# **ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ** НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ и производственный ЖУРНАЛ



В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПО ГРУППАМ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ: 01.02.00 — МЕХАНИКА, 05.02.00 — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ, 05.04.00 — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ, 05.05.00 — ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

# Том 19 2018 10 (219)

## СОДЕРЖАНИЕ

## Технологическая оснастка для сборки Розинов А.Я., Бескровный А.Ю., Логунов В.В. Расширение области технологического применения средств сборки с электромагнитным креплением ...... 435 Сборка с использованием клеев Игнатов А.В., Островский Ю.А., Мозгин С.А. Автоматизация выбора анаэробной композиции при сборке изделий в дизельном двигателестроении . . . . 442 Питание сборочных линий. Комплектация. Складирование. Упаковка Макаров А.М., Кухтик М.П., Мушкин О.В., Лапиков М.А. Повышение эффективности удержания гибкого контейнера при его наполнении сыпучим материалом ...... 451 Руднева Л.Ю., Литвинчук А.В. Система управления и структуры математического обеспечения автоматизированных транспортно-складских Трение и смазка в машинах и механизмах Алисин В.В., Рощин М.Н. Исследование трибологических свойств композиционного материала ZX-530 в условиях смазки морской водой ...... 460 Мигранов М.Ш., Мигранов А.М., Нигматуллин Р.Г. Износостойкость Чеботарев Е.А., Губарев П.В., Тептиков Н.Р., Игнатьев О.Л. Проблемы скоростного движения поездов на Северо-Кавказской железной дороге . . . . . 469 В помощь конструктору, технологу Байнева И.И. Компьютерное моделирование светодиодных ламп-

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Пресса России" — 84967) или непосредственно в издательстве

Тел.: 8 (499) 269-54-98, 269-54-96

E-mail: sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

#### Председатель редакционного совета

В.И. КОЛЕСНИКОВ, академик РАН

## Редакционный совет

#### MOCKBA

А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф. В.В. БАРДУШКИН, д.ф.-м.н. И.А. БУЯНОВСКИЙ, д.т.н., проф. М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф. А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.

С.М. ЗАХАРОВ, д.т.н. И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.

Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н. А.В. ИГНАТОВ, к.т.н., доц. Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н. А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф. И.А. ЛЮБИНИН, к.т.н. Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф. А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.

#### Региональные редсоветы

#### БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

#### ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н.КУЛЬЧИН, акад. РАН А.А. СУПОНЯ, к.т.н.

#### ВОЛГОГРАД

М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф. В.И. ЛЫСАК, акад. РАН В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.

#### **UXFRCK**

И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф. Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

#### KOBPOB

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

#### комсомольск-HA-AMYPE

Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.

#### А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф. нижний новгорол

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

#### NDFN

Ю.С.СТЕПАНОВ, д.т.н., проф. Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.

#### ОРЕНБУРГ

А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф. А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф. А.П. ФОТ, д.т.н., проф.

#### ПЕРМЬ

С.М. БЕЛОБОРОДОВ, д.т.н. В.Ф. МАКАРОВ, д.т.н.

#### РОСТОВ-НА-ДОНУ

А.А. РЫЖКИН, д.т.н., проф.

#### РЫБИНСК

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф. В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н., проф. А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.

#### CAMAPA

Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц. М.А. ЕВДОКИМОВ, д.т.н., проф.

## САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

#### TOMCK

А.В. КОЛУБАЕВ, д.ф.-м.н. В.Е. ПАНИН, акад. РАН

А.А. МАЛИКОВ, д.т.н., проф. В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

#### ХАБАРОВСК В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.

# Белапись

#### МИНСК

В.Л. БАСИНЮК, д.т.н. М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

#### LUMEUP

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

#### Украина

#### KNEB

А.С. ЗЕНКИН, д.т.н., проф. В.А. МАТВИЕНКО, к.т.н.

#### ПОНЕПК

А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

#### Польша

П. ЛЕБКОВСКИ, д.т.н. Е. ЛУНАРСКИ, д.т.н.

#### Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Е.М. НУЖДИНА, И.М. ГЛИКМАН

Журнал зарегистрирован в РОСКОМНАДЗОРе. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-63953 от 09.12.2015 г.

THE MONTHLY **JOURNAL FOR SCIENTISTS** AND MANUFACTURERS



# IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-M

THE JOURNAL IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY RF FOR DISSERTATION PUBLICATION BY GROUPS OF SCIENTIFIC SPECIALTIES: 01.02.00 - MECHANIC. 05.02.00 - MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE, 05.04.00 - POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING, 05.05.00 — TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION MECHANICAL ENGINEERING

Vol. 19 10 (219)

## CONTENTS

#### Technological equipment for assembly

Rozinov A.Ya., Beskrovnyi A.Yu., Logunov V.V. Expansion of the field of technological application of assembly with electromagnetic fastening ...... 435

#### Assembly with use glue

Ignatov A.V., Ostrovskiy Yu.A., Mozgin S.A. Anaerobic compositions automatization selection in the products assembly in diesel engine building ..... 442

#### Feeding of assembly lines. Packaging arrangement. Stocking, Packing

Makarov A.M., Kukhtik M.P., Mushkin O.V., Lapikov M.A. Efficiency increase Rydneva L.Yu., Litvinchuk A.V. Control system and structure of the software for automated transport-warehouse systems of machine-building productions ... 458

#### Friction & lubrication in machines and mechanisms

Alisin V.V., Roshchin M.N. Study of tribological properties of the composite	
material ZX-530 in the conditions of lubrication sea water	460
Migranov M.Sh., Migranov A.M., Nigmatullin R.G. Wear resistance of friction	
screw compressor	464
Chebotarev E.A., Gubarev P.V., Teptikov N.R., Ignatyev O.L. Problems	
of speed trains in the North-Caucasian railway	469

#### Industrial and design engineer's aid

#### Chair of Editorial Advisory Board — Member of Russian Academy of Science V.I. KOLESNIKOV

#### **Editors** MOSCOW

AS VASIL'EV Yu.L.IVANOV (Chief editor) V.V. BARDUSHKIN A.V. IGNATOV Yu.G.KOZYREV I.A. BUYANOVSKY M.V. VARTANOV A.A. GUSEV S.M. ZAKHAROV I.N. ZININA

#### Regional editors

O.A. GORLENKO

A.A. SUPONIA

V.I. LYSAK V.M. TRUKHANOV

I.V. ABRAMOV

#### KAZAN

R.I. ADGAMOV

#### KNVRNV

#### KOMSOMOLSK-ON-AMUR

A.M. SHPILEV

#### NIZHNY NOVGOROD

#### OREL

Yu.S. STEPANOV

A.N. POLYAKOV A.I. SERDUK A.P. FOT

#### ROSTOV-ON-DON

A.I. KUMENKO I.A. LUBININ

#### B.V. SHANDROV A.G. KHOLODKOVA

#### BRIANSK

#### VLADIVOSTOK

Yu.N.KULSHIN

#### VOLGOGRAD

M.G. KRISTAL

#### IZHEVSK

V.G. OSETROV B.A. YAKIMOVICH

#### Yu.Z. ZHITNIKOV

B.N. MARJIN

S.V. GOLUBEV

G.A. KHARLAMOV

#### ORENBURG

#### PERM

S.M. BELOBORODOV

A.A. RYZHKIN

#### RYBINSK

V.F. BEZIAZYCHNYI V.V. NEPOMILUEV A.N. SEMENOV

#### SAMARA

Yu.A. VASHUKOV M.A. EVDOKIMOV

#### ST-PFTFRSRURG

E.V. SHALOBAEV

#### TOMSK

A.V. KOLUBAEV V.E. PANIN

#### TULA

A.A. MALIKOV V.V. PREYS

#### KHARAROVSK

V.I. SCHPORT

#### Relarus

## MINSK

V.L. BASINJUK M.L KHEIFETZ

#### GNMFI

V.E. STARZHINSKI

#### Ilkraine

#### KIEV

A.S. ZENKIN V.A. MATVIENKO DONETSK

## A.N. MIKHAILOV

P. LEBKOVSKI F LUNARSKII

#### **Executive editors** of current issue:

E.M. NUZHDINA, I.M. GLIKMAN

Ph.: 8 (499) 269-54-98, 269-54-96 E-mail: sborka@mashin.ru, http://www. mashin.ru The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making

catalogue of the "Pressa Rossii" — 84967) or directly in editorial of the journal.

Journal is distributed on subscription, whith can be issues in any post office (index on the

Journal during reprint of the materials is mandatory. Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

The journal is registered by ROSKOMNADZOR. Registration certificate ПИ № ФС 77-63953. 09.12.2015

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СБОРКИ

УДК 621.757.06+229:629.5

А.Я. Розинов, ∂-р техн. наук, А.Ю. Бескровный (ОАО "Корпорация "Оборонные технологии", г. Санкт-Петербург), В.В. Логунов (ОАО "НПП "Компенсатор", г. Санкт-Петербург), Тел. 8(812) 532-77-42

# Расширение области технологического применения средств сборки с электромагнитным креплением

Представлены примеры конструктивного решения существующих средств сборки с электромагнитным креплением, а также результаты исследований конструктивно-технологических особенностей соединений судовых корпусных конструкций, выполняемых на стапеле, физиологической оценки ручного труда стапельной сборки, связанной с применением переносных средств ее выполнения. Приведены аналитические выражения для расчета изменения удерживающей силы тяговых электромагнитов и уравнения для определения магнитной индукции в рабочем (воздушном) зазоре. Рассмотрены конструктивно-технологические особенности круглых и прямоугольных электромагнитов и формулы расчета их удерживающей силы. Приведены результаты статистически определенных размеров воздушных зазоров, оценено влияния состояния поверхности и деформирования металлических конструкций на изменение удерживающей силы электромагнитов. Описаны конструктивно-технологические особенности гибкого электромагнитного крепления сборочных устройств и представлен график изменения удерживающей силы сборочных устройств с гибким электромагнитным креплением.

