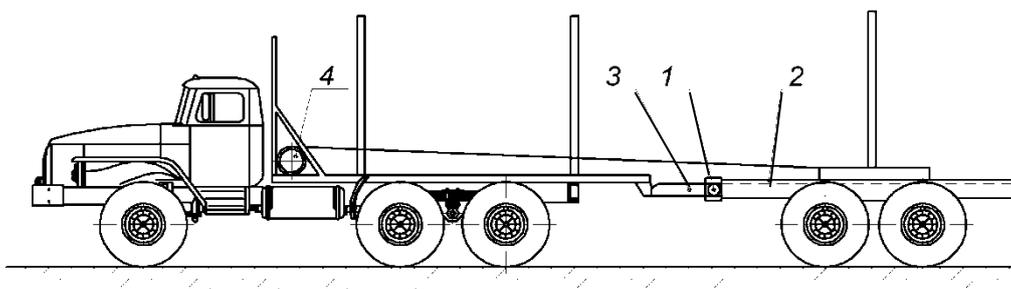


Рис. 5. «Короткая» опция предлагаемого универсального прицепа-ропуса

Конструкция упомянутого шарнирного узла заслуживает отдельного рассмотрения (расчета, конструирования и испытания). В «длинной» опции сохранена возможность транспортировки изделий длиной до 23 м.

В исходном состоянии прицеп-ропуск находится на тягаче (см. рис. 3), аналогично рис. 2. Затем его спускают (в данном примере бортовой лебедкой, см. рис. 5) на грунт. Фиксатор-шарнир отключают, заднюю часть дышла затягивают, также посредством лебедки, в переднюю часть дышла с отверстием. Пальцеобразным фиксатором блокируют от вытаскивания заднюю часть дышла из передней его части. В результате получается либо «длинная» (см. рис. 4), либо «короткая» (см. рис. 5) опция прицепа-ропуса.

Эффективность использования предлагаемой конструкции заключается в повышении универсальности прицепа-ропуса и автопоезда в целом; при сохранении свойства самозатягивания обеспечивается по меньшей мере два значения расстояния между кониками тягача и прицепа, при этом в «короткой» опции общая длина автопоезда заметно сокращается за счет исключения задней консольной части дышла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для дальнейшей универсализации автопоездов с прицепами-ропусами переменной длины целесообразно применить изложенное в статье техническое решение в отношении конструкции дышла с сочетанием телескопического продольного элемента и шарнирного узла складывания в продольной вертикальной плоскости (например, с использованием бортовой лебедки), благодаря чему прицеп-ропуск можно погрузить на тягач, что невыполнимо с коротким прицепом-ропуском. При применении активного прицепного звена (с электроприводными колесами) необходимость в лебедке для изменения длины прицепа отпадает. Разработанный и предложенный к внедрению универсальный прицеп-ропуск в составе автопоездов различного назначения обладает технико-эксплуатационными преимуществами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автопоезд на шасси Урал 44202-3511-80 с лесовозным прицепом-ропуском URL: <https://www.youtube.com/watch?v=kkdqeiaVBIU> (дата обращения: 16.12.2019).
2. Прицепы для перевозки различных длинномерных грузов. URL: <http://kranigruz.ru/pricery/pricerp-dlya-perevozki-dlinnomernyh-gruzov> (дата обращения: 16.12.2019).
3. Дышла // Энциклопедия по машиностроению XXL. Оборудование, материаловедение, механика. URL: <http://mash-xxl.info/info/355611/> (дата обращения: 16.12.2019).
4. Дышла для прицепов КАМАЗ. URL: <http://www.chks.ru/catalog/dyshla.html> (дата обращения: 16.12.2019).

5. Удлинитель дышла прицепа // Daewoo Nexia Ксюха. Бортжурнал. URL: <https://www.drive2.ru/l/8762372/> (дата обращения: 16.12.2019).

6. Патент РФ 2043220. *Автопоезд для перевозки длинномерных грузов* / Немцов В.П., Фирсов В.Л., Лавров Н.С., Прасолов А.Б. Заявл. 11.02.1992. Опубл. 10.09.1995.

7. Патент РФ 15180 на полезную модель. *Транспортное средство для перевозки длинномерных грузов* / Евграфов М.В., Хожайнов А.А. Заявл. 21.06.2000. Опубл. 27.09.2000, Бюл. № 27.

Для цитирования: Васильев А.И., Семенов А.Г. Разработка универсального прицепа-ропуса // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 43–47.

DEVELOPMENT OF UNIVERSAL TRAILER-DISMISSAL

A.I. VASILIEV, A.G. SEMENOV, Cand. Sc.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya st.,
195251, St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: angel.777@mail.ru

On the base known domestic and foreign transport-technological complex and project in timber industry, construction and oil-gas branch, is designed and offered to introduction universal trailer-dismissal with perfected technician-field-performance datas. In designs applying: joint node with "dog-leg" breathed, executed component, with back and front parts, with possibility of folding in vertical plane on open platform of the tractor; telescopic intercoupling back and / or front parts component breathed; the windlass on tractor.

Keywords: overland transport-technological complex, truck convoy, trailer-dismissal, breathed, versatility.

REFERENCES

1. A road train to the Ural 44202-3511-80 chassis with a timber trailer-dissolution trailer. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=kkdqeiVBIU> (access date: 16.12.2019).
2. Trailers for the transportation of various long goods. URL: <http://kranigruz.ru/pricepy/pricep-dlya-perevozki-dlinnomernyh-gruzov> (access date: 16.12.2019).
3. Breathing // Encyclopedia of Mechanical Engineering XXL. Equipment, materials science, mechanics. URL: <http://mash-xxl.info/info/355611/> (access date: 16.12.2019).
4. Drawbar for KAMAZ trailers. URL: <http://www.chks.ru/catalog/dyshla.html> (access date: 16.12.2019).
5. Extension drawbar trailer // Daewoo Nexia Ksenia. Logbook. URL: <https://www.drive2.ru/l/8762372/> (access date: 16.12.2019).
6. Patent RF 2043220. *Avtopoyezd dlya perevozki dlinnomernykh gruzov* [Road train for the transportation of long loads]. Nemtsov V.P., Firsov V.L., Lavrov N.S., Prasolov A.B. Declared 11.02.1992. Published 10.09.1995.
7. Patent RF 15180 for utility model. *Transportnoye sredstvo dlya perevozki dlinnomernykh gruzov* [Vehicle for the transport of long goods] / Evgrafov M.V., Khozhainov A.A. Declared 21.06.2000. Published 27.09.2000, Bulletin No. 27

ВЕДУЩЕЕ КОЛЕСО АВТОМОБИЛЯ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ

А.Г. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, e-mail: angel.777@mail.ru

© Семенов А.Г., 2020

Исследована возможность создания и разработано ведущее колесо для автомобиля высокой проходимости. Оно содержит колесный диск и упругую шину с дополнительными упругими элементами, равномерно распределенными по длине ее тороидальной полости. Дополнительные упругие элементы выполнены в виде шаров, диаметр которых соответствует диаметру полости шины. Шары удерживаются и отделены друг от друга сепаратором, который выполнен звездчатым, общим для всех шаров, с ободом, неподвижно закрепленным на колесном диске. Его внешний радиус меньше минимального значения динамического радиуса колеса на деформируемых грунтах, с учетом толщины беговой дорожки шины. Технический результат использования заключается в улучшении эксплуатационных характеристик колеса и расширении области его применения.

Ключевые слова: автомобиль, высокая проходимость, ведущее колесо, взаимодействие колеса с грунтом, сцепление колеса с грунтом.

ВВЕДЕНИЕ

Бескамерные шины (маркировка *Tubeless*) колес имеют воздухонепроницаемый резиновый слой (вместо камеры). Герметичность в них достигается плотной посадкой покрышки на обод, а вентиль для нагнетания воздуха в шину размещается и герметизируется в отверстии обода колеса [1].

В транспортном машиностроении в свое время нашел применение гусматик, представляющий собой резиновую оболочку, внутренний объем которой заполнен специальной эластичной массой (как правило, на основе глицерина и желатина) – так называемым гусматическим составом. Впоследствии в качестве наполнителя при сохранении названия «гусматик» фактически использовалась губчатая резина, выполненная в виде вставляемого в серийную шину вместо камеры отдельного изделия. Главное достоинство гусматиков – неуязвимость для проколов, а также пулевых, осколочных и прочих механических повреждений [2].

В настоящее время разрабатываются новые, более эффективные аналоги гусматиков, в конструкции которых применен схожий принцип. В них для демпфирования вместо эластичной массы используются высокоэластичные ячеистые структуры, расположенные между более жесткой и прочной цельнолитой шиной и колесным диском [2].

Обычно ведущие колеса в составе транспортного средства высокой проходимости (снегоболотохода) содержат колесный диск и упругую шину с пневмокамерой низкого давления в ее тороидальной полости, а также смонтированные снаружи шины металлические кольцевые грунтозацепы, ориентированные поперечно и равномерно распределенные по длине шины [3, 4].

Однако при движении по дорогам с твердым покрытием и каменистому бездорожью металлические грунтозацепы ограничивают скорость движения, обуславливают неудовлетворительные показатели плавности хода и шумности; проблематична

также возможность движения в аварийном режиме при порванной или проколотой шине; велика вероятность вывода колеса из строя пулями и осколками боеприпасов, применительно к военным и специальным транспортным средствам.

В информационном массиве имеется (на уровне запатентованных изобретений) модельный ряд (линейка) проектов «колес Плясова» с различными упругими элементами в полости шины [5–7].

Под углом зрения представляемой авторской разработки наиболее интересно последнее устройство из этого ряда: ведущее колесо транспортного средства высокой проходимости – упругогибкое колесо Плясова «Кошка», содержащее колесный диск (ступицу) и упругую шину с дополнительными упругими элементами в ее тороидальной (кольцевой) полости, равномерно распределенными по длине последней [8]. В нем выполнены дополнительные упругие элементы двух типов – широкие кольца поперечной ориентации (эластичные кольцеобразные сепараторы) и секции спиральных металлических пружин, отделенные друг от друга упомянутыми кольцами.

Однако при всех своих положительных качествах в соответствии с техническим результатом использования – улучшением эксплуатационных характеристик и расширением области его применения – колесо Плясова (равно как и другие устройства из этого модельного ряда) еще недостаточно усовершенствовано, а именно:

остается практически круглым, со слабо выраженным спрямлением в пятне контакта, при движении по сильно деформируемым грунтам (а это основные эксплуатационные условия транспортного средства высокой проходимости), что определяет относительно низкий коэффициент сцепления, а значит – недостаточно низкую вероятность буксования;

недостаточно приспособлено к аварийному режиму движения с порванной / проколотой шиной (вследствие взаимодействия с твердыми острыми включениями в грунте);

в приложении к военной и специальной технике, недостаточно надежно защищено от пуль и осколков (при движении с порванной шиной встроенные в ее полость кольца и пружины могут быть вырваны).

Цель данной статьи – исследование возможностей создания и разработка, на уровне технического предложения, универсального ведущего колеса с адаптивностью к переменным дорожным условиям, что позволит осуществить дальнейшее совершенствование транспортных средств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Устройство разработанных ведущих колес шасси высокой проходимости наземного транспортного средства раскрывается в приведенных ниже примерах реализации (частных случаях конструктивного выполнения колеса) и упрощенно иллюстрируется схемами (рис. 1, 2). На рисунках цифрами обозначены: 1 – колесный диск (или ступица); 2 – упругая шина; 3 – тороидальная полость шины, заполненная воздухом под давлением; 4 – звездчатый сепаратор; 5 – обод сепаратора; 6 – фиксаторы сепаратора на колесном диске; 7 – концы сепаратора; 8 – дополнительные (опорные) упругие элементы – шары, размещаемые на периферии сепаратора, при равномерном их распределении по длине тороидальной полости шины; 9 – оси крепления шаров на периферии сепаратора; 10 – гнезда для опоры осей шаров; 11 – недеформируемый грунт; 12 – деформируемый грунт.

Ведущее колесо транспортного средства высокой проходимости (например, снегоболотохода, робота) содержит колесный диск и упругую (резиновую) шину с дополнительными упругими (резиновыми) элементами в ее тороидальной (кольцевой) полости, равномерно распределенными по длине последней.

Дополнительные упругие элементы выполнены в виде шаров диаметром, соответствующим диаметру полости шины. Шары удерживаются и отделены друг от друга сепаратором (см. рис. 1а, 2).

Сепаратор выполнен звездчатым, общим для всех шаров, с неподвижно закрепленным на колесном диске ободом. Внешний радиус сепаратора меньше минимального значения динамического радиуса колеса на деформируемых грунтах, с учетом толщины беговой дорожки шины.

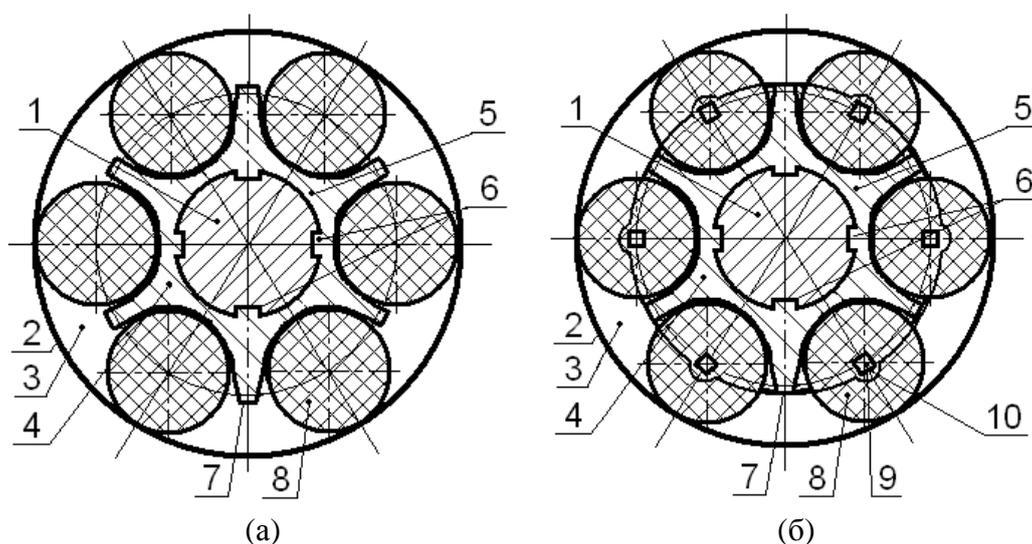


Рис. 1. Схема колеса в вывешенном состоянии: свободная установкой шаров в упрощенном звездчатом сепараторе (продольный разрез) (а); установка шаров на осях прямоугольного сечения в сборном звездчатом сепараторе (продольный разрез с условно прозрачной ближней (лицевой) частью сепаратора) (б)

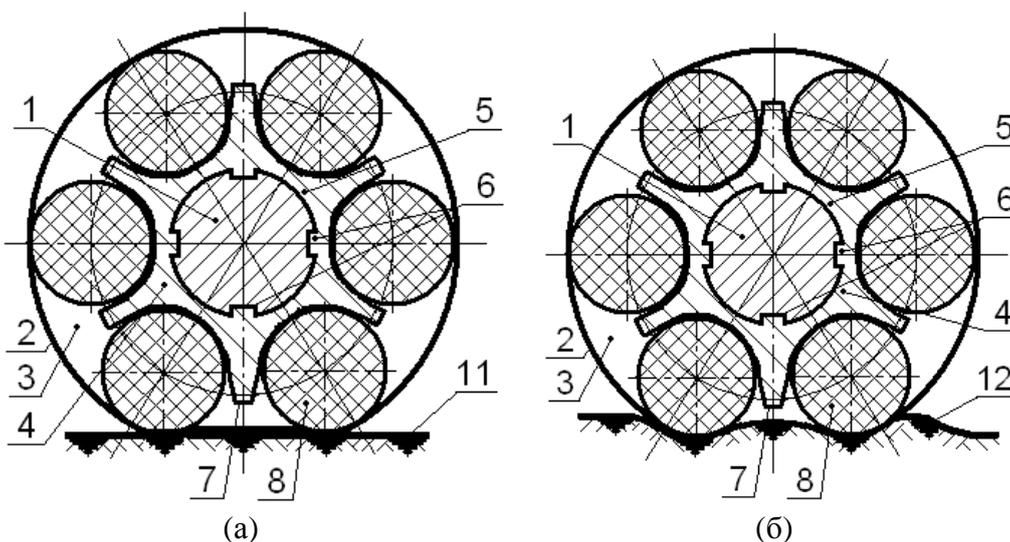


Рис. 2. Схема колеса (продольный разрез) во взаимодействии: с недеформируемым (а) и деформируемым (б) плоским основанием (грунтом)

Шары могут быть выполнены с воздушными полостями, преимущественно центрального расположения (на рисунках не показаны). Соотношение внешнего и внутреннего диаметров шара и его полости составляет порядка 2:1 и определяется в каждом конкретном проекте.

Концы сепаратора могут быть выполнены с поверхностями, эквидистантными по отношению к внутренней поверхности беговой дорожки шины.

Сепаратор может быть выполнен сборным из двух соединенных друг с другом левой и правой частей, совместно охватывающих шары на большей части их площади (см. рис. 1б).

Шары могут быть установлены в сепараторе на поперечных горизонтальных осях в гнездах с возможностью пассивного вращения (ось круглого, квадратного (см. рис. 2) или звездчатого сечения). По другому варианту они могут устанавливаться в сепараторе на поперечных горизонтальных осях без возможности пассивного вращения (ось квадратного (см. рис. 2) или звездчатого сечения, но с жестким креплением в гнезде сепаратора).