Examples of the constructive solution of the existing means of assembly with electromagnetic fastening and also results of researches of constructive and technological features of connections of the ship case designs which are carried out on a building berth, physiological assessment of manual skills of the building slip assembly connected with application of figurative means of her performance are presented. Analytical expressions for calculation of change of the holding force of traction electromagnets and the equation for definition of magnetic induction are given in a working (air) gap. Constructive and technological features of round and rectangular electromagnets and formula of calculation of their holding power are considered. Results of statistically certain sizes of air gaps are given, it is estimated influences of a condition of a surface and deformation of metal designs on change of the holding force of electromagnets. Constructive and technological features of flexible electromagnetic fastening of assemblers are described and the schedule of change of the holding force of assemblers with flexible electromagnetic fastening is submitted.

**Ключевые слова:** тяговые электромагниты, удерживающая сила, индукция, рабочий (воздушный) зазор, площадь полюса, магнитный поток, магнитная проницаемость, число ампер-витков, магнитодвижущая сила, уравнение нагрева катушки электромагнита, коэффициент теплоотдачи, коэффициент заполнения, относительная продолжительность включения, удельное сопротивление, опорная поверхность, воздушные зазоры, состояние поверхности металлоконструкций, местные деформации, система подвижных магнитов, удельная масса.

**Keywords:** traction electromagnets, holding force, induction, working (air) gap, area of a pole, magnetic flux, magnetic permeability, number of amperes rounds, magnetodriving force, the equation of heating of the coil of an electromagnet, thermolysis coefficient, filling coefficient, relative duration of inclusion, specific resistance, basic surface, condition of a surface of a metalwork, local deformations, the system of mobile magnets, specific weight.

**В** существующем отечественном и зарубежном судостроении при изготовлении судовых корпусных конструкций в сборочно-сварочном производстве применяют средства сборки с электромагнитным креплением: катучие тележки с двумя круглыми электромагнитами

(рис. 1), массогабаритные размеры которых не позволяют их использовать в условиях постройки корпусов судов на стапеле.

К неограниченным для доступа можно отнести соединения, которые в процессе стапельной сборки обслуживаются крановым оборудо-



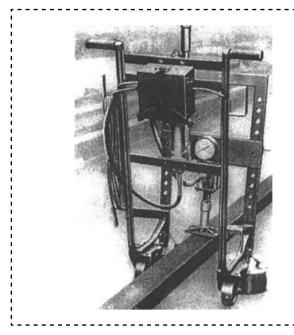


Рис. 1. Средство сборки типа тележки с электромагнитным креплением

ванием стапеля, не закрываются стапельными лесами и конструкциями строящегося корпуса и, главное, выполняются в удобной для сборщика позе. Частично ограниченные для доступа соединения при стапельной сборке не обслуживаются стапельными кранами, обязательно применение лесов, но могут быть выполнены в удобных для работы позах, позволяющих работающему стоять в полный рост. Труднодоступные соединения выполняются в неудобных положениях (согнувшись, на корточках, лежа), что снижает их производительность на 50...70 % по сравнению с работой в свободных для доступа местах (табл. 1).

Рабочим, осуществляющим стапельную сборку, приходится чаще всего переносить вручную и устанавливать в различное пространственное положение используемые для сборки средства (оборудование, инструмент).

Исследованиями физиологов труда установлено, что при переносе вручную средств стапельной сборки выполняемые рабочим движения оказываются связанными со статическим нагружением мышц, а при подъеме и установке этих средств — с динамическим нагружением мышц. При этом предельно допустимое динамическое нагружение мышц непостоянно для всех положений поднимаемого груза относительно высоты тела работающего человека. При статическом нагружении мышцы утомляются быстрее, чем при динамическом нагружении: предельно допустимое статическое нагружение мышц составляет в среднем 25 % динамических нагружений. Допустимые статические нагрузки, которым способна противостоять по отдельности каждая из рук работающего человека, представлены в табл. 2.

При подъеме и удержании груза суммарная сила обеих работающих рук составляет в среднем 140...145 % сил, развиваемых при работе каждой рукой в отдельности. При различном положении удерживаемых средств стапельной сборки их предельная масса (в условиях их удержания на разной высоте обеими руками) должна составлять:

- над головой 4 кг;
- на уровне плеч  $7 \, \text{кг}$ ;
- на уровне пояса 5 кг;
- при опущенных руках 15 кг.

Стремление использовать средства стапельной сборки в указанных пределах их массы привело к разработке переносного сборочного устройства с неприваренным креплением в виде электромагнита (рис. 2).

Основной элемент электромагнитного крепления сборочного устройства — круглый тяговый электромагнит (рис. 2). Он сравнительно прост по конструкции, его катушка надежно защищена от механических повреждений. По сравнению с другими конструктивными типами тяговые электромагниты способны обеспе-

Таблица 1 Характеристика особенностей стапельной сборки соединений судовых корпусных конструкций

Конструктивно-технологический признак соединений, выполняемых на стапеле	Отличительные особенности стапельной сборки соединений судовых корпусных конструкций	Соотношение протяженности соединений, выполняемых на стапеле, %
_	В нижнем положении	3147
Расположение в пространстве	На вертикальной плоскости	1942
	В потолочном положении	1734
_	Неограниченные для доступа	818
Степень доступности при стапельной сборке	Частично ограниченные для доступа	7786
	Труднодоступные	210



Таблица 2 Предельно допустимые нагрузки работающей руки

Положение	Предельно допустимая нагрузка, Н		
работающей руки	Динамическая	Статическая	
Опущена вниз	450	110	
Согнута под прямым углом:			
на уровне пояса	140	35	
на уровне плеч	200	50	
Поднята над головой	120	30	

чить достаточно большую удерживающую силу, необходимую для сведения монтажных кромок обшивки изготавливаемых судовых корпусных конструкций или прижатия балок набора этих конструкций к полотнищам их обшивки, Н:

$$P_{\rm 9M} = 1, 2 \frac{B_g^2 S_{\rm 9M}}{2\mu_0},\tag{1}$$

где  $B_g$  — индукция в рабочем (воздушном) зазоре, образованном неполным прилеганием опорной плоскости электромагнита к поверхности металлоконструкций, Тл;

 $S_{\text{эм}}$  — площадь полюса электромагнита, создающего магнитный поток (площадь сердечника), м<sup>2</sup>;

 $\mu_0$  — магнитная проницаемость в рабочем (воздушном) зазоре,  $\Gamma$ н/м.

Индукция  $B_g$ , создаваемая тяговым электромагнитом, определяется уравнением магнитной цепи:

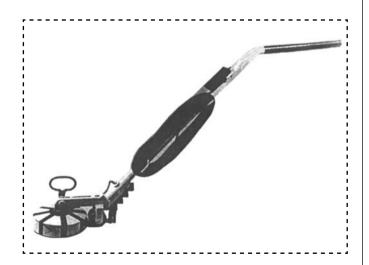


Рис. 2. Переносное средство сборки соединений листов полотнищ обшивки с электромагнитным креплением

$$NJ_A = \frac{B_g g}{\mu_0} + \sum H_i l_i, \qquad (2)$$

где  $NJ_A$  — число ампер-витков, характеризующих магнитодвижущую силу, необходимую для создания магнитного потока, соответствующего удерживающей силе  $P_{\text{эм}}$ , A;

g — рабочий (воздушный) зазор, образованный неполным прилеганием опорной плоскости электромагнита к поверхности металлоконструкций, м;

 $\sum H_i l_i$  — магнитодвижущая сила, необходимая для проведения генерируемого магнитного потока через стальные части магнитной цепи, А.

Независимо от конкретного конструктивного решения тягового электромагнита магнитодвижущая сила  $\sum H_i l_i$  в зависимости от качества материала магнитопровода составляет, примерно, 10...20 % магнитодвижущей силы  $\frac{B_g g}{\mu_0}$ . С учетом этого, а также с учетом 5...10 %

потерь магнитодвижущей силы в паразитных воздушных зазорах электромагнитов, уравнение (2) можно упростить:

$$NJ_A = 1,35 \frac{B_g g}{\mu_0}$$
. (3)

При этом уравнение нагрева катушки электромагнитов будет иметь вид:

$$\theta_f = \frac{q\rho_{\rm K}}{2K_0 f_{\rm K} b_{\rm K}} \left(\frac{NJ_A}{h_{\rm K}}\right). \tag{4}$$

Воспользовавшись зависимостями (1), (3) и (4), получим, что удерживающая сила тяговых электромагнитов в общем случае:

$$P_{\rm 3M} = 0,56 \frac{\theta_f K_0 f_{\rm K} b_{\rm K} h_{\rm K}^2 \mu_0 S_{\rm 3M}}{q_{\rm 3M} \rho_{\rm K} g^2}, \tag{5}$$

где  $\theta_f$  — температура установившегося перегрева катушки электромагнита, °C;

 $K_0$  — коэффициент теплоотдачи катушки,  $B_T/(M^2 C)$ ;

 $f_{\rm K}$  — коэффициент заполнения катушкой отведенного для нее пространства в корпусе электромагнита;

 $b_{\rm K}$  — ширина пространства, занятого катушкой, м;

 $h_{\scriptscriptstyle \rm K}$  — высота пространства, отведенного для катушки, м;



 $q_{\scriptscriptstyle {
m ЭM}}$  — относительная продолжительность включения электромагнита при его использовании;

 $\rho_{\kappa}$  — удельное сопротивление проволоки катушки, Ом·м.

Для круглых тяговых электромагнитов с плоским якорем высота окна катушки больше его ширины в 3—4 раза. Причем внешний диаметр корпуса круглого электромагнита превышает в 1,8—2 раза аналогичные геометрические характеристики внутреннего полюса (сердечника), площадь которого равна площади наружного полюса. В круглых электромагнитах с медной обмоткой масса стали превышает массу меди в 3,5—5 раз.

Согласно формуле (1) удерживающая сила круглого тягового электромагнита определяется магнитным потоком  $\Phi_g = B_g S_{\scriptscriptstyle 3M}$ , проходящим через воздушный зазор g. Если выразить геометрические параметры окна катушки и сердечника круглого электромагнита, так как на рис. 3, то значение магнитного потока, создаваемого круглым электромагнитом, составит  $\pi r_1 B_g$ .

В круглых тяговых электромагнитах закономерны соотношения  $r_3 = 2r_1$  и  $r_2 = 1,7r_1$ . При вышеприведенном соотношении массы стали корпуса и массы меди обмотки сердечника, а также соотношении геометрических размеров корпуса и сердечника круглых тяговых

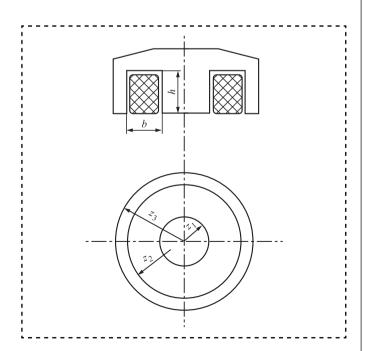


Рис. 3. Геометрические характеристики круглого тягового электромагнита

электромагнитов, удерживающая сила  $P_{\text{эм}}$  будет максимальна, если индукция  $B_g$  в рабочем зазоре g составит величину, равную индукции металла  $B_s$  соединяемых судовых корпусных конструкций толщиной  $\delta$ . В этом случае через толщину  $\delta$  металлических конструкций проходит магнитный поток  $2\pi r_1 \delta B_s$ . При равенстве магнитных потоков, выходящих из круглого электромагнита и входящих в соединяемые металлоконструкции, наибольшая удерживающая сила круглого тягового электромагнита составит, H:

$$P_{\text{\tiny 9M}}^{\text{Kp}} = \frac{0.2\theta_f K_0 \mu_0 r_1}{q_{\text{\tiny 9M}} \rho_{\text{\tiny MEJIU}} \gamma_{\text{\tiny MEJIU}}} \frac{Q_{\text{\tiny 9M}} \delta}{g^2}, \tag{6}$$

где  $Q_{\scriptscriptstyle {\rm ЭМ}}$  — масса круглого тягового электромагнита, кг;

 $\rho_{\text{меди}}$  — удельное сопротивление медной проволоки магнитной катушки, Ом·м;

 $\gamma_{\text{меди}}$  — плотность меди используемой проволоки, кг/м $^3$ .

Выражение (6) свидетельствует о том, что удерживающая сила круглых тяговых электромагнитов, в первую очередь, определяется их массой  $Q_{\rm эм}$ . Согласно этому же выражению уменьшение удерживающей силы зависит от квадрата величины воздушных зазоров g, образующихся между опорной поверхностью круглых тяговых электромагнитов и поверхностью соединяемых судовых корпусных конструкций, на которые устанавливаются сборочные устройства, изображенные на рис. 1 и 2.

Образующиеся при использовании круглых тяговых электромагнитов воздушные зазоры являются следствием:

- изменения состояния поверхности соединяемых судовых корпусных конструкций, включая покрытия окалиной, ржавчиной, грунтами, красками и т.п.;
- наличия местных деформаций типа бухтиноватости или волнистости поверхности этих конструкций, на которую устанавливают круглые электромагниты.

Результатами контроля плоскостности поверхности судовых корпусных конструкций с использованием индикаторов часового типа марки ИЧ-5, а также с применением бухтиномеров П-образной конструкции с выдвижным реперным устройством определено:

— наличие окалины, ржавчины, грунтов, краски и т.п. приводит к образованию воздушных зазоров от 0.5 до 1 мм;



— местные деформации в виде бухтин и волнистости поверхности создают воздушные зазоры от 2 мм и более.

В зависимости от образующихся воздушных зазоров удерживающая сила электромагнитов характеризуется данными табл. 3.

Величина образующихся местных деформаций зависит от толщины металлоконструкций. Замеры воздушных зазоров осуществляли на судовых корпусных конструкциях различной толщины. При этом учитывали размеры опорной поверхности электромагнитного крепления сборочного устройства.

В целях практического выявления полной картины образования воздушных зазоров изза различного состояния поверхности судовых корпусных конструкций, наличия у них бухтиноватости, волнистости и т.п. выполняли замеры зазоров конструкций толщиной 5, 8, 10, 15 и 20 мм. Результаты статистической обработки показали, что значения зазоров подчиняются закону нормального распределения. Согласно теории вероятностей, при таком законе распределения 95,4 % объема накопленных данных (т.е. практически почти все случаи применения электромагнитного крепления) характеризуются воздушными зазорами. не превышающими удвоенное значение среднего квадратического отклонения  $\pm 2\sigma_{g}$ . С учетом этого размер поля возможного изменения воздушных зазоров принят равным 4σ<sub>σ</sub>. На этой основе построен график изменения статистически определенных величин воздушных зазоров (рис. 4). На этом графике измене-

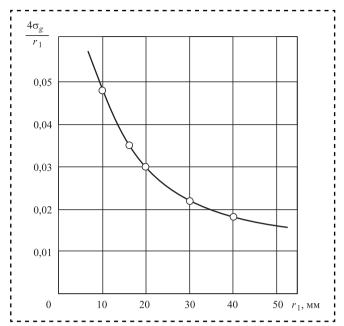


Рис. 4. Изменение статически определенных размеров воздушных зазоров, отнесенных к геометрическим параметрам опорной поверхности корпуса круглых электромагнитов

ние статистически определенных воздушных зазоров, выраженное отношением  $\frac{4\sigma_g}{r_1}$ , пред-

ставлено в зависимости от размеров радиуса  $r_1$  опорной поверхности круглых электромагнитов.

Существующая практика выполнения сборки соединений судовых корпусных конструкций свидетельствует о том, что в этом случае используемые средства сборки стремятся установить и закрепить по возможности

Изменение удерживающей силы электромагнита

Таблица 3

	Удельная удерживающая сила электромагнита, Н/кг				
Состояние поверхности судовых корпусных конструкций	Испытание на отрыв при различном воздушном зазоре, мм				Испытание на сдвиг при отсутствии
	0	0,5	1	2	воздушного зазора
Равномерное покрытие окалиной	1340	580	430	220	390
Окалина с отслоениями и ржавчина	920	560	390	200	310
Зачищенная до металлического блеска	1700	570	400	200	470
Зачищенная до металлического блеска и мокрая от воды	1680	_	_	_	650
Покрытая краской	1080	580	370	180	580
Окрашенная грунтом	1040	540	390	200	480



максимально близко к соединяемым кромкам полотнищ или обшивки судовых корпусных конструкций. Тогда на образующиеся воздушные зазоры, существенно снижающие удерживающую силу используемого электромагнитного крепления сборочных устройств, влияют не столько неровности поверхности судовых корпусных конструкций, вызванные остатками ржавчины, окалины, краски и т.п., сколько волнистость (бухтиноватость) поверхности судовых корпусных конструкций в районе соединяемых кромок полотнищ и обшивки соединяемых судовых корпусных конструкций.

В значительной степени влияние бухтиноватости соединяемых кромок обшивки судовых корпусных конструкций проявляется при стапельной сборке, где волнистость, образующая разностенность стыкуемых кромок, ликвидируется приложением к этим кромкам сборочных усилий, создаваемых используемыми средствами стапельной сборки.

Характерная особенность средств стапельной сборки, применяемых для выполнения соединений обшивки судовых корпусных обшивок, — их крепление к поверхности этой обшивки при помощи временно привариваемых скоб, рымов, обухов и т.п. На изготовление этих крепежных элементов, их приварку, удаление и последующую зачистку поверхности обшивки с подваркой и устранением местных нарушений затрачивается до 30 % трудоемкости стапельной сборки. Устранить указанный недостаток применением средств сборки типа тележки с электромагнитным креплением невозможно из-за их несоответствия особенностям стапельной сборки соединений судовых корпусных конструкций.

Масса и габаритные размеры переностных сборочных устройств с электромагнитным креплением в большей степени соответствуют условиям стапельной сборки. Однако опорная поверхность используемых в них круглых электромагнитов неспособна воспроизводить волнистость (бухтиноватость) поверхности судовых корпусных конструкций в районе соединяемых кромок их полотнищ и обшивки, что не позволяет эффективно бороться с негативным влиянием воздушных зазоров, существенно уменьшающих удерживающую силу электромагнитного крепления.