Шары могут быть изготовлены из материала с радиальной жесткостью выше радиальной жесткости шины, а сепаратор – с жесткостью, превышающей жесткость шаров. При этом шары и сепаратор могут быть сделаны из резины.

Полость шины может быть заполнена воздухом под давлением, относящим ее к категории шин низкого давления. При этом полость шины может быть пневматически связана с системой оперативного изменения давления воздуха в ней (на рисунке не показана).

Остановимся более подробно на работе устройства. В вывешенном состоянии колеса сохраняют показанную на чертежах геометрическую форму (см. рис. 1), за исключением малозаметного яйцеобразного провисания в нижней части. Сохранению формы (особенно в примере на рис. 1б) способствуют:

- исходное плотное, с поджимом, облегание упругих элементов другими элементами – например, шиной, шарами;
- жесткая фиксация элементов;
- развитый охват шаров сепаратором;
- наличие воздуха под избыточным, в сравнении с внешним атмосферным, давлением в полости шины.

На недеформируемом грунте (дороге, горизонтальной опорной поверхности), то есть с большой несущей способностью (см. рис. 2) шасси перемещается за счет качения колесного движителя (с ведущими колесами предлагаемой конструкции, см. рис. 1). Пятно контакта колеса с грунтом имеет плоскую форму, обуславливающую величину коэффициента качения колеса. От наличия или отсутствия воздуха под давлением в полости, в том числе с принудительным изменением давления воздуха посредством упомянутой системы оперативного изменения давления воздуха, плоскостность пятна контакта сохраняется, изменяются лишь ее площадь и коэффициент сопротивления качению.

Функцию упругих элементов при качении колеса выполняют совместно шина, шары, воздух в полости и сепаратор (при его выполнении тоже упругим).

Если у шаров имеются воздушные полости, упругие свойства шаров улучшаются при существенном уменьшении их массы, а значит и массы колеса в целом.

В случае нарушения целостности шины (например, при разрыве беговой дорожки или повреждении боеприпасом) шары сохраняют как возможность качения колеса, так и функции упругих элементов (с ухудшением плавности хода). Обычно это называют «сесть на бандаж».

На местности с выраженным деформируемым грунтом, то есть с его низкой несущей способностью (см. рис. 1а, 2б), из-за неравномерной эпюры распределения удельного давления на грунт и дифференцированных жесткостей набегающего и сбегавшего шаров, участка шины между ними и газообразного упругого тела – воздуха в полости, особенно нижней ее части, нижние шары вдавливаются в грунт больше, чем соседние участки беговой дорожки шины, при этом упомянутый участок шины вдавливается в полость.

Пятно контакта колеса с деформируемым грунтом приобретает в продольном вертикальном сечении волнистую конфигурацию (см. рис. 2б), благодаря чему нижние шары выполняют функцию грунтозацепов и ведущее колесо, получив форму «шестерни», работает в тяжелых дорожных условиях эффективнее гладкого круглого. Это и есть режим высокой проходимости – наиболее важный эксплуатационный режим (во всем спектре «подрезимов») с позиций выявления и оценки технического результата от использования заявляемого изобретения.

При превышении предельного расчетного значения прогиба нижнего участка шины происходит дальнейшая выборка (уменьшение) зазора между внутренней поверхностью беговой дорожки шины и концом сепаратора. Концы продавливаемых участков шины ограничивают такое продавливание, предотвращая чрезмерное продольное распирание шаров и прорыв шины в пятне контакта.

Эквидистантность противоположных поверхностей концов и внутренней поверхности беговой дорожки шины способствует предотвращению прорыва последней в этих местах.

Эти процессы можно регулировать оперативным изменением давления воздуха в полости.

В случае нарушения целостности шины, а также потери части или всех шаров колесу проще сохранять дальнейшее движение в аварийном режиме – на сепараторе, за счет его звездчатости (благодаря вторичному эффекту «шестерни»).

Установка шаров на осях, допускающая пассивное вращение на них, расширяет возможности ведомого перемещения (качения) колеса: в ведомом режиме без шины оно может осуществлять качение иначе – на шарах.

Жесткая же установка шаров в сепараторе снижает износ от взаимного трения шаров о шину и сепаратор, повышая долговечность и снижая тепловыделение (хотя при низких температурах окружающей среды такое тепловыделение препятствует обледенению ходовой части транспортного средства).

Описанный пример устройства не исключает других возможных вариантов в рамках концепции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемое техническое решение позволяет решить поставленную задачу по улучшению эксплуатационных характеристик колеса и расширению области его применения (автоматический переход в тяжелых дорожных условиях на режим колеса

высокой проходимости, с увеличением коэффициента сцепления с грунтом за счет псевдогрунтозацепов; большая приспособленность колеса (адаптивность) к аварийному режиму движения с порванной / проколотой шиной; лучшая защищенность от пуль и осколков и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Общая информация о шинах / За рулем. 2002. № 3. URL: <http://www.shod-gazval.net/kolosa.htm> (дата обращения: 12.11.2019).
2. Гусматик. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гусматик> (дата обращения: 12.11.2019).
3. Патент РФ 2192968. *Колесо вездехода низкого давления* / Захарычев С.П., Иванов Н.А. Заявл. 01.02.2000. Оpubл. 20.11.2002, Бюл. № 32.
4. Патент РФ 2292268. *Колесо низкого давления* / Иванов Н.А., Захарычев С.П. Заявл. 21.03.2005. Оpubл. 27.01.2007, Бюл. № 3.
5. Патент РФ 2194626. *Колесо Плясова «Мечта» для транспортного средства* / Плясов Н.К. Заявл. 14.08.2000. Оpubл. 20.12.2002, Бюл. № 35.
6. Патент РФ 2281205. *Колесо Плясова «Универсальное»* / Плясов Н.К. Заявл. 31.01.2005. Оpubл. 10.08.2006, Бюл. № 22.
7. Патент РФ 2306229. *Упругогибкое колесо Плясова «Кивач»* / Плясов Н.К. Заявл. 28.03.2006. Оpubл. 20.09.2007, Бюл. № 26.
8. Патент РФ 2337013. *Упругогибкое колесо Плясова «Кошка»* / Плясов Н.К. Заявл. 11.07.2007. Оpubл. 27.10.2008, Бюл. № 30.

Для цитирования: Семенов А.Г. Ведущее колесо автомобиля высокой проходимости // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 48–54.

LEADING WHEEL FOR CAR OF THE HIGH PASSABILITY

A.G. SEMENOV, Cand. Sc.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya st., 195251,
St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: angel.777@mail.ru

The article pertains to transport machine building. The explored possibility of the creation and is designed leading wheel for car of the high passability. It contains the wheel disk and springy bus with additional springy element in its toroid cavity, evenly portioned on its length. The additional springy elements are executed in the manner of ball by diameter, corresponding to diameter to cavities of the bus. The balls remain and is separated friend from friend by separator, which is executed by star, the general for all ball, with rim, still bolted on wheel disk. Its external radius minimum importance of the dynamic radius travell about less on deformed soil, with provision for thicknesses of the running track of the bus. The technical result of the use is concluded in improvement of the field-performance datas travell about and expansion of the area of its using.

Keywords: car, high passability, leading wheel, interaction travel about with soil, traction travel about with soil.

REFERENCES

1. General information about tires / Driving, 2002, No 3. URL: <http://www.shod-razval.net/kolosa.htm> (access date: 12.11.2019).
2. Gummatik. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Gusmatik> (access date: 12.11.2019).
3. Patent RF 2192968. *Koleso vezdekhoda nizkogo davleniya* [Wheel of an all-terrain vehicle of low pressure] / Zakharychev S.P., Ivanov N.A. Declared 01.02.2000. Published 20.11.2002, Bulletin No. 32.
4. Patent RF 2292268. *Koleso nizkogo davleniya* [Wheel of low pressure] / Ivanov N.A., Zakharychev S.P. Declared 21.03.2005. Published 27.01.2007, Bulletin No. 3.
5. Patent RF 2194626. *Koleso Plyasova «Mechta» dlya transportnogo sredstva* [Plyasov's wheel "Dream" for a vehicle] / Plyasov N.K. Declared 14.08.200. Published 20.12.2002, Bulletin No. 35.
6. Patent RF 2281205. *Koleso Plyasova «Universal'noye»* [Plyasov's wheel "Universal"] / Plyasov N.K. Declared 31.01.2005. Published 10.08.2006, Bulletin No. 22.
7. Patent RF 2306229. *Uprugogibkoye koleso Plyasova «Kivach»* [Plyasov's elastic-flexible wheel "Kivach"] / Plyasov N.K. Declared 28.03.2006. Published 20.09.2007, Bulletin No. 26.
8. Patent RF 2337013. *Uprugogibkoye koleso Plyasova «Koshka»* [Plyasov's elastic-flexible wheel "Cat"] / Plyasov N.K. Declared 11.07.2007. Published 27.10.2008, Bulletin No. 30.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЫ МАШИНЫ ДЛЯ СВОДКИ ЛЕСА

В.Ф. СИНИЦЫН, д-р техн. наук, Л.В. КОПЕНКИНА, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: lvkopenkina@mail.ru

© Синицын В.Ф., Копенкина Л.В., 2020

Рассмотрены вопросы использования имитационной модели и компьютерных экспериментов при проектировании параметров фрезы машины для сводки леса при подготовке торфяных площадей к разработке. При проектировании машины прежде всего необходимо определить такие параметры, как момент инерции фрезы и мощность привода. Установлено, что путем увеличения момента инерции фрезы машины для сводки леса возможно многократное уменьшение мощности привода фрезы. Получена формула для нахождения минимально возможной мощности привода фрезы машины для сводки леса. Предложена и определена характеристика древостоя, которая используется при определении минимально возможной мощности привода фрезы машины для сводки леса. Полученные результаты исследований позволяют с высокой степенью надежности проектировать параметры фрезы машины для сводки леса.

Ключевые слова: подготовка торфяной залежи, машина для сводки леса, характеристика древостоя, мощность привода фрезы, момент инерции фрезы, кинетическая энергия фрезы, имитационное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

При подготовке торфяных месторождений к использованию для добычи торфа необходимы работы по сводке леса. В 1951 году во Всесоюзном научно-исследовательском институте торфяной промышленности (ВНИИТП) на базе экскаватора ТЭ-2 была создана машина для сводки леса ЭТУ-0.75, в которой в качестве рабочего органа использовалась дисковая фреза. Применение ЭТУ-0.75 в промышленности показало ее высокую эффективность, и на заводе «Ивторфмаш» было налажено ее серийное производство. В 1956 году на предприятиях торфяной промышленности работало уже 27 таких машин. Конструкторы ВНИИТП работали над усовершенствованием машин этого типа. В результате были созданы МТП-43, МТП-13 [1]. Машины этого типа имели двигатели мощностью 70–110 кВт, их сменная производительность составляла 0,5–0,7 га древостоя. Скорость подачи фрезы составляет 2...3 м/с.

В целях рационализации параметров машин для сводки леса в процессе их создания выполнялись опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы. Целью экспериментальных исследований являлось определение технологических показателей машины при различных условиях работы. Данные, полученные в результате этих исследований, позволяют рассчитать производительность машины с учетом условий ее работы [1, 2].

В ходе экспериментальных исследований было обнаружено, что 90 % мощности двигателя расходуется на привод дисковой фрезы машины для сводки леса. В связи с этим вопросы энергоемкости резания древесины различной породы и наиболее рациональных геометрических параметров ножей фрезы с самого начала считались чрезвычайно актуальными. Первые обширные исследования, имевшие целью

определение энергоемкости резания древесины и оптимизацию геометрических параметров ножей, были выполнены сотрудниками ВНИИТП С.А. Фуниковым и А.Э. Янчуковичем [1]. Работы по оптимизации геометрических параметров ножей с целью снижения энергоемкости резания древесины фрезой машины выполнялись и позднее [3].

Уже в первых исследованиях работы машины для сводки леса при подготовке торфяных месторождений к эксплуатации было обращено внимание на то, что фреза попеременно совершает срезку деревьев и холостой ход. Пиковые значения мощности на зубьях фрезы во время срезки дерева превышают мощность двигателя в 3–4 раза. 65–75% энергии, необходимой для срезки дерева, – это кинетическая энергия фрезы, которая выделяется в результате уменьшения ее угловой скорости [1].

За счет энергии, поступающей от двигателя, во время холостого хода восстанавливается кинетическая энергия фрезы. Это значит, что угловая скорость возрастает до первоначального значения. Фреза аккумулирует поступающую от двигателя энергию. Чем больше момент инерции фрезы (при прочих равных условиях), тем меньше пиковые значения мощности и изменения угловой скорости фрезы. Следует ожидать, что при бесконечно большом моменте инерции фрезы изменения ее угловой скорости при встрече с деревом будут ничтожны.

Мощность привода фрезы должна быть практически постоянной, тогда двигатель работает в режиме постоянной мощности. Энергия от двигателя будет поступать равномерно. Для того чтобы не увеличивать массу фрезы, момент инерции не должен быть большим. Поэтому при проектировании машины стоят задачи определения наиболее рациональных значений мощности привода и момента инерции. В современных публикациях, посвященных проектированию оборудования для срезки древесной растительности, этот вопрос не рассматривается [4–7].

Цель работы – изучение возможностей имитационной модели и компьютерного эксперимента для проектирования параметров фрезы машины для сводки леса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Задача определения наиболее рациональных значений мощности привода и момента инерции фрезы рассматривалась для случая сплошного фрезерования пнистой залежи [8]. Непосредственное использование этого решения применительно к машине для сводки леса невозможно. Были разработаны аналитические решения этой задачи применительно к машине для сводки леса [2, 3]. Эти решения получены на основе следующих допущений. Срезка дерева осуществляется за счет энергии, поступающей от двигателя за время срезки и кинетической энергии фрезы в результате уменьшения ее угловой скорости. Кинетическая энергия фрезы восстанавливается за счет энергии, поступающей от двигателя за время холостого хода фрезы.

При этом диаметр срезаемого дерева d и время холостого хода t_x – величины случайные и их расчетные значения назначаются с учетом вероятности.

Недостаток аналитических решений заключается в том, что величины мощности привода и момента инерции фрезы оказываются связанными между собой. Поэтому использование аналитических решений не позволило обнаружить, что увеличением момента инерции фрезы можно достигнуть уменьшения мощности привода. Этот факт был установлен в результате компьютерных экспериментов, которые выполнялись с использованием специального комплекса [9], состоящего из двух компьютерных программ.

В первой программе (MODDREV) моделируется древостой, который срезается при рабочем проходе фрезы машины. Вторая программа (MODRESL) описывает процесс взаимодействия фрезы машины для сводки леса с древостоем.

Программа MODDREV базируется на следующих положениях. Время прохождения фрезой расстояния между последовательно срезаемыми деревьями является случайной величиной, которая распределена по закону Пуассона:

$$f(L) = \lambda \cdot e^{-\lambda L}. \quad (1)$$

Параметр λ этого распределения определяют с использованием характеристик: k_f – коэффициент использования диаметра фрезы; D_f – диаметр фрезы, м; m – густота древостоя, 1/га.

Диаметр дерева, срезаемого фрезой, рассматривается как случайная величина. Эта величина считается распределенной по нормальному закону. В качестве параметров распределения используются математическое ожидание m_d и среднее квадратичное отклонение Sig_d .

При моделировании диаметров количество реализаций N назначалось с таким расчетом, чтобы значения математического ожидания и среднего квадратичного отклонения, определенные по смоделированной совокупности диаметров, существенно не отличались от исходных значений.

В результате моделирования получены массив расстояний между центрами последовательно срезаемых деревьев $L(1:N)$ и массив диаметров $D(1:N)$. Эти массивы являются исходными данными для получения массива расстояния фрезы до начала контакта с очередным деревом $Lnr(1:N)$ и массива расстояния фрезы до окончания контакта с очередным деревом $Lkr(1:N)$.

Окончательным результатом работы программы будут три массива: $D(1:N)$, $Lnr(1:N)$ и $Lkr(1:N)$, которые выводятся в файл DREVOST.DAT.

Вторая программа, MODRESL, служит имитационной моделью процесса взаимодействия фрезы с древостоем. Исходными данными для этой программы являются B – ширина пропила (ширина зубьев фрезы), м; A – удельный расход энергии на резание древесины, кДж/м³; w – скорость подачи фрезы, м/с; N_d – мощность привода фрезы, кВт; om_{min} – минимальная угловая скорость фрезы, рад/с; om_{max} – максимальная угловая скорость фрезы, рад/с; J_f – момент инерции фрезы, кг·м².

Эта программа «срезает» древостой, который представлен массивами $D(1:N)$, $Lnr(1:N)$ и $Lkr(1:N)$ и считывается из файла DREVOST.DAT.

Результат работы программы MODRESL – определение вероятности безостановочной срезки деревьев P на рабочем проходе при заданных значениях параметров фрезы и древостоя.

Эксперименты показали, что, при тех значениях параметров фрезы, которые имеют машины типа ЭТУ-0.75 ($J_f = 70$ кг·м², $N_d \approx 70$ кВт, $om_{min} = 60,7$ рад/с, $om_{max} = 67,4$ рад/с), вероятность безостановочной срезки деревьев $P \approx 0,998$.

Под вероятностью понимается следующее отношение:

$$P = (N - nos) / N, \quad (2)$$

где N – количество срезанных деревьев; nos – количество случаев, когда угловая скорость фрезы при взаимодействии с деревом снижается до величины, меньшей минимальной угловой скорости фрезы, и двигатель глохнет.

Характеристики сосново-сфагнового древостоя верховых торфяных месторождений:

густота древостоя $m = 1\ 600$ 1/га;

математическое ожидание диаметра дерева $m_d = 0,13$ м;

среднее квадратичное отклонение $Sig_d = 0,032$ 5 м.

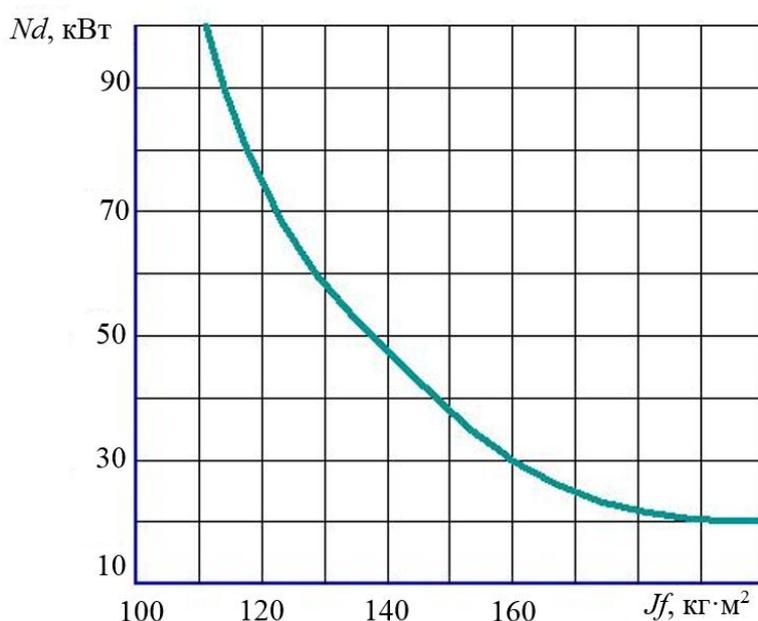
Скорость подачи фрезы 2 м/с, диаметр фрезы $D_f = 1,5$ м, коэффициент использования диаметра фрезы $k_f = 0,8$.

Алгоритм имитационной модели взаимодействия фрезы с древостоем представляет собой последовательность результатов взаимодействия фрезы с каждым конкретным деревом. Анализ результатов взаимодействия производится с использованием сравнительно простых зависимостей. Последовательность этого анализа в точности соответствует последовательности срезки деревьев. Зависимости необходимой мощности привода и момента инерции, интересующие нас при проектировании машины для сводки леса, можно получить только путем компьютерных экспериментов с использованием имитационной модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Компьютерные эксперименты с имитационной моделью, выполненные для сосново-сфагнового древостоя верховых торфяных месторождений, показали, что можно многократно уменьшить необходимую мощность привода фрезы, увеличивая момент инерции при постоянном значении вероятности безостановочной срезки деревьев, равной 0,998 (рисунок).

Уменьшение мощности привода потребует многократного увеличения момента инерции фрезы по сравнению с моментом инерции на машинах типа ЭТУ-0.75. Единственным способом достижения таких значений момента инерции является введение в систему привода фрезы специального инерционного устройства. Такое устройство для сводки древесной растительности с инерционным механизмом было предложено в [10].



Зависимость мощности привода фрезы N_d от величины момента инерции фрезы J_f

Характер зависимости Nd от Jf (см. рисунок) свидетельствует о том, что величина мощности Nd с увеличением момента инерции Jf стремится к пределу. Какая величина является таким пределом и можно ли ее вычислить?

При бесконечно большом значении момента инерции Jf фреза располагает бесконечно большим запасом кинетической энергии. Следовательно, мощность привода не будет зависеть от величины пиковых нагрузок, возникающих при срезке дерева. Поэтому мощность привода будет равна средней мощности, необходимой для срезки данного древостоя. Степень совершенства предлагаемой конструкции определяется тем, насколько мощность ее привода близка к данной средней мощности.

Найдем значение этой мощности, получив для нее формулу. Количество энергии для срезки одного дерева в древостое можно определить следующим образом:

$$A_0 = \frac{\pi d_i^2}{4} BA, \quad (3)$$

где d_i – расчетный диаметр дерева, реализация случайной величины, м;

B – ширина пропила (равна ширине зуба фрезы), м;

A – удельный расход энергии на резание древесины, Дж/м³.

Количество энергии для срезки деревьев на 1 га можно рассчитать по формуле

$$A_z = BA \sum_1^m \frac{\pi d_i^2}{4}. \quad (4)$$

Средняя мощность, необходимая для срезки данного древостоя, определяется по формуле

$$N_{cp} = \frac{D \cdot k_\phi \cdot w \cdot A_z}{10^4}, \quad (5)$$

где D – диаметр фрезы, м;

k_ϕ – коэффициент использования ширины захвата;

w – поступательная скорость, м/с.

С учетом формулы (5) средняя мощность для срезки данного древостоя

$$N_{cp} = \frac{D \cdot k_\phi \cdot w \cdot B \cdot A}{10^4} \cdot \sum_1^m \frac{\pi d_i^2}{4}, \quad (6)$$

где $\sum_1^m \frac{\pi d_i^2}{4}$ – характеристика древостоя, суммарная площадь среза всех деревьев на

1 га на уровне мохового ковра;

d_i – диаметр дерева, случайная величина, распределенная по нормальному закону, характеризуемая параметрами m_d и σ_d .

Методом статистических испытаний находим представительный статистический материал для получения средней мощности с достаточной точностью и надежностью.

Значение диаметра дерева принято для модели нормального распределения с параметрами, соответствующими среднестатистическим оценкам среднего значения диаметра дерева 0,13 м и стандартного отклонения 0,032 5 м.

Суммарная площадь среза, м²/га, может быть определена (при наличии параметров m_d , B_d и густоты древостоя m) по формуле

$$S = \sum_1^m \frac{\pi d_i^2}{4}. \quad (7)$$

Тогда мощность для срезки древостоя, кВт, рассчитывается как

$$N_{cp} = \frac{D \cdot k_{\phi} \cdot w \cdot B \cdot A}{10^4} \cdot S. \quad (8)$$

Суммарную площадь среза на 1 га целесообразно включить в характеристику древостоя (таблица).

Характеристика древостоя растительных группировок верхового типа [11]

Характеристика древостоя	Растительные группировки		
	Грядово-мочажинная	Сосново-сфаговая	Сосново-кустарничковая
Количество деревьев на 1 га без учета подроста, шт.	1 300	1 600	1 400
Средний диаметр на уровне мохового покрова, м	0,05	0,13	0,20
Суммарная площадь среза, м ² /га	65,6	207,7	279,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что путем увеличения момента инерции фрезы машины для сводки леса возможно многократное уменьшение мощности привода фрезы. Выведена формула для нахождения минимально возможной мощности привода фрезы машины для сводки леса. Предложена характеристика древостоя, которая используется при определении минимально возможной мощности привода фрезы машины для сводки леса. Результаты проведенных исследований позволяют с высокой степенью надежности проектировать параметры фрезы машины для сводки леса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудимов Л.П., Кусков Ю.Д., Сафонов К.Е. Технология и комплексная механизация подготовки торфяных месторождений к разработке. М.: Недра, 1974. 216 с.
2. Шейде В.П. Определение параметров машины для сводки леса при подготовке торфяных полей // *Торфяная промышленность*. 1973. № 8. С. 16–18.
3. Сеницын В.Ф. Расчет мощности привода дисковой пилы машины для сводки леса // *Торфяная промышленность*. 1975. № 1. С. 11–12.
4. Васильев С.М., Гулюк Г.Г., Домашенко Ю.Е., Митяева Л.А., Ляшков М.А. Технологические схемы удаления древесно-кустарниковой растительности при про-

ведении культуртехнических работ // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2018. № 4 (32). С. 126–145.

5. Кветкова М., Гашпарик М., Гафф М., Самусевич А., Мифтиева Е. Фрезерование с точки зрения качества древесины // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2015. № 1. С. 16–18.

6. Булатасов Э.О., Попов В.П., Ханин В.П. Математическая модель фрезерования древесины // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015. № 4 (179). С. 210–215.

7. Раповец В.В., Медведев С.В., Иванец Г.Г. Моделирование фрезерования древесины в мультипроцессорной вычислительной среде на суперкомпьютере // *Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 2 (184). С. 289–293.

8. Солопов С.Г., Мурашов М.В., Миркин М.А. Торфяные машины: учебник. М.: Высшая школа, 1962. 354 с.

9. Сеницын В.Ф. Имитационная модель процесса взаимодействия с древостоем фрезы машины для срезки древесной растительности типа ЭСЛ // *Лесной вестник*. 2010. № 6. С. 111–115.

10. Патент РФ 86069 на полезную модель. *Устройство для сводки древесной растительности* / Сеницын В.Ф., Авдейчик Е.И. Заявл. 20.04.2009. Опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24.

11. Ларгин И.Ф. Исследование древесного яруса на верховых болотах // *Труды института леса АН СССР*. 1953. Т. 13. С. 45–51.

Для цитирования: Сеницын В.Ф., Копенкина Л.В. К вопросу определения параметров фрезы машины для сводки леса // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 1 (5). С. 55–62.

TO THE QUESTION OF DETERMINING THE PARAMETERS OF THE MILLING CUTTER MACHINE FOR FOREST LOGGING

V.F. SINITSYN, Dr. Sc., L.V. KOPENKINA, Cand Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: lvkopenkina@mail.ru

The article discusses the use of a simulation model and computer experiments in the design of the parameters of the milling machine for logging in the preparation of peatlands for development. When designing a machine, the task of determining the required drive power is also the task of determining the necessary moment of inertia. It has been established that by increasing the moment of inertia of the mill cutter for logging, a multiple reduction in the drive power of the mill is possible. A formula is proposed for finding the minimum possible drive power of the mill cutter for logging. A stand characterization is proposed and defined, which is used to determine the minimum possible drive power of a mill cutter for logging. The obtained research results allow us to design, with a high degree of reliability, the parameters of the mill cutter for logging.

Keywords: preparation of peat deposits, forest logging machine, stand characterization, cutter drive power, cutter inertia moment, cutter kinetic energy, simulation.

REFERENCES

1. Kudimov L.P., Kuskov Yu.D., Safonov K.E. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya podgotovki torfyanykh mestorozhdeniy k razrabotke [Technology and complex mechanization of peat deposits for development]. Moscow: Nedra, 1974. 216 p.
2. Scheide V.P. Defining the Parameters of the Forest Summary Machine in the Preparation of Peat Fields. *Torfyannaya promyshlennost'*.1973. No. 8, pp. 16–18. (In Russian).
3. Sinitsyn V.F. Calculation of the power of the drive of the disk saw of the forest summary machine. *Torfyannaya promyshlennost'*. 1975. No. 1, pp. 11–12. (In Russian).
4. Vasiliev S.M., Guluk G.G., Domashenko Yu.E., Mityayeva L.A., Lyashkov M.A. Technological schemes for the removal of wood and shrubby vegetation during cultural work. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*. 2018. No. 4 (32), pp. 126–145. (In Russian).
5. Kvetkova M., Gasparik M., Gaff M., Samusevich A., Miftieva E. Milling in terms of wood quality. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost*. 2015. No. 1, pp. 16–18. (In Russian).
6. Bulatasov E.O., Popov V.P., Khanin V.P. The mathematical model of wood milling. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 4 (179), pp. 210–215. (In Russian).
7. Rapovets V.V., Medvedev S.V., Ivanets G.G. Modeling wood milling in a multiprocessor computing environment on a supercomputer // *Works of BSTU. Timber and woodworking industry*. 2016. No. 2 (184), pp. 289–293. (In Russian).
8. Solopov S.G., Murashov M.V., Mirkin M. A. *Torfyanyye mashiny: uchebnik* [Peat machines: textbook]. Moscow: Vysshaya shkola, 1962. 354 p.
9. Sinitsyn V.F. Simulation Model of Interaction Process with Wood Stand of Wood Vegetation Cutting Machine Type ESL. *Lesnoy vestnik*. 2010. No. 6, pp. 111–115. (In Russian).
10. Patent RF 86069 for utility model. *Ustroystvo dlya svodki drevesnoy rastitel'nosti* [A device for summarizing woody vegetation] / Sinitsyn V.F., Avdeychik E.I. Declared 20.04.2009. Published 27.08.2009, Bulletin No. 24.
11. Largin I.F. Study of the tree tier on the upper swamps // *Works of the Institute of Forest of the Academy of Sciences of the USSR*, 1953. V.13, pp. 45–51. (In Russian).

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.5.08

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ САМОКАЛИБРУЮЩИХСЯ ГАЗОВЫХ ХРОМАТОГРАФОВ

Л.В. ИЛЯСОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет, 170026,
Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: lvi450714@mail.ru

© Илясов Л.В., 2020

Приводятся результаты разработок зависимостей, позволяющих интерпретировать измерительную информацию, получаемую от нового типа хроматографов, названных самокалибрующимися. Излагается сущность самокалибровки хроматографов, состоящая во введении в цикл хроматографического анализа дополнительной операции измерения массы или объема пробы, вводимой на анализ вещества с помощью детектора плотности газов или равночувствительного детектора соответственно. Приводится схема самокалибрующегося хроматографа. Описываются математические модели сигналов детекторов плотности газов и равночувствительных детекторов, доказывається возможность измерения с их помощью масс и объемов компонентов анализируемой среды в процессе хроматографического анализа. Приводятся зависимости, обеспечивающие интерпретацию измерительной информации с помощью самокалибрующихся хроматографов при наличии как полной, так и неполной хроматограммы, если в составе этих хроматографов используются детекторы плотности газов и равночувствительные детекторы. Делается вывод о том, что использование разработанных зависимостей для обработки сигналов самокалибрующихся хроматографов позволяет исключить необходимость проведения дорогостоящих и трудоемких операций, связанных с абсолютной калибровкой хроматографических анализаторов.

Ключевые слова: самокалибрующийся хроматограф, детекторы газов, концентрация компонентов, анализ, состав.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной чертой развития технологических процессов в настоящее время является ориентация на производство продукции повышенного качества. Особая роль в решении задачи повышения качества продукции и эффективности управления в отраслях промышленности, базирующихся на использовании химико-технологических процессов, отводится системам автоматического контроля качества [1–3]. Для определения качества продукции путем автоматического анализа состава газообразных и жидких сред непосредственно на потоках химико-технологических процессов в настоящее время применяются автоматические хроматографы [4–6].

Интерпретация измерительной информации, получаемой от газовых хроматографов, базируется на ряде методов расчета хроматограмм, требующих знания коэффициентов относительной чувствительности к компонентам анализируемой среды или проведения трудоемкой и дорогостоящей абсолютной калибровки

хроматографов [7–9], что затрудняет использование автоматических хроматографов на технологических потоках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На кафедре автоматизации технологических процессов Тверского государственного технического университета (АТП ТвГТУ) в течение ряда лет проводятся разработки и исследования детекторов плотности газов и равночувствительных детекторов, которые позволяют упростить интерпретацию измерительной информации, получаемой от газовых хроматографов, и создавать на их основе самокалибрующиеся хроматографы.

Для интерпретации измерительной информации, получаемой от самокалибрующихся хроматографов, необходимо использовать математические модели сигналов детекторов плотности газов и равночувствительных детекторов.

Сигнал известных [10] и новых детекторов плотности газов [11–13] описывается выражением

$$U_i = K_\rho \cdot (\rho_i - \rho_{г-н}) \cdot \alpha_i, \quad (1)$$

где U_i – сигнал детектора, вызываемый i -м компонентом анализируемой смеси;

K_ρ – коэффициент преобразования детектора плотности газов;

ρ_i и $\rho_{г-н}$ – плотность соответственно i -го компонента и газа-носителя в нормальных условиях;

α_i – объемная концентрация i -го компонента в потоке газа-носителя, поступающего в детектор.

В связи с тем, что в настоящее время в газовых хроматографах в качестве газа-носителя используется гелий, плотность которого мала по сравнению с плотностью детектируемых компонентов, для упрощения расчетов для описания сигнала детекторов плотности обычно используется более простое выражение:

$$U_i = K_\rho \cdot \rho_i \cdot \alpha_i. \quad (2)$$

Необходимо отметить, что для детектора плотности газов, разработанного на кафедре АТП ТвГТУ и описанного в работе [14], выражение (2) точно описывает сигнал детектора, так как у этого детектора он не зависит от плотности газа-носителя.

Объемная концентрация i -го компонента в потоке газа-носителя описывается выражением

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{г-н}}, \quad (3)$$

где Q_i – парциальный объемный расход i -го компонента;

$Q_{г-н}$ – объемный расход газа-носителя.

Из выражений (2) и (3) находим

$$U_i = K_\rho \cdot \frac{\rho_i \cdot Q_i}{Q_{г-н}} = K_\rho \cdot \frac{G_i}{Q_{г-н}}, \quad (4)$$

где $G_i = \rho_i \cdot Q_i$ – массовый парциальный расход i -го компонента в потоке газа-носителя.

Площадь сигнала (площадь пика на хроматограмме) S_i i -го компонента может быть описана выражением

$$S_i = \int_{t_H}^{t_K} U_i dt = \int_{t_H}^{t_K} K_\rho \cdot \frac{G_i}{Q_{2-n}} dt = \frac{K_\rho}{Q_{2-n}} \cdot m_i = K_m \cdot m_i, \quad (5)$$

где t_H и t_K – моменты начала и окончания выхода компонента в детектор;

$$m_i = \int_{t_H}^{t_K} G_i dt \text{ – масса } i\text{-го компонента;}$$

K_m – постоянный коэффициент для принятых условий работы хроматографа.