Для обеспечения минимизации воздушных зазоров, вызванных несовпадением фор-

мы и размеров волнистости кромок обшивки соединяемых на стапеле судовых корпусных конструкций с формой и размерами опорной поверхности тяговых круглых электромагнитов, разработано средство стапельной сборки с электромагнитным креплением в виде подвижной системы с прямоугольными поворотными элементами (рис. 5).

Использование гибкого электромагнитного крепления из прямоугольных элементов в составе средства стапельной сборки обеспечивает возможность:

- сохранения необходимой площади опорной поверхности и массы электромагнитного крепления, определяющих генерацию требуемой удерживающей силы;
- уменьшения возникающих воздушных зазоров путем воспроизведения составляющими элементами электромагнитного крепления формы деформации поверхности кромок обшивки соединяемых судовых корпусных конструкций.

На рис. 6 показано электромагнитное крепление средства сборки, изображенного на рис. 5. Гибкое электромагнитное крепление состоит из восьми плоских прямоугольных

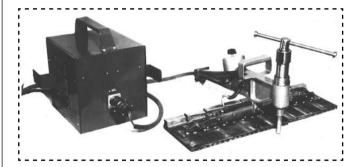


Рис. 5. Средство стапельной сборки с гибким электромагнитным креплением



Рис. 6. Гибкое электромагнитное крепление средства стапельной сборки, состоящее из тяговых прямоугольных электромагнитов



электромагнитов, соединенных между собой по типу траков танковой гусеницы. Это позволяет в возможно близкой форме копировать деформацию поверхности судовых корпусных конструкций в районе выполняемого соединения их обшивки. И тем самым добиваться сохранения постоянства и минимизации размеров воздушных зазоров между поверхностью судовых корпусных конструкций и опорной плоскостью электромагнитного крепления.

Прямоугольные тяговые электромагниты, входящие в состав гибкого электромагнитного крепления, имеют геометрические характеристики, представленные на рис. 7.

Геометрия элементов внутреннего полюса (сердечника) прямоугольного электромагнита характеризуется соотношением  $l_{\rm II}=0.35a_{\rm II}$ . С учетом этого через толщину соединяемой обшивки судовых корпусных конструкций должен проходить магнитный поток, образованный прямоугольным электромагнитом порядка  $2a_{\rm II}l_{\rm II}\delta B_s$ . При равенстве электромагнитных потоков, выходящего из прямоугольного электромагнита и входящего в соединяемые на стапеле судовые конструкции, наибольшая удерживающая сила каждого прямоугольного электромагнита, входящего в состав гибкого электромагнитного крепления, составит, H:

$$P_{\rm \scriptscriptstyle 3M}^{\rm np} = \frac{0.10_f K_0 \mu_0 a_{\rm II}}{q_{\rm \scriptscriptstyle 3M} \rho_{\rm \scriptscriptstyle MEJH} \gamma_{\rm \scriptscriptstyle MEJH}} \frac{Q_{\rm \scriptscriptstyle 3M} \delta}{g^2}, \tag{7}$$

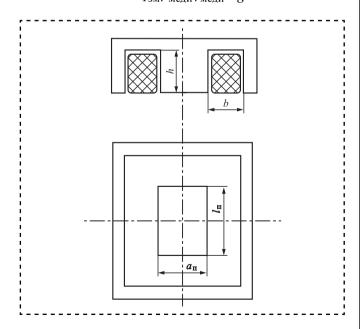


Рис. 7. Геометрические характеристики прямоугольного электромагнита, являющегося составным элементом гибкого электромагнитного крепления

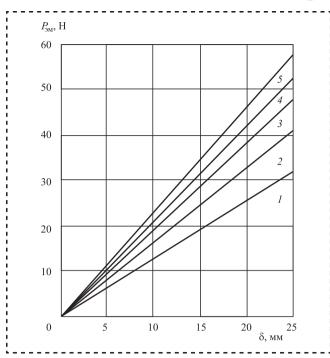


Рис. 8. Изменение удерживающей силы средства стапельной сборки с гибким электромагнитным креплением, характеризующимся изменением суммарной опорной поверхности S составляющих его прямоугольных электромагнитов:

$$1-S_1=300~{\rm mm}^2; 2-S_2=1300~{\rm mm}^2; 3-S_3=2900~{\rm mm}^2; 4-S_4=5000~{\rm mm}^2; 5-S_5=7900~{\rm mm}^2$$

где  $Q_{\scriptscriptstyle {\rm ЭМ}}$  — масса прямоугольного тягового электромагнита, кг;

 $ho_{\text{меди}}$  — удельное сопротивление медной проволоки магнитной катушки, Ом $\cdot$ м;

 $\gamma_{\text{меди}}$  — плотность меди используемой проволоки, кг/м<sup>3</sup>.

С учетом указанных составляющих параметров по выражению (7) проведен расчет изменения удерживающей силы электромагнитного крепления сборочного устройства, представленного на рис. 5, характеризующегося различной площадью электромагнитного крепления массой в пределах 15 кг (рис. 8).

#### Библиографический список

- 1. **Косилов С.А.** Очерки физиологии труда. М.: Медицина, 1965. 302 с.
- 2. Леман Г. Практическая физиология труда / пер. с нем. М.: Медицина, 1967. 680 с.
- 3. **Ротерс.** Электромагнитные механизмы /под ред. А.Я. Буйлова; пер. с англ. М.: Госэнергоиздат, 1949. 523 с.
- 4. Тяжелая атлетика: учеб. пособие. М.: Физкультура и спорт, 1967. 182 с.

# СБОРКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕЕВ

УДК 65.011.56; 658.512.4; 621.792

**А.В. Игнатов, Ю.А. Островский,** канд-ты техн. наук, **С.А. Мозгин** (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана) E-mail: mozgin.stas@gmail.com

# Автоматизация выбора анаэробной композиции при сборке изделий в дизельном двигателестроении

Показана актуальность исследований в области автоматизации проектирования технологических процессов сборки клеевых соединений. Описана методика автоматизированного проектирования технологического процесса сборки соединений с анаэробными составами в дизельном двигателестроении в зависимости от особенностей конструкции соединения, эксплуатационных требований, а также условий производства. Отдельные этапы методики представлены в виде блок-схем.

The research relevance in the adhesive joints with anaerobic compositions computer-aided assembly planning area is shown. The automated designing method of adhesive anaerobic assembly planning depending on the exploitation requirements, constructive features and manufacturing conditions is presented. Method separate stages are presented in the flowcharts form.

**Ключевые слова:** клеевые соединения, сборка, автоматизация проектирования, методика, дизельный двигатель.

**Keywords:** adhesive joints, assembly, computer-aided assembly planning, method, diesel engine.

**К**леевые соединения при сборке изделий в дизельном двигателестроении применяют при установке подшипников в корпусные детали или на валы для фиксации зубчатых колес, шестерен, звездочек, шкивов на валах, при установке цилиндрических втулок, гильз и пробок в корпуса, для герметизации резьбовых соединений. Для гарантии работоспособности двигателя клеевые соединения должны обладать:

достаточной прочностью, чтобы обеспечить передачу крутящего момента, а также противостоять аксиальным нагрузкам;

стойкостью к различным агрессивным средам, прежде всего моторному маслу и топливу;

работоспособностью в интервале рабочих температур. Наибольшая температура в двигателе на головке поршня — 200...600 °С в зависимости от мощности, режима работы и системы охлаждения двигателя. При этом температура поршня в районе первого поршневого кольца, как правило, не превышает 140...160 °С [1]. Нижний предел диапазона температур определяется погодными условиями и составляет —40°;

максимальной теплопроводностью в целях предотвращения интенсивного нагревания;

невысокими себестоимостью и трудоем-костью изготовления клеевого соединения за счет соответствия вязкости клея величине зазора в соединении для равномерного распределения адгезива.

В условиях поточного производства полностью обезжирить и очистить поверхности перед склеиванием затруднительно, поэтому требуется применение клеев, способных создавать прочные адгезионные связи с основным металлом через загрязнения. При необходимости задания такта на поточной линии ориентируются не на время полного отверждения клея, а на время ручного отверждения, в течение которого клеи набирают достаточную прочность для транспортировки соединения без изменения положения деталей.

Совокупности указанных требований полностью отвечают анаэробные составы. При попадании анаэробного состава в зазор между деталями размером не более 0,5 мм происходит взаимодействие кислорода с компонен-



тами клея, вследствие чего в зазоре создается бескислородная атмосфера, необходимая для отверждения клея. Различное электронное строение металлов влияет на скорость отверждения анаэробного состава, и поэтому их разделяют на активные (медь, латунь, бронза, низко- и среднеуглеродистые легированные стали) и пассивные (алюминий, высокоуглеродистые легированные стали, металлы с покрытием). Активные металлы способствуют отверждению анаэробного состава, а пассивные — нет. Если при склеивании деталей из среднеуглеродистой стали 50 % от полной прочности достигается в пределах одного часа, то в случае алюминиевых деталей тот же уровень прочности достигается в среднем за 24 ч, а для коррозионно-стойкой стали — за три часа [2]. В целях ускорения отверждения, что особенно важно, например в условиях поточной сборки, производители клеев рекомендуют вне зависимости от металла использовать активатор, который предварительно наносят на сухую обезжиренную поверхность, а также нагрев соединения после сопряжения деталей.