Коэффициент K_m можно рассматривать как коэффициент преобразования по массе детектора плотности газов.

Сигнал всех равночувствительных детекторов [10, 15, 16] описывается выражением

$$U_i = K \cdot \alpha_i, \quad (6)$$

где K – коэффициент преобразования равночувствительного детектора.

С учетом выражения (3) выражение (6) можно представить в виде

$$U_i = K \cdot \frac{Q_i}{Q_{2-n}}. \quad (7)$$

Для площади сигнала S_i i -го компонента равночувствительного детектора получим

$$S_i = \int_{t_H}^{t_K} U_i dt = \int_{t_H}^{t_K} K \cdot \frac{Q_i}{Q_{2-n}} dt = \frac{K}{Q_{2-n}} \cdot V_i = K_V \cdot V_i, \quad (8)$$

где $V_i = \int_{t_H}^{t_K} Q_i dt$ – объем i -го компонента; $K_V = \frac{K}{Q_{2-n}}$ – постоянный коэффициент для

принятых условий работы хроматографа. Коэффициент K_V по существу является коэффициентом преобразования по объему равночувствительного детектора.

Из всего приведенного выше следует, что детектор плотности газов позволяет получать информацию о массе отдельных компонентов анализируемой смеси, а равночувствительный детектор – об объеме этих компонентов в газовой фазе. Этими факторами определяется возможность создания на базе названных детекторов самокалибрующихся хроматографов, которые описаны в работах [8, 9]. Схема самокалибрующегося газового хроматографа показана на рис. 1.

Сущность самокалибровки хроматографа состоит во введении в цикл хроматографического анализа дополнительной операции измерения массы или объема пробы, что позволяет упростить расчет хроматограмм и увеличить точность анализа. В самокалибрующемся хроматографе, как и в обычном хроматографе, газ-носитель из блока подготовки 1 поступает в переменный дроссель 2, а затем последовательно в дозатор 4, испаритель жидких проб 5, хроматографическую колонку 6, тройник 7 и газовый детектор 8. Кроме того, в детектор через тройник поступает поток газ-носителя из дросселя 3 по линии 10. Выход испарителя соединен со входами

хроматографической колонки и постоянного дросселя 9, пневматическое сопротивление которого подбирается при настройке хроматографа. Выход этого дросселя соединен с линией 10. Все узлы хроматографа размещены в термостате 11.

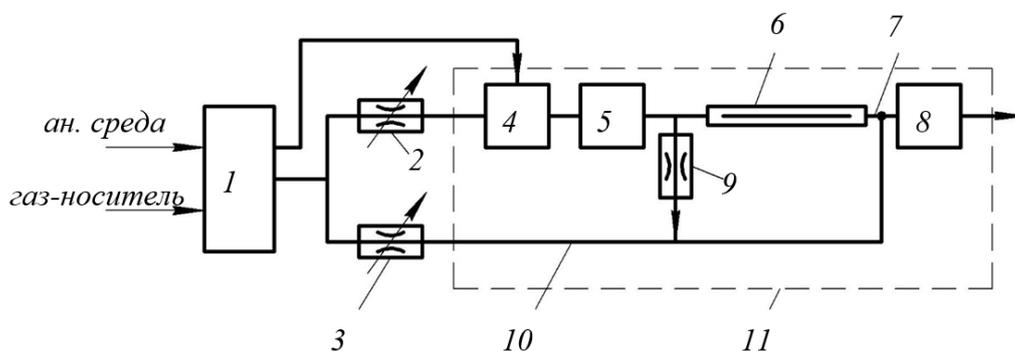


Рис. 1. Схема самокалибрующегося газового хроматографа

Самокалибрующийся хроматограф имеет два режима работы: «подготовка» и «анализ». Работа хроматографа в режиме «подготовка» происходит так же, как и работа обычного хроматографа, а в режиме «анализ» отобранные пробы газа или жидкости (проба жидкой среды предварительно испаряется) поступают через испаритель на входы хроматографической колонки и дросселя 9. Анализируемые смеси газов или паров жидкой среды частично направляются в хроматографическую колонку, а частично – в постоянный дроссель 9. Часть паров, поступившая в постоянный дроссель, проходит через него, подхватывается потоком газа-носителя, поступающим по линии, и через тройник направляется в газовый детектор, вызывая его сигнал площадью $S_{см1}$ (рис. 2а).

Другая часть анализируемой среды, поступившая на вход хроматографической колонки, в процессе движения по ней разделяется на компоненты, поступающие через тройник в газовый детектор и вызывающие его сигналы площадью S_1 , S_i , S_n , совокупность которых составляет хроматограмму. Таким образом, время анализа t_a (рис. 2а) складывается из времени t_1 измерения сигнала детектора, создаваемого частью анализируемой среды, прошедшей через постоянный дроссель, и времени регистрации хроматограммы t_2 .

При настройке хроматографа для определения отношения потоков анализируемой среды, поступающих в хроматографическую колонку и постоянный дроссель, осуществляется анализ однокомпонентного газа или жидкости, при котором формируются сигналы газового детектора, показанные на рис. 2б.

На этом рисунке сигнал с площадью S_{01} соответствует поступлению однокомпонентного вещества из постоянного дросселя в детектор, а сигнал с площадью S_{02} – поступлению этого вещества в детектор из хроматографической колонки. Отношение данных сигналов и определяет коэффициент деления потока:

$$K_d = \frac{S_{02}}{S_{01}}. \quad (9)$$

Этот коэффициент позволяет в режиме работы «анализ» определять долю анализируемой среды, поступающей в хроматографическую колонку, что, в свою очередь, дает возможность, как будет показано ниже, упростить интерпретацию

измерительной информации, получаемой при газовом хроматографическом анализе газообразных и жидких сред.

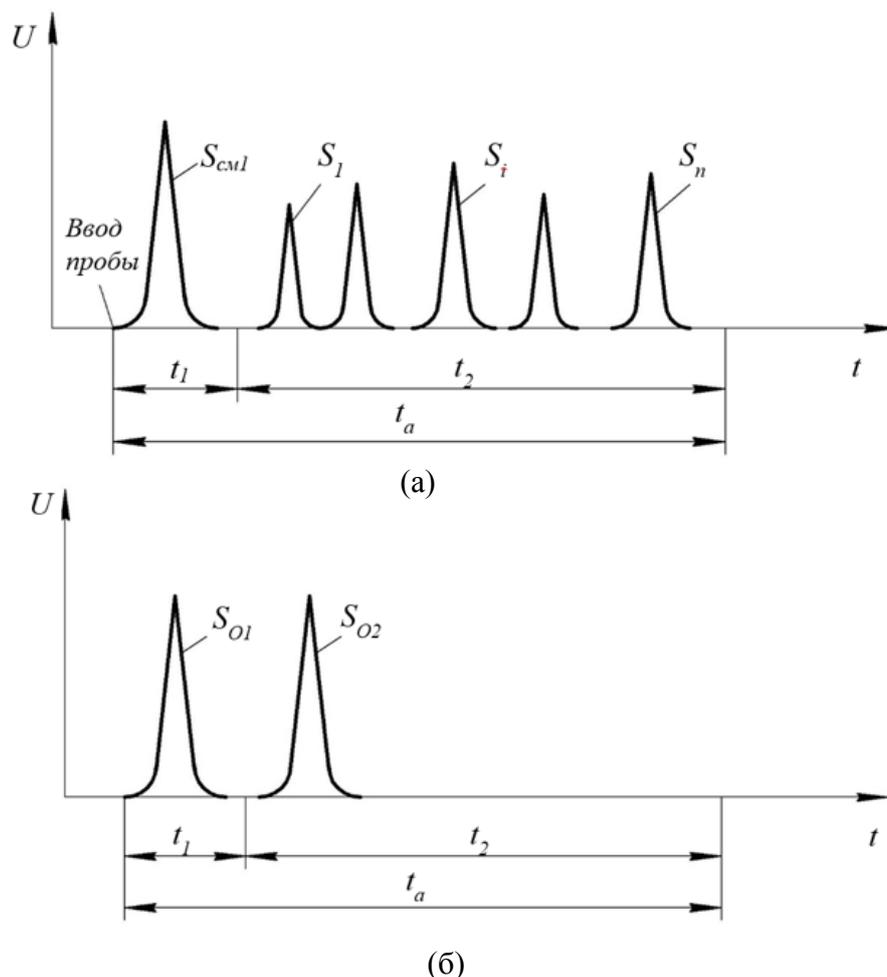


Рис. 2. Хроматограмма: анализируемой смеси (а); чистого вещества (б)

Результаты расчетов хроматограмм обычно представляются при анализе газов в виде информации о массовой C_i^M или объемной C_i^V концентрации компонентов в анализируемой среде, а при анализе жидких сред – в виде массовой C_i^M , объемной в газовой фазе $C_i^Г$ и объемной в жидкой фазе $C_i^Ж$ концентрации компонентов.

Первоначально рассмотрим интерпретацию измерительной информации, получаемой от самокалибрующегося хроматографа с детектором плотности газов. Она базируется на том факте, что площадь сигнала каждого компонента несет информацию о его массе (см. выражение (5)).

При наличии полной хроматограммы n -компонентной смеси для массовой концентрации i -го компонента, выраженной в долях массы, можно записать:

$$\frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{K_m \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n K_m \cdot m_i} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = C_i^M. \quad (10)$$

Объемная концентрация i -го компонента в газовой фазе может быть определена из выражения

$$C_i^r = \frac{S_i / \rho_i}{\sum_{i=1}^n S_i / \rho_i}, \quad (11)$$

где ρ_i – плотность i -го компонента в газовой фазе.

Объемная концентрация i -го компонента в жидкой фазе (при анализе жидких сред) определяется из выражения

$$C_i^ж = \frac{S_i / \rho_i^{ж}}{\sum_{i=1}^n S_i / \rho_i^{ж}}, \quad (12)$$

где $\rho_i^{ж}$ – плотность i -го компонента в жидкой фазе при температуре 20 °С.

Выражения (11) и (12) справедливы как при постоянном, так и при изменяющемся объеме пробы анализируемой среды. Как видно из этих уравнений, для расчетов нужно иметь информацию о площадях всех компонентов анализируемой среды.

Самокалибрующие хроматографы позволяют получать информацию при неполной хроматограмме (например, при использовании обратной или полуобратной продувки) или при наличии полной хроматограммы и необходимости получать информацию только о некоторых компонентах или одном компоненте анализируемой среды. Такая возможность обеспечивается тем, что в самокалибрующихся хроматографах с детектором плотности газов в каждом анализе осуществляется измерение массы пробы анализируемой среды. Действительно, сигнал с площадью S_{10} (рис. 2б) несет информацию о массе части пробы, прошедшей через постоянный дроссель 9 (см. рис. 1). Располагая информацией о площади $S_{см1}$ сигнала детектора и значении коэффициента деления потока по K_∂ (выражение (9)), полученном при настройке хроматографа, можно определить массу части пробы, поступившей в хроматографическую колонку:

$$S_{см2} = S_{см1} \cdot K_\partial. \quad (13)$$

Эта площадь равна сумме площадей всех компонентов анализируемой среды. Она несет информацию о сумме масс всех компонентах анализируемой среды.

Информация о площади $S_{см2}$ позволяет определять массовую концентрацию любого i -го компонента без расчета всей хроматограммы, используя выражение

$$C_i^M = \frac{S_i}{S_{см2}} = \frac{S_i}{S_{см1} \cdot K_\partial}. \quad (14)$$

Выражение (14) можно использовать для определения массовой концентрации компонентов как при постоянном, так и, что принципиально, при произвольном объеме пробы анализируемой газовой среды.

Для определения объемной концентрации компонентов с помощью самокалибрующегося хроматографа, снабженного детектором плотности газов, необходимо использовать пробу постоянного объема V_{II} и информацию о плотности газа, используемого для определения коэффициента K_{δ} . Это вытекает из следующих рассуждений. Проба анализируемой газовой смеси объемом V_{II} разделяется на две части, одна из которых, объемом V_1 , поступает в постоянный дроссель (рис. 1), а другая, объемом V_2 , – в хроматографическую колонку.

Для объема пробы можно записать

$$V_{II} = V_1 + V_2. \quad (15)$$

Обозначим отношение V_2/V_1 через a . Тогда для объема V_2 анализируемой газовой смеси имеем

$$V_2 = a \cdot V_{II}. \quad (16)$$

Поскольку площадь i -го компонента в соответствии с выражением (5) пропорциональна его массе m_i , можно записать:

$$S_i = K_m \cdot m_i = K_m \cdot \rho_i \cdot a \cdot V_i. \quad (17)$$

Коэффициент a в этом выражении учитывает факт разделения пробы на две части на выходе испарителя (рис. 1) перед поступлением ее в хроматографическую колонку.

Площадь сигнала S_{02} (рис. 2б) может быть описана выражением

$$S_{02} = K_m \cdot \rho_0 \cdot a \cdot V_{II}, \quad (18)$$

где ρ_0 – плотность газа, используемого для определения коэффициента K_{δ} в нормальных условиях.

Из выражений (17) и (18) можно получить:

$$V_i = \frac{S_i}{K_m \cdot \rho_i \cdot a}, \quad (19)$$

$$V_{II} = \frac{S_{02}}{K_m \cdot \rho_0 \cdot a}. \quad (20)$$

Отношение выражений (19) и (20) позволяет определить объемную концентрацию любого компонента анализируемой среды:

$$C_i^{\Gamma} = \frac{V_i}{V_{II}} = \frac{S_i \cdot \rho_0}{S_{02} \cdot \rho_i}. \quad (21)$$

Таким образом, самокалибрующийся хроматограф с детектором плотности газов позволяет получать информацию о массовой и объемной концентрации компонентов как при полной, так и неполной хроматограмме.

При использовании самокалибрующегося хроматографа, снабженного детектором плотности газов, для анализа жидкостей в качестве вещества для определения коэффициента K_0 необходимо использовать какой-либо чистый жидкий компонент, а для интерпретации информации, получаемой от хроматографа можно использовать зависимости, приведенные выше для анализа газовых смесей.

Для получения возможности измерения объемных концентраций в жидкой фазе необходимо использовать постоянный объем пробы $V_{II}^{\mathcal{K}}$ и располагать информацией о плотности жидкого вещества $\rho_0^{\mathcal{K}}$, используемого для определения коэффициента K_0 . Для определения коэффициента K_0 .

По аналогии с приведенными выше представлениями для анализа газов в данном случае можно записать

$$V_{II}^{\mathcal{K}} = V_1^{\mathcal{K}} + V_2^{\mathcal{K}}, \quad (22)$$

где $V_1^{\mathcal{K}}$ и $V_2^{\mathcal{K}}$ – объемы анализируемой среды, поступающие в постоянный дроссель и хроматографическую колонку.

Учитывая тот факт, что объемы анализируемой среды после испарения поступают в постоянный дроссель и хроматографическую колонку, по аналогии с выражениями (15)–(20) можно записать:

$$C_i^{\mathcal{K}} = \frac{V_i^{\mathcal{K}}}{V_{II}^{\mathcal{K}}} = \frac{S_i \cdot \rho_0^{\mathcal{K}}}{S_{02} \cdot \rho_i^{\mathcal{K}}}, \quad (23)$$

где $\rho_i^{\mathcal{K}}$ – плотность i -го компонента в жидкой среде при температуре 20 °С,

$V_i^{\mathcal{K}}$ – объем i -го компонента в жидкой фазе.

Таким образом, самокалибрующийся хроматограф с детектором плотности газов при анализе жидких сред позволяет получать информацию о массовой и объемной в жидкой фазе концентрациях компонентов как при полной, так и при неполной хроматограмме, а также, при необходимости, информацию об объемной концентрации компонентов в газовой фазе.

Интерпретация информации, получаемой с помощью самокалибрующегося хроматографа с равночувствительным детектором, базируется на том факте, что площадь сигнала этого детектора несет информацию об объеме детектируемого компонента V_i (см. выражение (8)).

При наличии полной хроматограммы n -компонентной анализируемой смеси с учетом выражения (8) для объемной концентрации i -го компонента можно записать:

$$\frac{S_i}{\sum_{i=0}^n S_i} = \frac{K_V \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n K_V \cdot V_i} = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = C_i^r. \quad (24)$$

Массовая концентрация i -го компонента может быть определена из выражения

$$C_i^M = \frac{S_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot \rho_i}. \quad (25)$$

Объемная концентрация i -го компонента в жидкой фазе может быть найдена из уравнения

$$C_i^{\mathcal{K}} = \frac{S_i \cdot \rho_i / \rho_i^{\mathcal{K}}}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot \rho_i / \rho_i^{\mathcal{K}}}. \quad (26)$$

Выражения (24)–(26) справедливы как при постоянном, так и при изменяющемся объеме пробы анализируемой среды. Для их использования необходимо располагать информацией о площадях компонентов всей анализируемой среды.

Используя вышеизложенные представления о работе самокалибрующегося хроматографа с детектором плотности газов, можно с учетом выражений (8) и (13) для объемной концентрации любого i -го компонента анализируемой n -компонентной смеси получить

$$C_i^{\Gamma} = \frac{S_i}{S_{\text{см1}} \cdot K_{\rho}}. \quad (27)$$

Это выражение можно использовать для определения объемной концентрации компонентов как при постоянном, так и, что принципиально, при произвольном, объеме пробы анализируемой среды.

Определение массовой концентрации компонентов, выраженной в массовых долях, с помощью самокалибрующегося хроматографа с равночувствительным детектором при использовании неполной хроматограммы невозможно. Однако можно определить концентрацию любого i -го компонента C_i с размерностью [ед. массы] / [ед. объема]:

$$C_i = C_i^{\Gamma} \cdot \rho_i. \quad (28)$$

Это выражение можно использовать при наличии как полной, так и неполной хроматограммы.

В табл. 1 и 2 представлена в обобщенном виде информация, которая может быть получена от самокалибрующихся хроматографов при анализе газообразных и жидких сред при различных условиях хроматографического анализа.

Таблица 1. Информация, получаемая с помощью самокалибрующегося хроматографа с детектором плотности газов

Анализируемая среда	Объем пробы	Полная хроматограмма	Неполная хроматограмма
Газ	Постоянный	C_i^M, C_i^{Γ}	C_i^M, C_i^{Γ}
	Непостоянный	C_i^M, C_i^{Γ}	C_i^M
Жидкость	Постоянный	$C_i^M, C_i^{\Gamma}, C_i^{\mathcal{K}}$	$C_i^M, C_i^{\mathcal{K}}$
	Непостоянный	$C_i^M, C_i^{\Gamma}, C_i^{\mathcal{K}}$	C_i^M

Таблица 2. Информация, получаемая с помощью самокалибрующегося хроматографа с равночувствительным детектором

Анализируемая среда	Объем пробы	Полная хроматограмма	Неполная хроматограмма
Газ	Постоянный	$C_i^G, C_i^M,$	C_i^G, C_i
	Непостоянный	C_i^G, C_i^M	C_i^G, C_i
Жидкость	Постоянный	$C_i^G, C_i^M, C_i^{Ж}$	C_i^G
	Непостоянный	$C_i^G, C_i^M, C_i^{Ж}$	C_i^G

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация самокалибрующихся хроматографов возможна при наличии детекторов плотности газов или равночувствительных детекторов, а также процедур проведения анализов и зависимостей, описанных в данной статье. Это позволяет сократить время хроматографического анализа, получать информацию только о некоторых ключевых компонентах и, главное, исключить необходимость проведения дорогостоящих и трудоемких операций абсолютной калибровки хроматографических анализаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. М.: Машиностроение, 1983. 424 с.
2. Чельцов А.В. Измерительные устройства для контроля качества нефтепродуктов. Л.: Химия, 1981. 264 с.
3. Тхоржевский В.П. Автоматический анализ газов и жидкостей на химических предприятиях. М.: Химия, 1976. 272 с.
4. Липавский В.Н., Березкин В.Г. Автоматические газовые потоковые хроматографы. М.: Химия, 1982. 224 с.
5. Автоматизация и средства контроля производственных процессов в нефтехимической и химической промышленности: справочник. Т. 4. М.: Недра, 1973. 624 с.
6. Березкин В.Г., Гавричев В.С., Коломиец Л.Н. Газовые хроматографы в нефтехимии. М.: Наука, 1975. 271 с.
7. Руководство по газовой хроматографии: в 2 ч. Ч. 2 / под ред. Э. Лейбница, Х.Г. Штруппе. М.: Мир, 1988. 510 с.
8. Количественный анализ хроматографическими методами / под ред. Э. Кэц. М.: Мир, 1990. 320 с.
9. Вигдергауз М.С., Семенченко Л.В., Езрец В.А., Богословский Ю.Н. Качественный газохроматографический анализ. М.: Наука, 1978. 244 с.
10. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Автоматические детекторы газов и жидкостей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 96 с.
11. Свидетельство РФ 24564 на полезную модель. *Акустический детектор для газовой хроматографии* / Илясов Л.В., Тарик Ю. Заявл. 10.04.2002. Оpubл. 10.08.2002, Бюл. № 22.
12. Патент РФ 33233 на полезную модель. *Акустический детектор для газовой хроматографии* / Илясов Л.В., Тарик Ю. Заявл. 29.05.2003. Оpubл. 10.10.2003, Бюл. № 28.

13. Патент РФ 2266535. *Акустический детектор газов и паров* / Илясов Л.В., Тарик Ю. Заявл. 19.07.2004. Оpubл. 20.12.2004, Бюл. № 35.
14. Патент РФ 184021. *Термохимический детектор газов* / Давыденков А.К., Илясов Л.В. Заявл. 31.08.2018. Оpubл. 11.10.2018, Бюл. № 29.
15. Патент РФ 34748 на полезную модель. *Равночувствительный детектор газов для газовой хроматографии* / Варламов А.П., Илясов Л.В. Заявл. 15.08.2003. Оpubл. 10.12.2003, Бюл. № 34.
16. Патент РФ 34749 на полезную модель. *Равночувствительный детектор газов и паров* / Варламов А.П., Илясов Л.В. Заявл. 15.08.2003. Оpubл. 10.12. 2003. Бюл. № 34.
17. Патент РФ 84123 на полезную модель *Газовый хроматограф* / Илясов Л.В., Волкова Я.В. Заявл. 17.02.2009. Оpubл. 27.06.2009, Бюл. № 18.
18. Патент РФ189684. *Газовый хроматограф* / Давыденков А.К., Илясов Л.В. Заявл. 20.03.2019. Оpubл. 30.05.2019, Бюл. № 16.

Для цитирования: Илясов Л.В. Интерпретация измерительной информации, получаемой от самокалибрующихся газовых хроматографов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 63–74.

INTERPRETATION OF MEASURABLE INFORMATION, OBTAINED FROM SELF CALIBRATING GAS CHROMATOGRAPHS

L.V. ILIASOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: lvi450714@mail.u

The work includes results of formed correlations allows to interpret measurable information, obtained from new type of chromatographs named self-calibrating. The nature of chromatograph self-calibrating process is discussed. Typically, self-calibrating process contains additional mass measuring or volume measuring operation of analyzed sample by density measuring detector or equal sensitive detector. The scheme of self-calibrating chromatograph is given. The mathematical signal models of density measuring detector or equal sensitive detector are described and possibility of their application for volume and mass detection of analyzing samples is discussed and approved for chromatographic analysis. Correlations, provide interpretation of measurable information for self-calibrating chromatograph are given using full and part of chromatogram for density measuring detector or equal sensitive detector in chromatograph structure. The conclusion about of designed correlations application for self-calibrating chromatograph is given to exclude stage of chromatographic analyzers calibration.

Keywords: self-calibrating chromatograph, gas detector, substances concentration, analysis, composition.

REFERENCES

1. Kылakov M.V. *Avtomaticheskie izmereniya i pribori dlya khimicheskikh proizvodstv* [Technological measurements and devices for chemical production]. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 424 p.

2. Chelcov A.V. Izmeritelnie ystrojstva dlya kontrolya kachestva nefteprodyctov [Measuring devices for oil product quality control]. Leningrad: Khimiya, 1981. 264 c.
3. Tkhorczhevskij V.P. Avtomaticheskij analiz gazov i zhidkostej na khimicheskikh predpriyatiyakh [Automated analysis of gases and liquids in chemical plants]. Moscow: Khimiya, 1976. 272 p.
4. Lipavskij V.N., Berezkin V.G. Avtomaticheskie gazovie potokovie khromatografi [Automatic gas flow chromatographs]. Moscow: Khimiya, 1982. 224 p.
5. Avtomatizaciya i sredstva kontrolya proizvodstvennikh processov v neftekhimicheskoi i khimicheskoi promishlennosti [Automation and means of control of production processes in the petrochemical and chemical industries]: directory. T. 4. Moscow: Nedra, 1973. 624 p.
6. Berezkin V.G., Gavrichev V.S., Kolomiyets L.N. Gazovie khromatografi v neftekhimii [Gas chromatographs in petrochemistry]. Moscow: Nayka, 1975. 271 p.
7. Rykovodstvo po gazovoj khromatografii: v 2 ch. Ch.2 [Gas chromatography guide: In 2 parts. Part 2] / pod red. E. Leybnitsa, Kh.G. Shtruppe. Moscow: Mir, 1988. 510 p.
8. Kolichestvennij analiz khromatograficheskimi metodami [Chromatographic Quantification] / pod red. E. Kets. Moscow: Mir, 1990. 320 p.
9. Vigdergayz M.S., Semenchenko L.V., Yezrets V.A., Bogoslovskiy Yu.N. Kachestvennij gazokhromatograficheskij analiz [Qualitative gas chromatographic analysis] Moscow: Nayka, 1978. 244 p.
10. Farzana N.G., Ilyasov L.V., Azim-zade A.Yu. Automatic detectors of gases and liquids [Avtomaticheskie detektori dlya gazov i zhidkostej]. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 96 p.
11. Certificate for utility model RF 24564 Akysticheskij detector dlya gazovoj hromatografii [Acoustic detector for gas chromatography] / Ilyasov L.V., Tarik Yu. Declared 10.04.2002. Published 10.08.2002, Bulletin No. 22.
12. Patent RF 33233 for utility model Akysticheskij detector dlya gazovoj hromatografii [Acoustic detector for gas chromatography] / Ilyasov L.V., Tarik Yu. Declared 29.05.2003. Published 10.10.2003, Bulletin No. 28.
13. Patent RF 2266535 Akysticheskij detector dlya gazov i parov [Acoustic detector of gases and liquids] / Ilyasov L.V., Tarik Yu. Declared 19.07.2004. Published 20.12.2004, Bulletin No. 35.
14. Patent RF 184021 Termohimicheskij detector gazov [Thermochemical gas detector] / Davidenkov A.K., Ilyasov L.V. Declared 31.08.2018. Published 11.10.2018, Bulletin No. 29.
15. Patent RF 34748 for utility model Ravnochyvstvitelnij detector gazov dlay gazovoj hromatografii [Equally sensitive gas detector for gas chromatography] / Varlamov A.P., Ilyasov L.V. Declared 15.08.2003. Published 10.12.2003, Bulletin No. 34.
16. Patent RF 34749 for utility model Ravnochyvstvitelnij detector gazov i parov [Equally sensitive gas and vapor detector] / Varlamov A.P., Ilyasov L.V. Declared 15.08.2003. Published 10.12.2003, Bulletin No. 34.
17. Patent RF 84123 for utility model Gazovij hromatograf [Gas chromatograph] / Ilyasov L.V., Volkova Ya.V. Declared 17.02.2009. Published 27.06.2009, Bulletin No. 18.
18. Patent RF 189684 Gazovij hromatograf [Gas chromatograph] / Davidenkov A.K., Ilyasov L.V. Declared 20.03.2019. Published 30.05.2019, Bulletin No. 16.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКОВ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Н. БОГАТИКОВ, д-р. техн. наук, В.В. АЛЕКСЕЕВ, канд. техн. наук,
Д.В. МАРТЫНОВ, канд. техн. наук, В.В. КУШНАРЕНКО, Ю.Г. КОЗЛОВА

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: jul_kozl@mail.ru

© Богатиков В.Н., Алексеев В.В., Мартынов Д.В.,
Кушнаренок В.В., Козлова Ю.Г., 2020

Представлен авторский алгоритм определения сроков внедрения инновационных технологий для выявления степени готовности исследуемой технологии к внедрению на каждом этапе НИОКР. Подход, реализуемый в алгоритме, включает оценку целесообразности ввода новых мощностей промышленных предприятий на основании иерархической декомпозиции задач, определение оптимальных сроков окончания предпроектных исследований химико-технологических процессов на основе марковских цепей, использование теории статистических игр для определения срока перехода от научных исследований к проектным разработкам. Применение разработанного алгоритма для внедрения инновационных технологий позволяет составить обоснованный план проведения разработок и исключить все лишние промежуточные этапы, а также сократить сроки внедрения в эксплуатацию новых производств.

Ключевые слова: инновационные технологии, разработка новой продукции, НИОКР, промышленное производство, информационные технологии, методы принятия решений, экономическая эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс научно-исследовательской и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) требует в большинстве случаев больших затрат времени. При этом исследования обычно проводят по традиционной схеме, включающей этапы лабораторных, опытных, полупромышленных и промышленных испытаний. Зачастую разрабатываемый инновационный технологический процесс морально устареваает прежде, чем результаты внедряются в промышленность. Поэтому задача сокращения сроков проведения НИОКР представляется весьма актуальной.

Необходимость прохождения ряда этапов при вводе в эксплуатацию производств возникает из-за наличия неопределенности, обусловленной неполнотой информации о процессах при переходе от лабораторных исследований к промышленному внедрению новых способов производств.

При наличии методики оценки степени риска при проектировании (методики определения степени готовности исследуемой технологии к внедрению на каждом этапе НИОКР) можно путем перспективного анализа составить план проведения разработок и, исключив все лишние промежуточные этапы, сократить сроки внедрения результатов, что, в свою очередь, ускорит темпы развития научно-технического процесса на предприятии и в отрасли в целом.

Рассматриваемая информационная технология является человеко-машинной процедурой раскрытия неопределенности наших знаний о физико-химических законах поведения предполагаемого технологического процесса [1–20], о возможных вариантах

реализации данного технологического процесса в промышленных условиях, которая, кроме того, предполагает оценку экономической эффективности применения разрабатываемого технологического процесса. Цель исследования – разработка алгоритма определения сроков внедрения инновационных технологий, позволяющего сокращать сроки внедрения в эксплуатацию новых производств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экономическая целесообразность ввода новых мощностей промышленных предприятий на основе иерархического подхода

Вопрос определения целесообразности перехода к проектированию того или иного варианта технологического процесса на основе иерархического подхода требует проведения декомпозиции задачи [2]. Можно выделить несколько этапов принятия решений. На первом оценивается прирост потребления различных продуктов на заданном интервале планирования исходя из условия получения максимума экономического эффекта. Задача решается методами линейного программирования. Возможна стохастическая постановка задачи [3].

После этого определяется оптимальное количество предприятий, а также их производительность. Система ограничений на переменные строится с учетом неопределенности параметров установок и технологических процессов. Задача решается на основе методов целочисленного и нелинейного программирования.

На третьем этапе определяется оптимальное распределение полученного из решения предыдущей задачи количества предприятий по строительным площадкам некоторой территории при ограничениях на капиталовложения, необходимые ресурсы и мощности. Для решения применяются методы целочисленного программирования с использованием булевых переменных.

Последней задачей, решаемой на данном уровне принятия решений, является оптимизация последовательности строительства отдельных производств.

При анализе результатов решения всех вышеперечисленных задач выявляются резервы времени, которые могут быть использованы для проведения дополнительных экспериментов или опытных испытаний, частично снижающих неопределенность информации научных разработок.

Решение вопроса о степени готовности впервые разработанных технологий к промышленному применению можно производить на основе математического аппарата теории выбора [3, 4, 8] и теории марковских процессов [5–7].

В первом подходе задача выбора решения формулируется как игра с «природой» в чистых стратегиях [8]. При этом под игроком понимается группа, занимающаяся исследованиями, а под природой – как внешние факторы (например, спрос на продукцию), так и неопределенность в знаниях о физико-химических особенностях технологического процесса. Стратегия игрока направлена на увеличение своего выигрыша, а интересы природы являются неантагонистическими по отношению к игроку. Стратегии игрока и природы заключаются в определении времени проведения экспериментов и возможных моментов внедрения результатов. При наложении стратегии игрока и природы получаем прямоугольную платежную матрицу, задающую нестрого детерминированную игру. Каждый элемент данной матрицы представляет собой экономическую оценку целесообразности решения о проектировании промышленного варианта и рассчитывается по формуле

$$Q_{ij} = \left\{ \sum c(\bar{u}, \bar{y}, \bar{w}_i) * d(\bar{u}, \bar{y}, \bar{w}_i) e^{-\rho} + s_{ij}(Q_{ij}, t) \right\},$$

где \bar{u} – вектор оптимизируемых параметров; \bar{y} – вектор исходных данных; c – годовая себестоимость; s_{ij} – штраф за недопоставку; ρ – показатель дисконтирования.

Используя методы линейного программирования, определяем вероятности выбора игроком и природой каждой стратегии P_i и L_j и по критерию $K = \max_{ij} Q_{ij} P_i L_j$ выбираем оптимальные стратегии сторон. Анализируя полученные стратегии, делаем вывод о времени целесообразности начала внедрения в производство и о длительности проведения эксперимента.

При использовании второго метода [9–11], основанного на идеях стохастического динамического программирования на марковских цепях, процесс выбора решения о реализации описывается управляемой неоднородной марковской цепью с доходами и дискретным временем. Рассматривая задачу на конечном интервале времени, сводим ее к задаче динамического программирования, и стратегия ищется по рекуррентному соотношению Беллмана.

Оптимальной является стратегия, обеспечивающая максимум дохода в состоянии эксперимента в начале планируемого периода. При анализе оптимальной стратегии выделяются необходимые и достаточные этапы проведения НИОКР и момент, благоприятный для перехода к промышленному использованию результатов, которым является момент перехода системы из состояния 1 какого-либо шага в состояние 2 последующего.

Таким образом, задача определения целесообразности перехода от научных исследований к проектированию того или иного варианта технологического процесса является сложной, что обусловлено неопределенностью технологических показателей, аппаратного оформления и экономических показателей, сложностью формирования функции цели.

Иерархический подход позволяет произвести декомпозицию общей задачи, учитывает различные аспекты планирования, модернизации производства, повышает надежность решения, учитывает неопределенность проектирования. Однако данный подход, повышая гибкость планирования, приводит к довольно громоздкой схеме решения, заставляет рассматривать и другие постановки задачи на основе методов теории игр, цепей Маркова. При этом упрощаются алгоритмы решения, но ухудшаются возможности планирования.