Величина зазора и вязкость клея взаимосвязаны. Вязкость анаэробных составов находится в пределах 2...5000 сСт, поэтому для любого зазора существует возможность подобрать клей с оптимальным показателем вязкости.

Прочность клеевого соединения зависит от шероховатости поверхности, площади сопряжения, величины зазора, температуры отверждения, материала деталей. Использование анаэробных составов позволяет обеспечить прочность на сдвиг до 30 МПа. Результаты испытаний позволяют говорить о достижении равнопрочности клеевых и прессовых соединений. Например, при испытании на прочность клеевого анаэробного соединения диаметром 38 мм, длина сопряжения — 11 мм; радиальный зазор — 0,1 мм; сила, при которой происходило разрушение, 31,2 кH; прочность состава на сдвиг — 27 МПа [3]. Для сравнения: расчетная сила распрессовки соединения с натягом  $\emptyset 38 \frac{H7}{m6}$  таких же габарит-

ных размеров — 25 кН.

Использование клеевых соединений в редукторах, двигателях и коробках передач требует от клея повышенной теплостойкости и химической стойкости к различным типам растворителей. Диапазон рабочих температур анаэробных составов составляет —75...+250 °C. Они обладают достаточной химической стой-

костью к воздействию моторного масла. бензина, тормозной жидкости, этанола, ацетона. Анаэробные составы однокомпонентные и могут храниться более года без потери свойств. Указанные особенности анаэробных составов делают их весьма перспективными для повышения качества соединений. Клеевые соединения обладают рядом преимуществ перед традиционными соединениями (например, шлицевыми, шпоночными, с натягом, резьбовыми); такими как снижение напряжений в соединении, снижение требований к качеству и точности сопрягаемых поверхностей, упрощение конструкции деталей, ствие коррозии в сопряжении, гашение шума и вибраций.

Однако внедрение клеевых соединений связано с рядом трудностей. Во-первых, обеспечение технологичности клеевых соединений осложняется недостаточным опытом применения клеев в машиностроении, что влечет за собой ограниченность типовых технологических решений. Анализ технологичности затруднен поиском объекта для сравнения (клеевого соединения, находящегося в производстве, нормативно-технических требований, учитывающих тенденцию развития производства клеевых соединений), недостаточным личным опытом исполнителя. Внедрение клеевых соединений осложняется ввиду экономических причин. Во-вторых, использование клеев в условиях поточного производства подразумевает применение способов сокращения трудоемкости сборки соединений в целях проведения синхронизации операций: предварительное нанесение активатора, использование активных металлов и добавок, а также нагрев соединения после сборки. Однако нет сведений о сокращении времени отверждения при совместном применении активатора и нагрева.

В-третьих, отсутствует методика подбора клея. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что использование клея малой вязкости в соединении с большим зазором может привести к практически полному вытеканию состава из зазора, а использование клея высокой вязкости в соединении с малым зазором приведет к возникновению пустот в клеевом шве. Обычно производители анаэробных составов указывают только максимально допустимый зазор для отдельно взятого клея. В таком случае подбор клея представляет трудоемкую многовариантную задачу, решение которой требует опыта, а в некоторых случаях — изго-



товления пробных соединений. Поэтому необходимы зависимости, позволяющие определять возможность заполнения клеем вертикального и горизонтального зазоров. Помимо указанных трудностей существует проблема субъективности решений, принимаемых технологом, недостаточной разработанности методики проектирования, отсутствия руководящих документов, нехватки технологов по клеевой сборке.

Перечисленные обстоятельства создают предпосылки для снижения качества изделия, повышения трудоемкости и себестоимости процессов проектирования технологических процессов (ТП) и сборки. Устранению указанных недостатков способствует разработка САПР ТП сборки клеевых соединений. Применение САПР особенно актуально для ди-

зельного двигателестроения, так как производство двигателей осуществляется в условиях среднесерийного и крупносерийного производств и, следовательно, ошибки в разработке ТП приводят к большим экономическим потерям. В дизельном двигателестроении появление достаточно прочных и теплостойких анаэробных составов привело к замене таких прессовых соединений, как посадка стакана форсунки, втулки клапана и пробок в блоке цилиндров, зубчатого венца на маховике, зубчатого колеса на распределительном валу на клеевые соединения. Кроме того, прокладки, обеспечивающие герметичность плоских стыков, таких как соединение бурта гильзы и выточки в блоке цилиндров, картера и блока цилиндров, головки и блока цилиндров заменяют на жидкие анаэробные прокладки (рис. 1). При разработке методики автоматизированного проектирования на кафедре "Технология машиностроения" МГТУ им. Н.Э. Баумана решаются вопросы применения клеев с различной химической основой, использование которых диктуется эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к дизельным двигателям.

Автоматизированная система проектирования ТП сборки клеевых соединений должна решать задачи по оформлению технологической документации на операции склеивания, выдаче рекомендаций по принятию технологических решений при проектировании отдельных элементов ТП, а также по выбору сборочной оснастки. Для решения указанных задач в состав функций САПР ТП входит выбор химической основы и марки адгезива, метода механической обработки и обезжиривания поверхностей, определение способа и режимов нанесения состава, выбор средств технологического оснащения, определение режимов отверждения и сборки [4]. Работа САПР на-

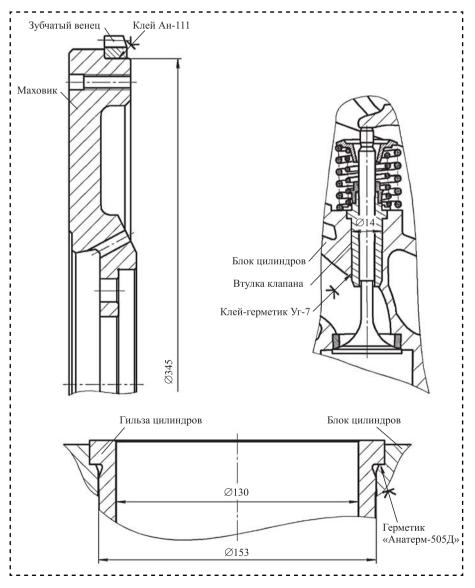


Рис. 1. Примеры клеевых соединений, применяемых в дизельном двигателе



чинается с выбора конкретного адгезива исходя из эксплуатационных требований к соединению. Одно из таких требований — возможность разборки соединения. В этом случае при использовании анаэробных составов следует различать герметики и клеи. Герметики обеспечивают разборку соединения и его герметичность. в то время как клеи отвечают за прочностные характеристики. В качестве критерия при выборе целесообразно принять прочность на сдвиг. В дизельном двигателе большинство клеевых анаэробных соединений цилиндрические, а в них возникают тангенциальные напряжения. В том случае, если прочность на сдвиг меньше 7 МПа, то состав относится к классу герметиков, в противном случае - к классу клеев. Это позволяет выбрать из общей базы анаэробных составов, именно те, которые относятся к классу клеев. С решения данной задачи начинается методика автоматизированного проектирования (рис. 2). Указанное деление определяет дальнейшее построение ТП сборки соединения с адгезивом.

Следующий этап в методике проектирования ТП — выбор марки анаэробного клея. Выбранный клей должен отвечать эксплуатационным требованиям, особенностям конструкции соединения, а также способствовать снижению трудоемкости и себестоимости сборки соединения. Важнейшее из эксплуатационных требований — способность соединения выдерживать силовые нагрузки. В случае цилиндрического клеевого соединения, исходя из величины нагрузки и площади соединения, с учетом коэффициента запаса, определяется необходимая прочность клея на сдвиг. В соединении может использоваться клей, прочность на сдвиг которого превышает рассчитанную.

Для дизельного двигателя характерна эксплуатация при воз-

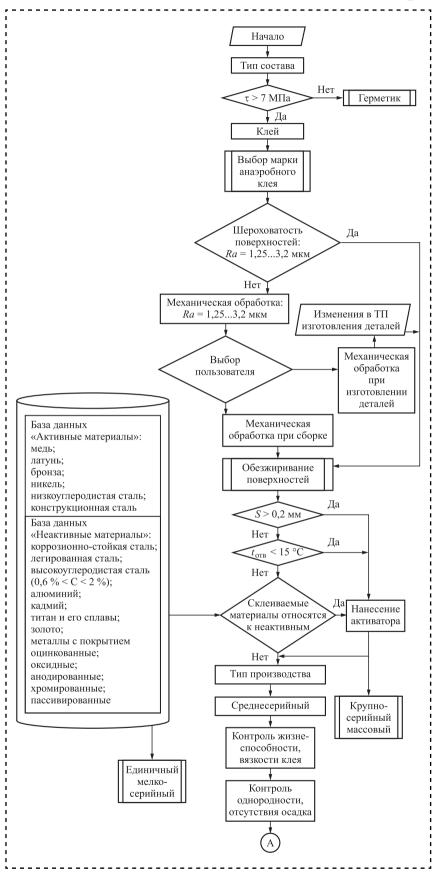


Рис. 2. Фрагмент блок-схемы по формированию этапа подготовки поверхности



действии моторного масла, дизельного топлива, которые нарушают адгезионные связи в соединении, поэтому применение клея в подобных эксплуатационных условиях требует наличия стойкости к указанным растворителям. При этом анаэробные клеи имеют различный ресурс стойкости, прочность отдельных марок способна повышаться при воздействии некоторых агрессивных сред, что необходимо учитывать при выборе. Одно из условий эксплуатации двигателя — наличие высоких температур. Для выбора клея важно знать температуру именно в клеевом соединении. Требование к клею — наличие такого диапазона допустимых температур, который включает в себя диапазон рабочих температур в соединении. В противном случае клеевое соединение может разрушиться вследствие температурного старения адгезива.