Оптимальные сроки окончания предпроектных исследований химико-технологических процессов на основе марковских цепей

Процесс научно-исследовательской и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) требует в большинстве случаев больших затрат времени. Значительные затраты времени на проведение НИОКР обусловлены, в частности, большим числом уровней, на которых проводятся испытания новых процессов, что мотивируется в основном необходимостью всесторонней отработки технологии и аппаратуры. Планирование НИОКР обычно проводится без учета возможности промышленного использования результатов, полученных на промежуточных стадиях разработок.

Предлагаемая стохастическая модель проведения исследований позволяет оптимизировать процесс НИОКР на основе анализа перспективы использования новой технологии с учетом вероятностного характера возможности применения получаемой информации.

Процесс научных разработок можно с некоторыми допущениями считать марковским процессом принятия решений [12, 13]. Для описания данного процесса предлагается марковская цепь с двумя состояниями. Состояние, в котором оказывается процесс, соответствует принятию решения либо о продолжении исследова-

ний (состояние 1), либо о начале проектирования промышленной технологической схемы (состояние 2).

Процесс рассматривается на конечном интервале планирования, определяемом сроками проведения разработок. Поэтому, разбивая весь интервал на ряд отрезков, получим N стадий, через которые необходимо провести процесс от формулировки задачи исследований до ее завершения – промышленного внедрения.

Рассмотрим возможное поведение нашей системы при переходе с одной стадии на другую. Из состояния 1 система может с вероятностью P_{12} перейти в состояние 2 либо с вероятностью P_{11} остаться в состоянии 1. Причем каждому переходу можно поставить в соответствие оценку перехода Z_{12} и Z_{11} . Считаем, что из состояния 2 система выйти не может, чему соответствуют оценка Z_{22} и вероятность $P_{22} = 1$, а также нулевые вероятность P_{21} и оценка Z_{21} .

Поскольку процесс НИОКР управляемый, характеристики переходов могут изменяться, а стохастическая цепь является неоднородной и управляемой. Если на i -й стадии можно применить K управлений $U_k(i)$, ($i = 0, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$), то при переходе на $i + 1$ -ю имеется K альтернатив оказаться в любом из состояний.

Таким образом, модель проведения процесса НИОКР представляет собой неоднородную управляемую марковскую цепь, характеризующуюся матрицей вероятностей переходов $\|P_{nj}^k(i)\|$ и матрицей одношаговых оценок $\|Z_{nj}^k(i)\|$, где k – номер альтернативы; n, j – номера состояний; i – номер стадий.

Пронумеруем стадии процесса в порядке, обратном направлению его движения, как это принято в динамическом программировании [12]. Выбор оптимального управления на любой стадии заключается в выборе наилучшей альтернативы, выбираемой в состоянии 1 шага i для перехода к $i - 1$ -му шагу. Управление процессом определено, если для всех N задано $U_n(i)$, ($i = 0, \dots, N$). Оптимальным является такое множество управлений $U_n(i)$, которое обеспечивает максимальное (минимальное) значение полной ожидаемой оценки для всех N .

С учетом непосредственно ожидаемых оценок переходов для каждой альтернативы можно записать рекуррентное соотношение для расчета максимальной полной оценки за i оставшихся до конца планируемого периода шагов [13]:

$$V(i) = \max_k \sum_{j=1}^J P_{nj}^k(i) [Z_{nj}^k(i) + V(i-1)], \quad (1)$$

где $i = 0, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$; $n = 1, \dots, M$; $j = 1, \dots, J$;

$$V(i) = \max_k \sum_{j=1}^2 P_{1j}^k(i) [Z_{1j}^k(i) + V(i-1)]. \quad (2)$$

Для нашего процесса приведенное соотношение применимо лишь к состоянию 1, то есть можно его упростить:

$$M \{ \bar{y}_i^k \} = M_{\Delta_i^k \in D_i^k} \{ \bar{t}_i^k(\bar{x}_i^k, \bar{u}_i^k, \bar{s}_i^k) \},$$

или, более конкретно:

$$V(i) = \max_k \sum_{j=1}^2 P_{1j}^k(i) [Z_{1j}^k(i) + R(i-1)], \quad (3)$$

где $R_1(i-1) = V(i-1)$, а $R_2(i-1)$ рассчитывается как ожидаемая оценка с учетом функционирования промышленного варианта разрабатываемого технологического процесса, спроектированного и внедренного на основании решения, принятого на $i-1$ -м шаге, за время, оставшееся до конца расчетного периода.

Очевидно, что по мере завершения процесса исследований возрастает вероятность принятия решения о проектировании, уменьшается необходимость в дальнейших экспериментах, улучшаются возможные характеристики проекта. Поэтому для того, чтобы учесть выигрыш от более раннего внедрения, в рекуррентные соотношения целесообразно ввести коэффициенты переоценки β ($0 < \beta < 1$) [14].

Тогда

$$R(i-1) = \begin{cases} \beta V(i-1), & j=1 \\ f(\beta, \bar{\mathcal{E}}_1, t), & j=2 \end{cases} \quad (4)$$

где \mathcal{E}_i – технико-экономические показатели проекта; t_i – время, оставшееся до конца периода.

Задав граничные значения $V(0)$ и $Z_{22}(0)$, можно продолжить процедуру определения оптимальных управлений до любой желаемой стадии.

Анализ оптимального плана с помощью метода динамического программирования необходим для прогнозирования той стадии предпроектных исследований, на которой имеющаяся информация о технологическом процессе позволит начать его внедрение в промышленность.

Расчеты по предлагаемому алгоритму после завершения каждой очередной стадии разработок дают возможность скорректировать задачи на очередной этап и точнее определить момент, когда можно принимать решение о проектировании промышленной технологической схемы.

Метод теории статистических игр для определения срока перехода от научных исследований к проектным разработкам

Применение методологии теории игр предполагает анализ сложных процессов, с точки зрения имеющихся в них противоречий, и, как результат, выделение влияющих на процесс конкурирующих сторон, с дальнейшим рассмотрением возможных вариантов решений, принимаемых на различных этапах процесса.

При решении вопроса о сроках перехода от научных исследований к проектным разработкам можно выделить следующие конкурирующие стороны.

Одна из сторон стремится продолжить исследования и тем самым снизить неопределенность исходных данных, уменьшить риск, который при промышленном испытании и построении нового технологического процесса приводит к увеличению капитальных вложений, непрерывных расходов и позволяет получить продукт более высокого качества.

Другая сторона учитывает внешние объективные причины развития экономики (расширенное воспроизводство и связанный с этим рост спроса на продукцию и др.), стремится раньше внедрить новую более современную, хотя и не отработанную технологию, мотивируя это тем, что прибыль от реализации готового продукта превысит издержки производства, включая потери, которые будут возникать в связи с высокой степенью риска и, возможно, более низким качеством продукции.

При принятии окончательного решения о моменте перехода от научных исследований к проектным разработкам и строительству промышленного варианта технологического процесса, суть которого состоит в выборе альтернативы: либо

строить раньше на основе имеющейся информации, либо продолжить исследования и уменьшить существующую неопределенность технологических параметров процесса, необходимо учитывать такой фактор, как природа, которая характеризуется неопределенностью спроса, капитальных затрат, непрерывных расходов, предполагаемой мощности рассматриваемого технологического процесса, продолжительности строительства. (Под природой обычно понимается совокупность внешних обстоятельств, в которых приходится принимать решение.)

Из вышесказанного ясно, что взаимодействие первой и второй конкурирующих позиций в конечном счете приводит к общей цели – получению наибольшего дохода и, вообще говоря, характеризует две разные стороны одной тенденции, то есть существующее противоречие между ними не является антагонистическим. В то же время природа находится в противоборстве с данной тенденцией, однако действия природы не являются строго направленными на получение максимальной выгоды.

Таким образом, решение вопроса об определении сроков перехода от научных исследований к проектным разработкам и строительству промышленного варианта нового технологического процесса можно получить, используя метод статистических игр.

При этом под первым игроком или статистиком можно понимать научно-исследовательскую группу, отдел или институт, то есть лиц, которые непосредственно занимаются изучением новой технологии, располагают соответствующими ресурсами и заинтересованы во внедрении своих научных исследований в производство.

Чистая стратегия статистика a_{ij} ($i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, K$) заключается в необходимости в течение $(i - 1)$ -го года проводить эксперименты по исследованию технологического процесса, а затем на основе полученной информации приступить к проектированию промышленного объекта, который необходимо внедрить в j -й год рассматриваемого периода.

Стратегия природы заключается в задании параметрам, характеризующимся неопределенностью (таким как спрос на продукцию, производительность технологического процесса, капитальные затраты, непрерывные расходы, продолжительность строительства), различных значений из диапазона неопределенности.

Из сказанного следует, что число возможных состояний природы может быть бесконечно большим. Поэтому для сокращения размерности задачи и упрощения алгоритма решения при получении платежной матрицы используется метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Параметры, обладающие неопределенностью, не выделяются в отдельные независимые состояния, а задаются с помощью генератора случайных чисел в соответствии с определенными предположениями, которые будут перечислены ниже, и для заданного набора вычисляется элемент платежной матрицы.

Таким образом, элемент платежной матрицы в общем виде определяется как математическое ожидание прибыли с учетом штрафа за недопоставку продукта и капитальных затрат (затраты на хранение избыточного продукта не учитывались):

$$q_{ij} = M_{\omega_i} \left\{ \sum_t \left[c_{ij}(\bar{u}, \bar{y}, \bar{\omega}_i) * d_{ij}(\bar{u}, \bar{y}, \bar{\omega}_i) e^{-pt} - S_{ij}(\omega_i, t) \right] \right\},$$

где u – вектор оптимизирующих параметров, которые включает управляющие воздействия, конструктивные и технологические переменные, выделенные на данном этапе исследования для соответствующих i и j , при реализации ω_i неопределенных параметров условий; y – вектор исходных данных; $c_{ij}(\bar{u}, \bar{y}, \bar{\omega}_i)$ – годовая прибыль от

реализации единицы продукции; $d_{ij}(u, y, \omega_t)$ – годовой объем реализованной продукции, зависящей от мощности производства и спроса на продукцию; t – период функционирования технологического процесса с момента пуска; ρ – показатель дисконтирования.

Модель, которая применяется для определения элементов платежной матрицы, использует следующие допущения:

- спрос на производимую продукцию имеет тенденцию к росту;
- начальный уровень капитальных и непрерывных затрат имеет тенденцию к снижению, в зависимости от i и j ;
- затраты на научные исследования стационарно растут;
- функция штрафа зависит от соотношения спроса и потребления;
- затраты на хранение избыточного продукта не учитываются;
- строительный лаг составляет один год, возможен случайный выбор продолжительности строительства.

Кроме того, в программе предусмотрена возможность недетерминированного роста мощности технологического процесса в динамике за весь период испытаний. При вычислении случайных изменений различных оцениваемых параметров используется генератор случайных чисел с равномерным законом распределения.

Блок-схема алгоритма выбора лучшего решения на основе метода статистических игр

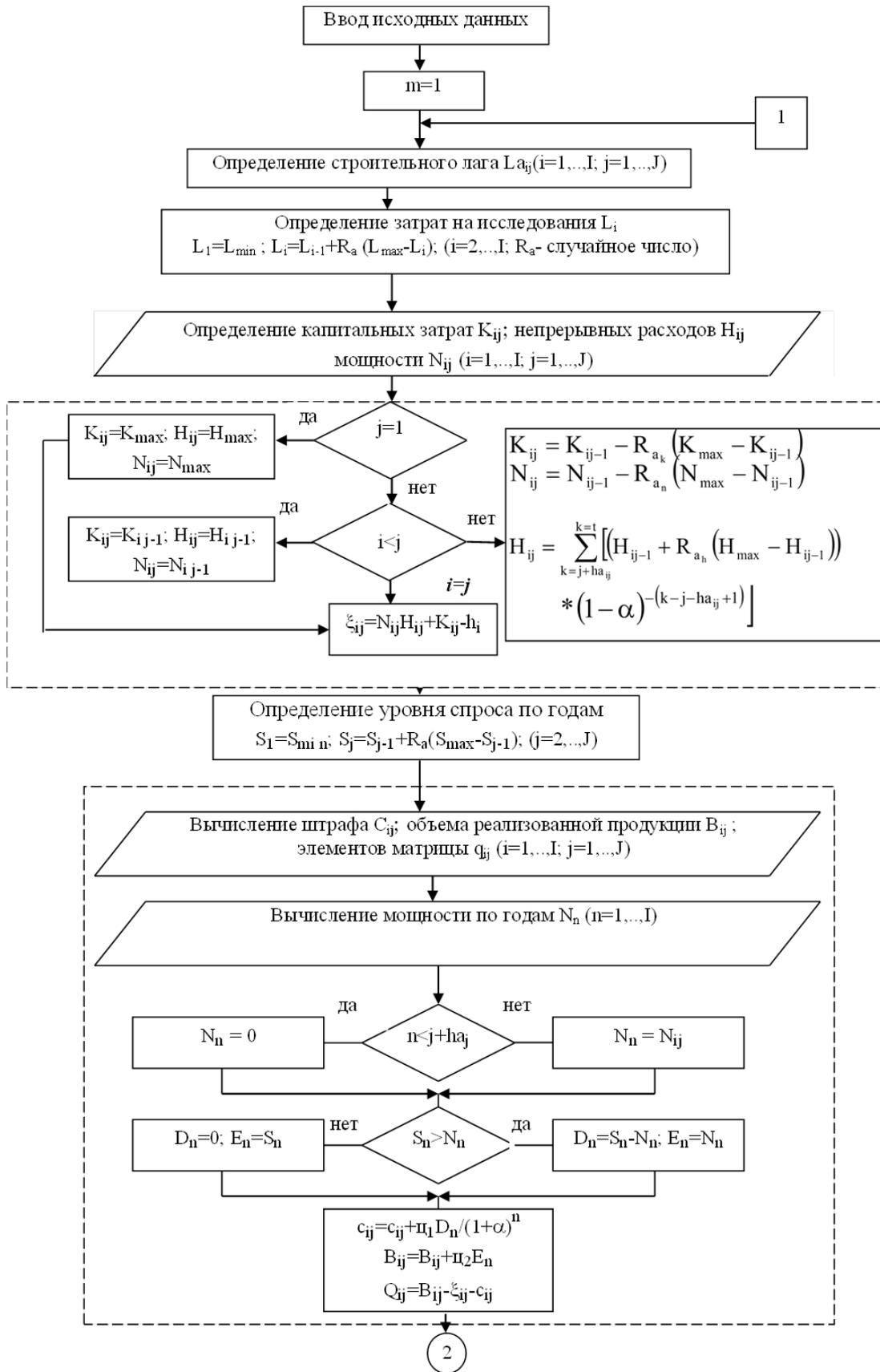
Рассмотрим кратко содержание алгоритма выбора оптимального решения, блок-схема которого представлена на рисунке. Во вводе исходных данных задаются диапазоны неопределенности для основных характеристик рассматриваемого технологического процесса и количество циклов вычисления элементов платежной матрицы для определения оценки математического ожидания прибыли по формуле (1). Далее вычисляются затраты на капитальное строительство, научные исследования, а также непрерывные расходы, исходя из мощности предполагаемого технологического процесса.

При этом учитывается следующее:

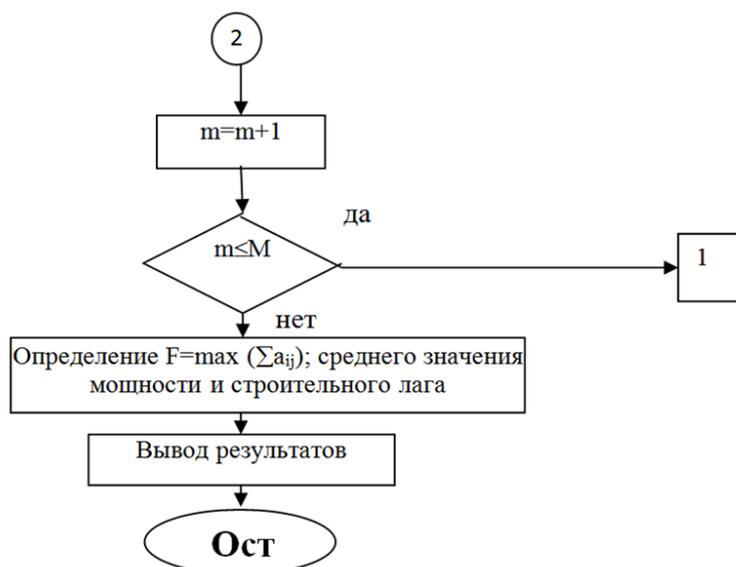
- а) если $i < j$, то исследования проводятся в течение $i - 1$ -го года, а на j -й год начинается строительство (то есть на $j - i$ лет строительство откладывается);
- б) если $i = j$, то научные исследования проводятся в течение $i - 1$ -го года и строительство начинается на j -й год;
- в) если $i > j$, то исследования продолжаются $j - 1$ год, средства на исследования выделяются на i лет и строительство начинается на j -й год.