Величина зазора непосредственно влияет на выбор вязкости клея, так как несоответствие вязкости и зазора снижает прочность соединения ниже эксплуатационной. Производители клеев для каждой марки указывают максимальный радиальный зазор, при котором возможно ее использование. Пользуясь данной рекомендацией, подбирают клей с подходящей вязкостью, исходя из величины зазора. Однако выбор конкретных значений указанных параметров требует отдельного исследования, результатом которого должна стать математическая зависимость вязкости от величины зазора. На настоящий момент при подборе клея нужной вязкости пользуются рекомендациями производителя.

Требования к клею относительно прочности на сдвиг, диапазона рабочих температур, стойкости к растворителям и вязкости являются обязательными, т.е. такими, невыполнение которых приведет к выходу двигателя из строя. Однако данным требованиям могут удовлетворять несколько клеев. В таком случае предлагается использовать дополнительные критерии выбора: стоимость, время ручного и полного отверждения, ресурс стойкости к растворителям, теплопроводность. Если при производстве требуется снизить себестоимость или трудоемкость сборки клеевого соединения, то необходимо применять, соответственно, критерий себестоимости или времени отверждения. В результате можно выбрать из множества анаэробных клеев один, наиболее удовлетворяющий эксплуатационным требованиям, особенностям конструкции и условиям производства (рис. 3).

Прочность клеевого соединения в значительной степени зависит от шероховатости поверхностей. Наилучшая прочность обеспечивается при значениях параметра шероховатости Ra=1,25...3,2 мкм. Необходимость дополнительной механической обработки деталей перед склеиванием определяются сопоставлением текущего значения параметра шероховатости с рекомендуемым диапазоном. Механическая обработка может быть включена в последнюю операцию ТП изготовления детали или произведена на сборочном участке непосредственно перед склеиванием.

При разработке ТП учитывают необходимость нанесения активатора. Критериями являются материал склеиваемых деталей, величина зазора и температура окружающей среды при отверждении. Нанесение активатора требуется в случае использования пассивных металлов, температуры отверждения менее 15 °С или при зазоре более 0,2 мм. Для применения активатора достаточно наличие хотя бы одного условия.

На следующем этапе методики (рис. 4) решаются вопросы нанесения, дозирования и распределения клея. Нанесение клея возможно на одну из двух поверхностей или на две. В некоторых случаях нанесение клея на две поверхности приводит к вытеснению его большей части из зазора при сопряжении деталей, что существенно понижает прочность соединения. С другой стороны, нанесение клея только на одну поверхность иногда может быть недостаточным. Для решения данной задачи необходимо принимать во внимание величину зазора в соединении, тип посадки и способ ее получения в случае соединения с натягом. При посадке с зазором менее 0,1 мм на сторону во избежание потеков клей наносят на одну деталь. Если зазор более 0,1 мм, а также если соединение с натягом и собирается прессованием, то клей наносят на обе детали. Если соединение с натягом собирают с помощью термовоздействия, клей наносят на деталь, которую не подвергают нагреву или охлаждению. Если термовоздействие осуществляется на обе детали, то клей наносят на обе поверхности.

Дозирование и нанесение клея — весьма ответственный этап ТП сборки соединения, в котором важную роль играют применяемые для этого приспособления [5]. Критерием выбора приспособлений является требования к производительности или качеству, поэтому формируется запрос на поиск устройства в соответствующей базе данных. В случае неудачного поиска составляют заявку на проектирование устройства, которую отправляют в конструкторское бюро.



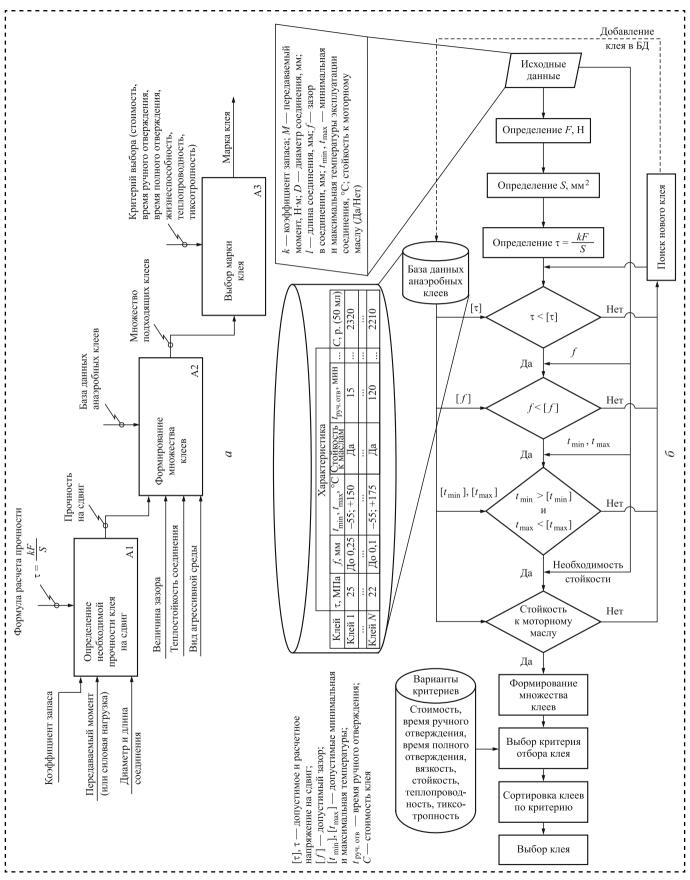


Рис. 3. Выбор марки анаэробного состава:

a — концептуальная модель модуля;  $\delta$  — блок-схема



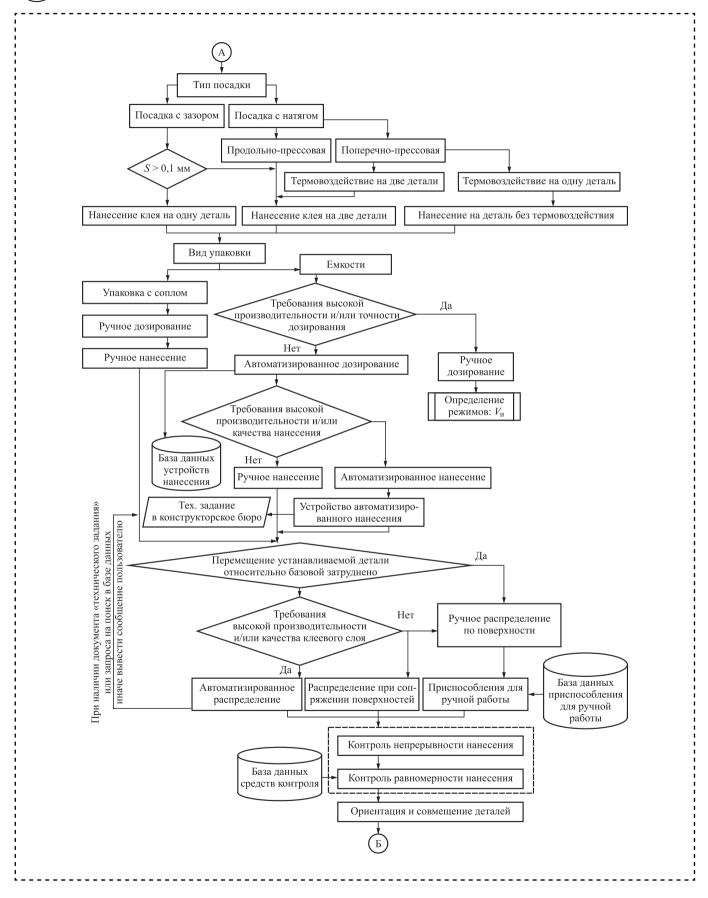


Рис. 4. Фрагмент блок-схемы по формированию этапа нанесения клея



Распределение клея по поверхности может осуществляться ручными инструментами, движением поверхностей относительно друг друга при сопряжении либо с помощью автоматизированных установок. При распределении клея необходимо обеспечить равномерный сплошной клеевой слой. В случае невыполнения данного требования в клеевом шве образуются пустоты, что существенно снизит прочность и герметичность соединения. Поэтому следует использовать дозирующие установки, конструкция которых может обеспечить ав-

томатизированное распределение клея по поверхности. Если подобной возможности нет, распределение по поверхности достаточно эффективно можно осуществить при движении поверхностей относительно друг друга в процессе сопряжения. Если такое движение затруднено в силу особенностей конструкции или массы деталей, необходимо распределить клей ручными приспособлениями, а только затем осуществлять монтаж.

На следующем этапе (рис. 5) необходимо принять решение о способе монтажа соединения.