После вычисления затрат с помощью генератора случайных чисел задается спрос по годам планируемого диапазона лет, на основе чего рассчитывается штраф и прибыль. Затем вычисляются элементы платежной матрицы. Для определения математического ожидания циклы вычисления q_{ij} многократно повторяются (в соответствии с количеством циклов, заданных во вводе данных). Окончательное решение о сроке перехода от научных исследований к проектированию промышленного варианта осуществляется по следующему критерию, целесообразность выбора которого была установлена на основе анализа результатов предварительных вычислений:

$$F = \max_j \left(\sum_i q_{ij} \right).$$



Блок-схема алгоритма выбора лучшего решения на основе метода статистических игр



Продолжение рисунка

При этом мощность технологического процесса для случая, когда мощность задана диапазоном неопределенности, оценивается по формуле

$$N = \frac{\sum_i N_{ij}}{M}.$$

По изложенному выше алгоритму проводились расчеты для определения времени перехода от научных исследований к проектированию и строительству технологического процесса синтеза высших спиртов. Диапазон неопределенности составлял 10÷15 млн руб. для капитальных затрат и 3,5÷4,5 млн руб. для непрерывных расходов, максимальный уровень спроса изменялся от 100 до 500 тыс. тонн в год, мощность технологического процесса варьировалась в пределах от 30 до 70 тыс. тонн в год, горизонт планирования равнялся 10 годам. Результаты расчетов показали, что для данных условий оптимальная продолжительность исследований не должна превышать 3÷5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание промышленных технологий получения новых продуктов является следствием повышения качества проводимых научных исследований, в основе которых применение мощных средств вычислительной техники и новых направлений развития математических методов.

Использование новых методов и алгоритмов, построенных на моделях интеллектуального принятия решений, позволяет создавать хорошо развитый инструментарий проведения экспериментальных исследований для инженеров различных специализаций.

Предлагаемый в статье алгоритм определения сроков внедрения инновационных технологий, на основе определения степени готовности исследуемой технологии к внедрению на каждом этапе НИОКР включает в себя как возможность использования иерархического подхода, который показывает хорошие результаты в планировании, при том, что процесс получения решения очень трудоемок, так и альтернативные

методы теории игр и цепей Маркова при которых упрощаются алгоритмы решения, но снижаются возможности планирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Жаворонков Н.М. Системный анализ процессов химической технологии: основы стратегии. М.: Юрайт, 2018. 499 с.
2. Иоффе В.М., Кириченко Н.Г., Корзюк Г.П. Задача оптимизации ввода мощностей при перспективном планировании и метод ее решения // *Экономика и математические методы*. 1978. № 6. С. 78–91.
3. Беленький В.З. Оптимальное развитие производства при стационарно растущем спросе // *Экономика и математические методы*. 1979. № 4. С. 718–730.
4. Николаев К.Г., Плуженков Л.Н. Применение метода «ветвей и границ» к задаче размещения предприятий промышленного узла. Инженерно-математические методы в физике и кибернетике. М.: Атомиздат, 1973. Вып. 2. 485 с.
5. Проблемы оптимального функционирования социалистической экономики / Под ред. акад. Н.П. Федоренко [и др.]. М.: Наука, 1972. 566 с.
6. Кругликов А.Г. Моделирование распространения научно-технических новшеств // *Экономика и математические методы*. 1976. № 3. С. 110–121.
7. Кардаш В.А., Рапопорт Э.О. Модель соотношения темпов экстенсивного и интенсивного развития сельскохозяйственного производства при стохастических колебаниях урожайности // *Экономика и математические методы*. 1979. № 3. С. 5–18.
8. Алиев Б.Х. Планирование объемов производства и производственных мощностей промышленного предприятия в изменяющихся условиях регионального рынка // *Экономика науки*. 2016. Т. 2. № 1. С. 3–7.
9. Хаматханова А.М. Готовность к промышленному внедрению как индикатор выбора приоритетных технологических направлений // *Экономика науки*. 2016. Т. 2. № 1. С. 23–34.
10. Елизаров Д.Э. Алгоритмизация решения задачи о размещении на основе модификации метода ветвей и границ. // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2016. Т. 12. № 5. С. 42–48.
11. Ядрошников О.В. Совершенствование организации производства по техническому обслуживанию и ремонту парков транспортных и технологических машин: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2013. 148 с.
12. Бакланов А.О. Управление инновационной деятельностью предприятия на базе целевых программ // *Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов*. 2007. № 1 (49). С. 17–33.
13. Жилетежев Н.С. Прогнозирование стохастических факторов сельскохозяйственного производства в системе принятия управленческих решений (На примере Кабардино-Балкарской республики): дис. ... канд. экон. наук. Нальчик, 2000. 147 с.
14. Моргенштерн О., фон Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение. М.: Книга по Требованию, 2012. 708 с.
15. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. М.: URSS, 2010. 400 с.
16. Воробьева А.В., Остроух А.В., Гимадетдинов М.К., Вэй П.А., Мьо Л.А. Разработка математических моделей и методов оптимального управления автоматизированным дробильно-сортировочным производством // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2015. № 1. С. 9–16.
17. Белов М.В., Новиков Д.А. Управление жизненными циклами организационно-технических систем. М.: Ленанд, 2020. 384 с.

18. Павлов О.В., Рясная Т.Н. Динамическое планирование объемов производства в период освоения новой продукции // *Экономические науки*. 2013. № 101. С. 162–166.

19. Ершова Н.М. Прикладное динамическое программирование: монография. Днепропетровск: ПГАСА, 2013. 353 с.

20. Гераськин М.И., Симагина С.Г. Управление инновациями: математические методы. М.: Финансы и статистика, 2018. 256 с.

Для цитирования: Богати́ков В.Н., Алексе́ев В.В., Марты́нов Д.В., Кушна́ренко В.В., Козлова Ю.Г. Алгоритмическое представление задачи определения сроков внедрения инновационных технологий // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 75–86.

ALGORITHMIC REPRESENTATION OF THE PROBLEM OF DETERMINING THE IMPLEMENTATION TIMELINE FOR INNOVATIVE TECHNOLOGY

V.N. BOGATIKOV, Dr. Sc., V.V. ALEKSEEV, Cand. Sc.,
D.V. MARTYNOV, Cand. Sc., V.V. KUSHNARENKO, Yu.G. KOZLOVA

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: jul_kozl@mail.ru

The article presents a uniquely designed algorithm of determining the implementation timeline for innovative technology as identification of the degree of implementation readiness of the researched technology at each stage of research and development process. The approach applied in the algorithm includes: feasibility assessment of introducing new capacities of industrial enterprises, the assessment being performed on the basis of hierarchical decomposition of tasks; determining of optimal completion timeline of pre-project research of chemical technology processes on the basis of Markov chains; and using the theory of statistical games for determining the timeline of transition from scientific research to project design and development. Application of the developed algorithm for implementation of innovative technology makes for creating a systemically justified design and development schedule and for ruling out all redundant interim stages, also reducing commissioning time for the new industrial facilities.

Keywords: innovative technology, design and development of new products, research and development (R&D), industrial production, information technology, methods of decision-making, economic efficiency.

REFERENCES

1. Kafarov V.V., Dorohov I.N., Zhavoronkov N.M. *Sistemnyy analiz protsessov khimicheskoy tekhnologii: osnovy strategii* [System analysis of chemical technology processes: the basics of strategy]. Moscow: Yurajt, 2018. 499 p.

2. Ioffe V.M., Kirichenko N.G., Korzyuk G.P. The problem of optimization of feeding-in capacity in the long-term planning and the method of its solution // *Ekonomika i matematicheskiye metody*. 1978. No 6, pp. 78–91. (In Russian).

3. Belen'kij V.Z. Optimal production development with steadily growing demand // *Ekonomika i matematicheskiye metody*. 1979. No. 4, pp. 718–730. (In Russian).

4. Nikolaev K.G., Pluzhkenkov L.N. *Primenenie metoda "vetvej i granic" k zadache razmeshcheniya predpriyatij promyshlennogo uzla. Inzhenerno-matematicheskie metody v fizike i kibernetike* [Application of the "branches and borders" method to the problem of

placement of industrial node enterprises. Engineering and mathematical methods in physics and Cybernetics]. Moscow: Atomizdat, 1973. Vyp. 2. 485 p.

5. Problemy optimal'nogo funkcionirovaniya socialisticheskoy ekonomiki [Problems of optimal functioning of the socialist economy] / pod red. akad. N.P. Fedorenko [i dr.]. Moscow: Nauka, 1972. 566 p.

6. Kruglikov A.G. Modeling the spread of scientific and technical innovations novshestv // *Ekonomika i matematicheskiye metody*. 1976. No. 3, pp. 110–121. (In Russian).

7. Kardash V.A., Rapoport E.O. Model of the ratio of the rates of extensive and intensive development of agricultural production with stochastic fluctuations in yield // *Ekonomika i matematicheskiye metody*. 1979. No. 3, pp. 5–18. (In Russian).

8. Aliev B.H. Planning of production volumes and production capacities of an industrial enterprise in the changing conditions of the regional market // *Ekonomika nauki*. 2016. V. 2, No. 1, pp. 23–34. (In Russian).

9. Hamathanova A.M. Readiness for industrial implementation as an indicator of the choice of priority technological directions // *Ekonomika nauki*. 2016, V. 2, No. 1, pp. 23–34. (In Russian).

10. Elizarov D.E. Algorithmization of the solution of the problem of placement on the basis of modification of the method of branches and borders. // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016. V. 12, No. 5, pp. 42–48. (In Russian).

11. Yadroshnikov O.V. Improvement of the organization of production for maintenance and repair of parks of transport and technological machines. Cand. Diss. (Engineering). Novosibirsk, 2013. 148 p.

12. Baklanov A.O. Management of innovative activity of the enterprise on the basis of target programs // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo universiteta ekonomiki i finansov*. 2007. № 1 (49), pp. 17–33. (In Russian).

13. Zhiletezhnev N.S. Forecasting stochastic factors of agricultural production in the system of management decision-making (on the example of the Kabardino-Balkar Republic). Cand. Diss. (Economics). Nal'chik, 2000. 147 p.

14. Morgenshtern O., fon Neyman Dzh. Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie [Theory of economic behavior]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 708 p.

15. Yudin D.B. Matematicheskie metody upravleniya v usloviyah nepolnoj informacii [Mathematical methods of control in conditions of incomplete information]. Moscow: URSS, 2010. 400 p.

16. Vorob'eva A.V., Ostrouh A.V., Gimadetdinov M.K., Vej P.A., M'o L.A. Development of mathematical models and methods for optimal control of automated crushing and screening production // *Promyshlennyye ASU i kontroly*. 2015. No. 1. pp. 9–16. (In Russian).

17. Belov M.V., Novikov D.A. Upravlenie zhiznennymi tsiklami organizacionno-tekhnicheskikh system [Management of life cycles of organizational and technical systems] Moscow: Lenand, 2020. 384 p.

18. Pavlov O.V., Rysnaya T.N. Dynamic planning of production volumes during the development of new products // *Ekonomicheskie nauki*. 2013. No. 101, pp. 162–166. (In Russian).

19. Ershova N.M. Prikladnoe dinamicheskoe programmirovaniye: monografiya [Applied dynamic programming: monograph]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2013. 353 p.

20. Geras'kin M.I., Simagina S.G. Upravlenie innovatsiyami: matematicheskie metody. [Innovation management: mathematical methods]. Moscow: Finansy i statistika, 2018. 256 p.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ТАМОЖЕННО-ТАРИФНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Я.А. НЕСТЕРОВ, Р.А. ПЕТУХОВА, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 191023,
Санкт-Петербург, ул. Садовая, д. 21, e-mail: petuhova.r@uneccon.ru

© Нестеров Я.А., Петухова Р.А., 2020

Важнейшими задачами ближайшего будущего для эффективного функционирования Евразийского экономического союза (ЕАЭС) является необходимость выстраивания единой стратегии для всех стран-участниц и согласование политики по общим вопросам на основе принципов взаимной выгоды и общего блага. Государствами-членами Таможенного союза ЕАЭС введены единые таможенные тарифы и применяются прочие меры регулирования при торговле с третьими странами, поэтому сложный процесс таможенного администрирования внешнеэкономической деятельности ТС ЕАЭС требует внедрения новых механизмов и инноваций. Технологические изменения необходимы как в сфере государственного регулирования внешней торговли, так и в части функционирования глобальных цепей поставок. В данной статье рассматривается возможность применения технологии блокчейн для совершенствования таможенно-тарифного регулирования ТС ЕАЭС посредством анализа опыта других стран в области обмена данными.

Ключевые слова: блокчейн, информационные технологии, информационный массив, таможенно-тарифное регулирование, таможенное администрирование, Таможенный союз, цифровая экономика.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы объем и характер внешнеэкономической деятельности Российской Федерации претерпели достаточно существенные изменения. С одной стороны, значительно увеличилось количество участников внешнеэкономической деятельности в связи с вступлением России во Всемирную торговую организацию в 2012 году, с другой – введение санкций со стороны США, Евросоюза и ряда других стран в 2014 году в связи с событиями на Украине и принятые ответные меры со стороны Российской Федерации.

В связи с беспокойной внешнеполитической обстановкой отношения с ближайшими соседями Российской Федерации – странами бывшего СНГ – приобрели первостепенное значение. Евразийский экономический союз, ставший в 2015 году преемником Евразийского экономического сообщества, создавался как инструмент кооперации, необходимый для повышения конкурентоспособности национальных экономик. Его целью была всесторонняя модернизация и создание благоприятных условий для стабильного развития всех государств-участников.

С 1 января 2018 года вступил в силу Таможенный кодекс Евразийского экономического союза [1]. Нововведения затронули порядок временного ввоза иностранными физическими лицами транспортных средств для личного пользования. Данная необходимость связана с тем, что на сегодняшний день деятельность таможенных органов ЕАЭС примерно на 20 % состоит из обслуживания физических лиц по их запросам.

Процесс перемещения товаров и транспортных средств через таможенную границу сопровождаются системой взимания таможенных и иных платежей, таможенным декларированием и таможенным контролем, поэтому значимость отлаженного функционирования всех таможенных служб невозможно переоценить. Федеральная таможенная служба (ФТС) обеспечивает как экономическую, так и государственную безопасность государства.

Если обратиться к таможенной статистике, то контроль на таможенных границах ЕАЭС проходят более 87 миллионов физических и 30 миллионов юридических лиц (с небольшими ежегодными колебаниями в пределах 1–1,5 %) [2].

Однако первые месяцы работы таможенных служб после введения Таможенного кодекса показали, что необходимо ввести ограничения на временный ввоз автомобилей в связи с появлением «серых» схем по ввозу и нелегальной продаже ввезенных транспортных средств. Согласно статистике регистрации новых автомобилей ГИБДД, которая имеется в распоряжении «Автостата», в 2018 году в России было поставлено на учет примерно 1 200 «серых» иномарок [3]. В табл. 1 представлены статистические данные о допущенных в этой связи нарушениях таможенного законодательства [4].

Таблица 1. Статистические данные о нарушениях таможенного законодательства, касающихся временно ввезенных автотранспортных средств за 2018 год

Показатель	Рассмотрено дел	Выявлено нарушений	Оправдано	Наложено штрафов	Конфисковано
Неосуществление физическими лицами обратного ввоза на таможенную территорию временно вывезенных товаров, подлежащих в соответствии с законодательством обязательному обратному ввозу (п. 16.18 ч. 1 КоАП)	242	206	5	102	113
Незаконные операции с временно ввезенными транспортными средствами (п. 16.24 ч. 1, 2 КоАП)	107	89	12	45	47

Таким образом, вступил в силу Федеральный закон от 3 августа 2018 г. № 289-ФЗ «О таможенном регулировании в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который ужесточает правила временного ввоза автотранспорта на территорию ЕАЭС. Однако данных мер на сегодняшний день недостаточно, чтобы полностью заблокировать нелегальные схемы ввоза и продажи автомобилей.

Проблема заключается в том, что отмена льготных условий ввоза автотранспортных средств для физических лиц будет тормозить процессы интеграции и стабильного развития стран-участников ЕАЭС, однако нельзя забывать и об интересах Российской Федерации и ущербе, наносимой ее экономике. Выявление и блокирование каналов «серого» импорта – одна из актуальных задач, стоящих перед правоохранительными органами России.

Большое значение для решения такого рода проблем и задач в современной экономике имеет блокчейн-технология (от англ. block chain), которая является фундаментом биткоина и многих других действующих децентрализованных систем обмена и платформ для создания программ. Цель настоящей работы – рассмотреть возможность применения данной технологии для совершенствования таможенно-тарифного регулирования ТС ЕАЭС посредством анализа опыта других стран в области обмена данными.

ОСОБЕННОСТИ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ

На Всемирном экономическом форуме 2016 года были спрогнозированы перспективы развития информационных технологий. Специалисты считают, что окончательная интеграция государственного сектора и блокчейна произойдет к 2023 году, а наивысший расцвет биткоина и блокчейн могут достигнуть к 2027 году [5].