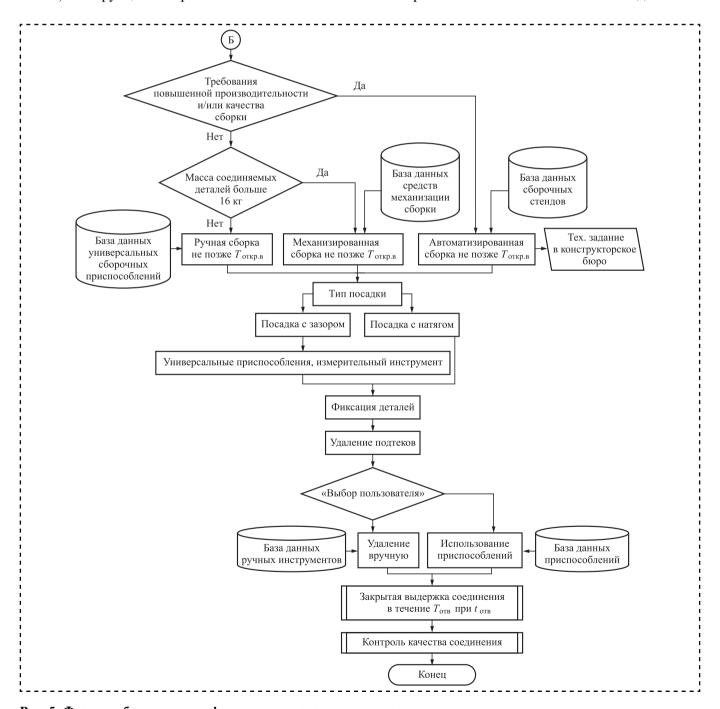


Рис. 5. Фрагмент блок-схемы по формированию этапа монтажа соединения



Сборку можно осуществить вручную, с использованием приспособлений или в автоматизированном режиме на сборочном стенде. Критерии выбора в данном случае — тип посадки (с зазором или с натягом и переходная), массы деталей, необходимость ориентации деталей и тип производства.

При переходе на клеевое соединение применяют посадку с зазором. Зазор нужен для формирования клеевого шва, а также в пределах зазора возможно изменение углового и радиального положений вала относительно охватывающей детали или других элементов конструкции в целях обеспечения требований по взаимному расположению. Например, данная особенность клеевых соединений позволяет изменить конструкцию распределительного вала двигателя и сделать его составным, в результате чего возможно изготовление вала и кулачков по отдельности с последующей клеевой сборкой. В таком случае, клеевой зазор будет использоваться для обеспечения точности взаимного расположения кулачков. Однако для сборки подобных соединений необходимо использование ориентирующих приспособлений. При наличии требований повышенной производительности и качества сборки, а также в случае соединения с натягом монтаж деталей следует проводить в автоматизированном режиме на сборочном стенде. Рекомендуется осуществлять монтаж деталей как можно раньше, чтобы не допустить перераспределение клея по поверхности и его загрязнения. Время ручного отверждения анаэробных составов составляет от 4 мин до 2 ч. В течение этого времени необходимо обеспечить неподвижность соединения с зазором. Для сокращения времени полного отверждения применяют предварительное нанесение активатора или нагрев соединения. Результат совместного воздействия указанных способов в литературе не описан. Нагрев может существенно снизить время отверждения, однако необходимо учитывать габариты склеиваемых деталей и наличие термочувствительных элементов. Если применение активатора или нагрева не уменьшило время отверждения в нужной степени, применяют промежуточное складирование склеенных деталей.

Технические требования, указываемые на чертежах, подразумевают проведение контроля. В настоящее время разработано большое количество методов и средств контроля, возможность применения которых требует отдельного анализа. Выбор того или иного метода определяется ответственностью соединения, габаритными размерами, типом производства.

#### Вывод

В результате данной работы сформулированы проблемы, возникающие на этапе технологической подготовки производства в дизельном двигателестроении и препятствующие внедрению клеевых соединений на предприятиях. В качестве решения предложено осуществить автоматизацию проектирования ТП сборки клеевых соединений. Для этого разработана методика автоматизированного проектирования ТП сборки соединений с анаэробными составами, которая представлена в виде блок-схемы. Использование данной методики позволит сформировать ТП сборки клеевого анаэробного соединения и обеспечить технолога информационной поддержкой при принятии проектных решений.

#### Библиографический список

- 1. **Тузов Л.В., Брежнев В.И.** Анализ теплонапряженности судовых дизелей // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2012. № 4 (16).
- 2. **Каталоги** продукции Loctite. [Электронный pecypc]. URL: http://loctite.gluesale.ru (дата обращения 14.05.2018).
- 3. **Игнатов А.В., Винокурова М.Э.** Исследование технологического способа повышения качества сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений // Машиностроение и компьютерные технологии. 2017. № 6. С. 42—55.
- 4. **Островский Ю.А.** Технологическое обеспечение САПР ТП сборки клеевых соединений // IV Международный Балтийский морской форум. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2016. 1648 с.
- 5. **Игнатов А.В.** Проектирование устройств нанесения клеевых композиций для сборки изделий из алюминиевых сплавов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 9. С. 14—22.

# ПИТАНИЕ СБОРОЧНЫХ ЛИНИЙ. КОМПЛЕКТАЦИЯ. СКЛАДИРОВАНИЕ. УПАКОВКА

УДК 621.798.34

**А.М. Макаров, М.П. Кухтик,** канд-ты техн. наук, **О.В. Мушкин**, **М.А. Лапиков** (Волгоградский государственный технический университет) E-mail: amm34@mail.ru

# Повышение эффективности удержания гибкого контейнера при его наполнении сыпучим материалом

Для повышения эффективности удержания гибкого контейнера при наполнении сыпучим материалом проведен обзор существующих конструкций загрузочных патрубков и выполнен структурно-функциональный анализ подобных устройств. Разработана конструкция загрузочного патрубка к расфасовочной машине, позволяющая удерживать гибкий контейнер изнутри, прижимая его к жестким пластинам. Это создает условия для полной автоматизации процесса подачи гибкого контейнера на расфасовочную позицию и повышает надежность удержания гибкого контейнера при наполнении. Выполнен расчет допустимых сил, необходимых для надежного удержания гибкого контейнера при наполнении сыпучим материалом, подтверждающий работоспособность разработанной конструкции.

The review of the existing constructions of loading spouts has been carried out and the structural and functional analysis of such devices has been carried out for efficiency increase of flexible container holding at filling with bulk material. Construction of loading spout has been developed for packaging machine. This construction allows holding flexible container from within pressing it to hard plates. It creates conditions for full automation of feed process of flexible container on packaging position and allows increasing reliability of flexible container holding at filling. Calculation of allowable efforts which are necessary for reliable holding of flexible container at filling with bulk material has been realized. This calculation verifies working capacity of developed construction.

**Ключевые слова:** расфасовка, загрузочный патрубок, гибкий контейнер, сыпучий материал, повышение надежности удержания, структурно-функциональный анализ.

**Keywords:** packaging, loading spout, flexible container, bulk material, efficiency increase of holding, structural and functional analysis.

#### Введение

Суммарный объем перевозок грузов всеми видами транспорта в России в 2016 г. составил более 10 млрд т. Среди этих грузов более 50 % — сыпучие. Важная технологическая операция по транспортировке сыпучих грузов — их расфасовка в тару. Чаще всего сыпучие грузы упаковывают в мягкую тару: "биг-бэги", гибкие контейнеры (ГК), мелкую фасовку (пакеты) и т.д. Открытые ГК из различных материалов (например, полипропилена, льняного, джутового, пенькового волокон) — сложная с точки зрения автоматического манипулирования, мягкая тара непостоянной формы,

материал которой пропускает воздух. При подготовке расфасовочного производства необходимо учитывать, что сыпучие вещества часто сильно пылящие, иногда взрывоопасны и токсичны. Поэтому данные процессы требуют полной автоматизации.

Анализ отечественной и зарубежной патентной информации, а также комплексная оценка технологического оборудования предприятий, занятых производством, хранением и переработкой сыпучих материалов (СМ) показывает, что в настоящее время практически не существует серийного, работающего в полностью автоматическом режиме устройства для рас-



фасовки СМ. Обычно неавтоматизированной остается операция подачи гибкого контейнера на фасовочную позицию.

Для полной автоматизации процесса манипулирования ГК при расфасовке разработан ряд устройств [1, 2], осуществляющих автоматическое манипулирование ГК при его наполнении. При этом захват, раскрытие и подача гибкого контейнера на позицию наполнения осуществляются с внешней [1] или внутренней [2] стороны его горловины. Предложенные устройства обладают рядом преимуществ по сравнению с аналогами и обеспечивают полный цикл манипулирования, включающий отделение ГК от стопы, его захват, открытие и подачу под загрузочный патрубок, а также закрытие и прошивку ГК для транспортировки.

Однако использование вакуумного захватного устройства (ВЗУ) [1, 3] при простоте конструкции не всегда позволяет обеспечить надежное удержание ГК при наполнении СМ. Это может быть связано с неравномерностью подачи СМ из загрузочного патрубка, высокой запыленностью рабочей зоны, материалом ГК, способным пропускать воздух и т.д. В этом случае для повышения эффективности удержания ГК при наполнении необходимо использовать дополнительные конструктивные особенности загрузочного патрубка.

Для подачи сыпучего материала в ГК (наполнения) используют дозирующее устройство [4] с загрузочным патрубком. На основании проведенного патентного обзора в табл. 1 представлены варианты конструкций загрузочных патрубков и их недостатки.

Общий недостаток описанных устройств — невозможность полной автоматизации процесса подачи ГК на позицию наполнения.

### Структурно-функциональный анализ

На основе анализа принципиальных схем загрузочных патрубков можно выделить модульный принцип их построения. В основу разработки таких устройств может быть положен структурно-функциональный подход, при котором техническую систему (ТС) можно разделить на несколько основных функциональных элементов, взаимосвязанных между собой и выполняющих определенные функции [4].