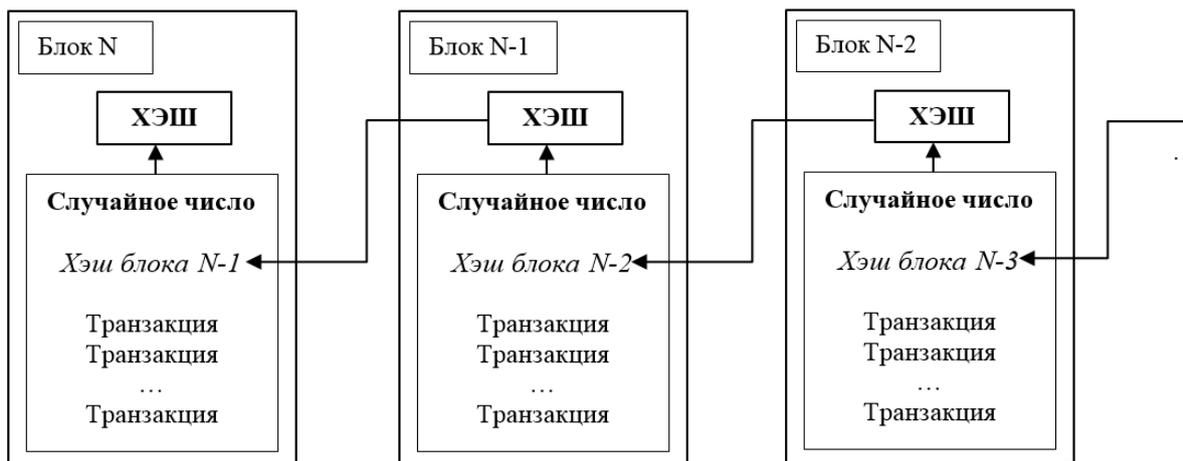
Блокчейн – это технология распределенного децентрализованного реестра данных, которая представляет собой цифровой реестр проводимых операций – транзакций, сделок, контрактов, проверенных и утвержденных участниками защищенной с помощью криптографических методов компьютерной системы [6]. Под транзакциями понимается некая условная последовательность изменений, которая вносится в базу данных со стороны пользователя.

В основе технологии блокчейна лежат математические алгоритмы, которые поддерживают запись цифровой информации в объединенные блоки в хронологическом порядке. В качестве аппаратной платформы для реализации блокчейна необходима серверная база и объединенные в одну сеть компьютеры.

В результате работы алгоритмов мы получим одинаковый результат (хэш), который служит однозначным подтверждением информации по каждому проходящему товару и / или автотранспортному средству, поскольку каждому объекту такого отслеживания можно присвоить свой уникальный идентификационный номер. Дальнейшее продвижение автотранспортного средства сопровождается созданием новых блоков информации, которые объединяются в цепочки, поэтому все контролирующие органы с соответствующим уровнем допуска могут отследить всю историю данного автотранспортного средства: момент перехода через таможенную границу, оформленные таможенные декларации, последующие манипуляции и пр.

В момент обновления реестра при образовании нового блока информации последняя становится постоянной без возможности внесения каких-либо корректировок. Искажение любого участка информационного массива повлечет присвоение другого кода, а значит, поступит сигнал о несоответствии предоставляемых данных. Это значит, что такую базу данных становится невозможным подделать (рисунок).

Применение блокчейн-технологии открывает перед таможенными службами ТС ЕАЭС широкие горизонты. Последствиями ее внедрения может стать ускорение обмена информацией о товарах и грузах между участниками ТС ЕАЭС, повышение скорости проведения таможенного контроля и совершения таможенных операций. Главное достоинство применения блокчейн-технологии – это повышение контролируемости всех процедур. Блокчейн обеспечивает открытость и в то же время защищенность информации. По прогнозам специалистов, легальность процедур таможенного администрирования вырастет в десятки раз, что исключит возможность коррупции и повысит собираемость таможенно-тарифных платежей.



Алгоритм работы блокчейна

Кроме того, блокчейн поможет решить проблему межведомственного взаимодействия. Например, в российской практике информация о цепи поставок конкретного участника внешней экономической деятельности может быть передана в ФНС или любой другой налоговой орган в целях осуществления соответствующего налогового контроля. С 2010 года в Российской Федерации действует Система межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ) [7]. Взаимодействие информационных систем различных государственных органов через СМЭВ осуществляется с использованием электронных сервисов, реализованных в виде веб-сервисов. Данную систему можно существенно доработать за счет применения блокчейна в ее работе. Преимущества такой модернизации очевидны.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКЧЕЙНА В ЕАЭС И ЗА РУБЕЖОМ

Экономическое содержание блокчейн-технологии предполагается рассматривать с двух точек зрения:

в качестве источника экономического роста для стран в новой цифровой экономике;

как фактор риска для стабильности традиционной денежно-кредитной системы.

В рамках ЕАЭС на сегодняшний день не выработано единого понимания сущности и методов регулирования блокчейн-технологии. Регуляторные практики в государствах-членах ЕАЭС представлены в табл. 2.

В США практика применения блокчейн-технологий весьма разнообразна. Рабочая группа экспертной комиссии Бюро таможенного и пограничного контроля разработала четырнадцать вариантов использования технологий блокчейна – от отслеживания лицензий и свидетельств различных юридически лиц до сертификации продукции и отслеживания движения договоров.

В Великобритании правительство одобрило создание различных платформ с применением блокчейн-технологий еще в 2016 году. Тогда же в Белфасте открылась крупнейшая лаборатория по изучению возможностей технологий блокчейна и выявлению его потенциала совместно с японской корпорацией «Rakuten». Наиболее ярким примером использования преимуществ данных технологий стала британская компания «Everledger», которая регистрирует и сопровождает бриллианты, записывая в блокчейн все их характеристики (цвет, вес, принадлежность и др.), что помогает бороться с подделками и контрафактом.

Таблица 2. Регуляторная практика в государствах-членах ЕАЭС по отношению к блокчейн-технологиям [8]

Страна	Период	Практика использования
Армения	Январь 2018	Создана свободная экономическая зона для развития блокчейн-проектов
Беларусь	Декабрь 2017	Декретом № 8 «О развитии цифровой экономики» на определенной территории Республики Беларусь легализованы майнинг, блокчейн, деятельность бирж криптовалют и прочие операции с криптовалютами
	Апрель 2018	Вступил в силу Декрет № 8 «О развитии цифровой экономики»
	Июнь 2018	Подписан Указ «О мерах по реализации Декрета Президента Республики Беларусь»
Казахстан	Март 2018	Национальным Банком осуществлена эмиссия краткосрочных нот с использованием блокчейн-технологии в рамках нового технологического продукта Invest Online
	Июль 2018	Открыт Международный финансовый центр «Астана», в рамках которого запущена «регулятивная песочница» FinTech. Разработаны нормативные акты в сфере криптовалют, майнинга, блокчейна
Кыргызстан	Январь 2018	Введение запрета на криптовалюты не предполагается, блокчейн-технология используется в работе Национального банка, обсуждается ее внедрение в систему государственных закупок
Россия	Май 2018	Государственной Думой РФ одобрены в первом чтении законопроекты «О цифровых финансовых активах» (№ 419059-7), «Об альтернативных способах привлечения инвестиций (краудфандинге)» (№ 419090-7), «О внесении изменений в части первую, вторую и четвертую Гражданского кодекса Российской Федерации» (№ 424632-7)
	Март 2019	Принят Федеральный закон № 34-ФЗ «О внесении изменений в части первую, вторую и статью 1124 части третьей ГК РФ» (о цифровых правах)

Наиболее бурно блокчейн-технологии в настоящее время развиваются в Южной Корее, где интерес к разработкам выразили такие крупные корпорации, как Samsung, LG, Hyundai и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зарубежный опыт, как и опыт стран-членов ЕАЭС, свидетельствует о том, что технологии блокчейна целесообразно внедрять в самые различные виды деятельности. Потенциал таких технологий огромен, и его применение таможенными органами позволит непосредственно извлекать надежную информацию из распределенного реестра. Снизится документооборот, сократятся административные издержки, повысится скорость прохождения автотранспортных средств и товаров через границы. Общее законодательство ЕАЭС позволит создать прозрачное и эффективное пространство внешнеэкономической деятельности для всех стран-участников, если в его основу будут положены принципы блокчейн-технологии при обмене информацией.

Однако технология блокчейна в настоящее время является не только перспективной и весьма заманчивой, но и недостаточно исследованной и апробированной по сравнению с зарубежным опытом использования. Особенно это касается таких участников информационного обмена, как таможенные органы. Поэтому в процессе изучения перспектив использования технологии блокчейна необходимо также оценить ее адаптивность, надежность и защищенность от умышленных внешних воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 14.11.2017 № 317-ФЗ «О ратификации Договора о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215314/#dst0 (дата обращения: 20.12.2019).
2. Таможенная статистика внешней торговли Российской Федерации. 2019. URL: <http://customs.ru/statistic> (дата обращения: 18.12.2019).
3. Автомобильный рынок России-2018 // Отчет аналитического агентства «Автостат», 2019. 288 с.
4. Справочные материалы к расширенному заседанию коллегии ФТС России «Таможенная служба Российской Федерации в 2018 году». 2019. URL: https://www.minfin.ru/common/upload/library/2019/04/main/06_Federalnaya_tamozhennaya_sluzhba_v_2018_godu.pdf (дата обращения: 18.12.2019).
5. Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact – 2015. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf (дата обращения: 20.12.2019).
6. Цихилов А. Блокчейн: принципы и основы. М.: Альпина Диджитал, 2019. 300 с.
7. Левашов А. СМЭВ – ядро электронного правительства России // *CNews*. 2013. № 65. С. 36–55.
8. Криптовалюты и блокчейн как атрибуты новой экономики. Евразийская экономическая комиссия. 2019. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr_i_makroec/dep_makroec_pol/SiteAssets/Доклад_FINAL.pdf (дата обращения: 18.12.2019).

Для цитирования: Нестеров Я.А., Петухова Р.А. Перспективы использования блокчейн-технологии в области таможенно-тарифного регулирования // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 1 (5). С. 87–93.

PROSPECTS OF USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN CUSTOMS TARIFF REGULATION

Ya.A. NESTEROV, R.A. PETUKHOVA, Cand. Sc.

Saint Petersburg State University of Economics, 21, Sadovaya str.,
191023 St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: petuhova.r@unecon.ru

The need for implementation of large-scale infrastructure projects, development of strategic planning system in the Eurasian Economic Union (EAEU), creation of a unified strategy for all the countries and pursuing coordinated policies are the tasks of the nearest future for ensuring the Union efficiency. The member countries of the Eurasian Customs

*ISSN 2658-5030. Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 1 (5), 2020*

Union of EAEU apply unified customs tariffs and other regulating measures when trading with third countries; that's why the complicated process of customs administration of foreign economic activity of the Eurasian Customs Union of EAEU calls for the introduction of new mechanisms and innovations. Technological changes are needed both in the area of state regulation of foreign trade and in the operation of global supply chains. In this article we will consider the possibility of applying blockchain technology for improving the customs tariff regulation of the Eurasian Customs Union of EAEU through the analysis of the experience of other countries in the field of data exchange.

Keywords: blockchain, information technology, data array, customs tariff regulation, customs administration, Customs Union, digital economy.

REFERENCES

1. Federal law No. 317-FZ of 14.11.2017 "On ratification of The Treaty on the Customs code of the Eurasian economic Union". 2017. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215314/#dst0 (access date: 20.12.2019).
2. Bulletin "Customs statistics of foreign trade of the Russian Federation "[Electronic resource]. 2019. URL: <http://customs.ru/statistic> (access date: 18.12.2019).
3. Automotive market of Russia–2018 // Report of the analytical Agency "Autostat", 2019. 288 p.
4. Reference materials for the extended meeting of the Board of the Federal customs service of Russia "Customs service of the Russian Federation in 2018". 2019. URL: https://www.minfin.ru/common/upload/library/2019/04/main/06_Federalnaya_tamozhennaya_sluzhba_v_2018_godu.pdf (access date: 18.12.2019).
5. Deep Shift Technology Tipping Points and Social Impact. 2015 URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf (access date: 20.12.2019).
6. Tikhilov A. Blokcheyn: printsipy i osnovy [Blockchain: principles and foundations]. Moscow: Alpina Digital, 2019. 300 p.
21. 7. Levashov A. SMEV – the core of the electronic government of Russia *CNews*. 2013. No. 65, pp. 36–55. (In Russian).
8. Cryptocurrencies and blockchain as attributes of the new economy. Eurasian economic Commission. 2019. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr_i_makroec/dep_makroec_pol/SiteAssets/Doklad_FINAL.pdf (access date: 18.12.2019).

ВЕСТНИК ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЕЙ. ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала просит авторов, направляющих свои статьи для опубликования, руководствоваться изложенными ниже правилами и соблюдать нормы действующего законодательства о защите авторских прав (глава 70 «Авторское право» Гражданского кодекса Российской Федерации, часть IV), придерживаться общепринятых этических норм в соответствии с Декларацией о публикационной этике и непремлемых практиках, одобренной решением Бюро Научно-издательского совета РАН от 18 сентября 2012 г.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К рассмотрению для опубликования в журнале принимаются статьи, содержащие результаты оригинальных теоретических и экспериментальных научных исследований, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов. Статьи должны отвечать тематике основных разделов журнала: машиностроение и машиноведение; транспортное, горное и строительное машиностроение; информатика, вычислительная техника и управление.

В список авторов статей включаются только те лица, которые внесли значительный вклад в исследовательскую работу, не более 5 специалистов от одной организации. Участники подготовительных или вспомогательных работ отмечаются в примечаниях к соответствующим разделам основного текста или в разделе благодарностей.

Все принятые к рассмотрению статьи проходят независимое рецензирование и в случае необходимости направляются авторам на исправление, доработку. Решение о публикации принимает редколлегия журнала по результатам рассмотрения окончательного варианта статьи с учетом рекомендаций рецензента.

Необходимо также представить: рекомендацию организации, в которой статья подготовлена (направление от иностранного учреждения предоставляется в случае, если этого требуют его правила), экспертное заключение на статью о возможности открытого опубликования (для авторов из Российской Федерации) или авторскую справку (для сотрудников ТвГТУ).

Авторы должны заключить лицензионный договор с Тверским государственным техническим университетом о предоставлении права использования произведения. Форма договора представлена на сайте ТвГТУ (<http://www.tstu.tver.ru>) в разделе «Вестник Тверского государственного технического университета».

Материалы статьи: файл с названием *ФИОавтора.docx* (указывается фамилия первого автора) с текстом статьи, копия экспертного заключения *ФИОавтора заключение.pdf* и копия лицензионного договора, подписанного со стороны авторов, – *ФИОавтора договор.pdf* – высылаются по адресу электронной почты vestnik_tstu_tekh@mail.ru.

Плата за публикацию статьи с авторов не взимается.

ОФОРМЛЕНИЕ ТЕКСТА РУКОПИСИ

Текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word. Параметры страницы: поля по 25 мм с каждой стороны. Шрифт: Times New Roman, кегль 12 для всего текста. Междустрочный интервал одинарный. Абзацный отступ 1,25 устанавливается для всего текста. Отступ снимается для ориентированных «по центру» заголовка и подзаголовков, для таблиц и рисунков.

Единицы физических величин должны быть приведены в Международной системе единиц (СИ).

Все употребляемые автором обозначения, за исключением общепринятых констант (e , π и т.п.), а также аббревиатуры должны быть расшифрованы при их первом написании в тексте.

Для набора формул следует использовать встроенный редактор формул. Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и иметь название, на них обязательно должна быть ссылка в тексте статьи. Размеры шрифтов на рисунках и графиках не должны значительно отличаться от размера шрифта основного текста.

Иллюстративный материал (фотографии, схемы и т.п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.jpg с разрешением не ниже 300 dpi (предпочтительно 600 dpi).

Таблицы должны быть составлены лаконично, однотипные таблицы строятся одинаково. Цифровые данные следует округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Таблицы, представленные в виде изображений или в формате PDF, не принимаются.

Рукопись статьи в указанной ниже последовательности должна включать: индекс УДК, название, фамилию и инициалы каждого автора с указанием ученой степени, название организации по месту работы каждого автора с указанием почтового и электронного адресов, аннотацию объемом 600–800 знаков и 5–10 ключевых слов; основное содержание статьи (текст, рисунки, таблицы, формулы), список используемой литературы.

Название статьи, фамилии и инициалы авторов, названия организаций и их адреса, аннотация с ключевыми словами, список используемой литературы должны дублироваться на английском языке.

Статья должна быть структурирована, то есть разбита на разделы (например, Введение, Материалы и методика эксперимента, Полученные результаты, Заключение, Литература).

Литература к статье обязательна и должна содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В списке литературы источники нумеруются арабскими цифрами с точкой без скобок. В тексте номер ссылки заключается в квадратные скобки.

При цитировании следует ссылаться преимущественно на статьи из журналов, которые включены в Перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для опубликования трудов соискателей ученых степеней. Не рекомендуется ссылаться на рекламные буклеты, тезисы докладов и другие нерцензируемые издания. Нельзя ссылаться на неопубликованные работы (отчеты по НИОКР, служебные документы, материалы с ограниченным грифом).

В списке литературы следует указывать не менее 15–20 первоисточников, при этом доля ссылок на собственные работы автора (авторов) не должна превышать 30 %, публикации последних 5–10 лет должны составлять не менее 30 %.

Основной список литературы необходимо дублировать на английском языке в разделе “References” следующим образом: фамилии и инициалы авторов латинским шрифтом, транслитерация латинскими буквами русского названия публикации и перевод названия на английский язык, транслитерация названия российского журнала, год издания, том, номер, страницы.

Представленные статьи могут быть отклонены редколлегией по причинам несоблюдения настоящих правил, несоответствия тематической направленности журнала и современному уровню исследований, а также при небрежном оформлении.

**ВЕСТНИК
ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Серия «Технические науки»

**Научный рецензируемый журнал
№ 1 (5), 2020**

Редактор М.Б. Юдина
Корректор А.В. Смирнов

Подписано в печать 20.03.2020

Дата выхода в свет 07.08.2020

Формат 60 x 84/8

Усл. печ. л. 11,16

Бумага писчая

Физ. печ. л. 12

Цена свободная

Уч.-изд. л. 10,44

Тираж 500 экз.

Заказ № 336

С – 96

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22
Отпечатано в ООО «Наукоемкие технологии»
Центр инженерной печати
170024, Тверь, ул. Академическая, д. 14