Анализа функций типовой схемы загрузочного патрубка представлен в табл. 2. Главные

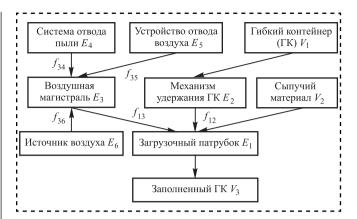


Рис. 1. Структурно-функциональная схема загрузочного патрубка с возможностью удержания ГК при его наполнении

элементы обозначены E, объекты окружения — V. Определим функции f каждого элемента системы и главную функцию F.

На основе данных табл. 2 составим структурно-функциональную схему устройства дозирования и подачи СМ в ГК (рис. 1).

Различные СМ имеют индивидуальные свойства, от которых зависит выбор элементов загрузочного патрубка. Основные свойства СМ:

химические — реакционная способность, коррозионная активность, токсичность, воспламеняемость, взрывоопасность, растворимость и др.;

физические — плотность (удельная и насыпная), форма, размер и удельная поверхность частиц, силы адгезии и когезии и т.д.;

технологические — насыпная плотность, степень сжатия, коэффициент уплотнения, сыпучесть, угол естественного откоса, влажность, коэффициент вибрационного уплотнения, гранулометрический состав и др.;

механические и реологические — определяются поведением СМ в процессе деформации и в моменты разрушения, характеризуя его упругость, пластичность и прочность.

Структурно-функциональный анализ типовых схем загрузочных патрубков позволяет выявить их недостатки и предложить усовершенствованные варианты конструкций.

#### Конструкция загрузочного патрубка

Для решения задачи автоматической загрузки СМ в ГК и повышения качества расфасовочного процесса разработана конструкция загрузочного патрубка [5].



Таблица 1

# Обзор конструкций загрузочных патрубков

Авторы, источник	А.Б. Демский "Комплексные зерно- перерабатывающие установки малой мощности"	В.Р. Азамаев А.с. № 1330015 СССР, МПК В 65 В 39/02. "Устройство для за- крепления мешков на загрузочном патрубке"	В.И. Рудяга, И.В. Ткаченко Пат. № 2025420 РФ, МПК В 65 В 67/12. "Устройство для закрепления мешков на загрузочном патру6- ке"
Недостатки	Ограниченность функциональных возможностей лишь удержанием ГК; удержание контейнера осуществляется только концами двух рычагов, т.е. в двух точках, что не обеспечивает достаточную надежность удержания	Предусмотрено лишь ручное надевание гибкого контейнера на загрузочный патрубок	Предполагает активное участие человека в технологическом цикле загрузки ГК. Необходимо вручную надеть гибкий контейнер на патрубок и нажать педаль, дожидаясь закрепления ГК. После заполнения снова нажать педаль и снять наполненный гибкий контейнер
Обозначения	I, 3— рычаги; 2— пневмоцилиндр	<ol> <li>1 — эластичная пневмокамера;</li> <li>2 — труба;</li> <li>3 — концентрические пневмокольца;</li> <li>4 — клапан;</li> <li>5 — консоль;</li> <li>6 — пружина;</li> <li>7 — металлическая кольцевая обойма;</li> <li>8 — дополнительная эластичная пневмокамера;</li> <li>9 — клапан;</li> <li>10 — клапан;</li> <li>11 — мешок</li> </ol>	<ol> <li>Л — загрузочный патрубок;</li> <li>2 — пневмокамера;</li> <li>3 — магистраль;</li> <li>4 — пневмопедаль;</li> <li>5 — петля;</li> <li>6 — консоль;</li> <li>7 — конечный выключатель;</li> <li>8 — контейнер</li> </ol>
Схема		10 олукт Запъленный воздух воздух 3 запъленный запълен	



 Таблица 2

 Анализ функций системы дозирования и подачи сыпучих материалов

Элемент		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение Описание	
$E_1$	Загрузочный патрубок	F	Наполнение ГК $V_1$ СМ $V_2$ , его удержание с помощью механизма захвата $E_2$ и выдача заполненного ГК $V_3$
$E_2$	Механизм удержания ГК	$f_{12}$	Захват и удержание ГК $V_1$ при его наполнении СМ $V_2$
$E_3$	Воздушная магистраль	$f_{13}$	Координация движения воздуха от источника питания $E_6$ к системе отвода пыли $E_4$ и устройству отвода воздуха $E_5$
$E_4$	Система отвода пыли	$f_{34}$	Отвод остатков и пыли от СМ $V_2$ с помощью воздушной магистрали $E_3$
$E_5$	Устройство отвода воздуха	$f_{35}$	Стравливание воздуха в атмосферу через воздушную магистраль $E_3$
<i>E</i> <sub>6</sub>	Источник воздуха	f <sub>26</sub>	Питание воздушное магистрали $E_3$

Загрузочный патрубок 1 состоит из двух соосно расположенных труб, наружной 2 и внутренней труб 3, образующих кольцевой канал 4, связанный с аспирационной системой. На внешней стороне наружной трубы 2 расположена охватывающая загрузочный патрубок 1 эластичная пневмокамера 5, на внешней стороне которой установлены жесткие пластины 6 с выступами 7, выполненные, например, из металла или прочной пластмассы (рис. 2).

Пневмокамера 5 соединена посредством магистрали 8 и клапана 9 с источником высокого давления, а посредством магистрали 8 и клапана 10 — с атмосферой.

Загрузочный патрубок к расфасовочной машине работает следующим образом. Гибкий контейнер 11 надевается на загрузочный патрубок 1 таким образом, чтобы верхний край его горловины находился выше эластичной пневмокамеры 5. Затем открывается клапан 9 и воздух от источника высокого давления по магистрали 8 поступает в пневмокамеру 5. При этом клапан 10 закрыт, что позволяет наполнить пневмокамеру 5, которая, расширяясь, прижимает жесткие пластины 6 с выступами 7 к горловине контейнера 11, выступы прокалывают материал гибкого контейнера 11, обеспечивая надежное его удержание.

После этого клапан 9 перекрывается и начинается наполнение гибкого контейнера сыпучим материалом. После наполнения аспирационная система удаляет запыленный воздух по кольцевому каналу 4 из гибкого

контейнера 11, клапан 10 открывается, при этом воздух из пневмокамеры 5 стравливается в атмосферу. Это позволяет извлечь выступы 7 из материала гибкого контейнера, стенки горловины которого остаются неподвижны за счет давления на них со стороны СМ,

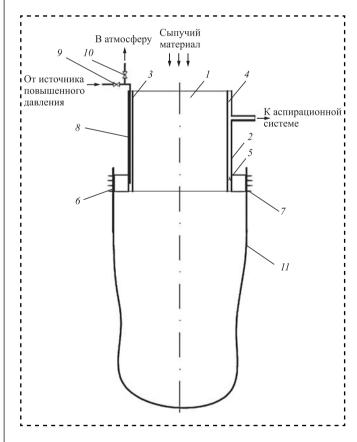


Рис. 2. Загрузочный патрубок к расфасовочной машине



и отпустить его для последующего закрытия и закупоривания.

Для обоснования работоспособности разработанного устройства необходимо оценить силы, действующие на гибкий контейнер при наполнении СМ. Рассмотрим математическую модель процесса наполнения ГК.

В процессе расфасовки основание раскрытого  $\Gamma$ К располагается на ленте транспортера, а горловина удерживается под загрузочным патрубком за счет распирающих сил T (рис. 3). Эти силы T не должны превышать максимально допустимой (разрывной) нагрузки ткани  $\Gamma$ К  $T_{\max}$  (определяется из справочных данных или  $\Gamma$ ОСТов для гибких контейнеров из различных типов ткани). В то же время они должны быть достаточными для удержания  $\Gamma$ К при наполнении, т.е. превышать  $T_{\min}$  — минимально необходимую силу для удержания гибкого контейнера.

Чтобы определить минимальную силу, необходимо знать давление со стороны СМ при его расфасовке на стенки ГК, которое можно найти с помощью методов прикладной механики. Выделим элемент ГК, удерживаемый с помощью загрузочного патрубка, при этом сечение гибкого контейнера плоскостью, параллельной плоскости чертежа и проходящей

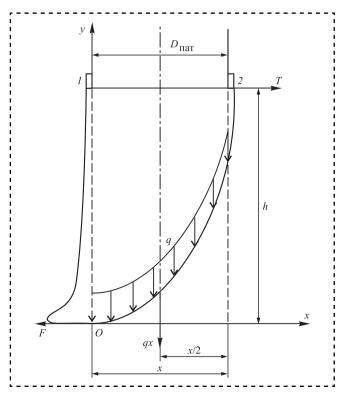


Рис. 3. Схема к расчету давления СМ на стенки ГК

через центральное продольное сечение загрузочного патрубка, будет иметь вид кривой 1-2.

Представим этот элемент ГК в виде гибкой нити постоянного сечения, вес которой распределен равномерно по ее длине. На нить действует распределенная нагрузка q в виде СМ, падающего из загрузочного патрубка в ГК. Начало координат O выберем в нижней точке провисания, в месте контакта гибкого контейнера с лентой транспортера. Положение точки O зависит от распределенной нагрузки q, соотношения между длиной нити по кривой, диаметром патрубка и от относительного положения опорных точек I и I (см. рис. I).

Равномерно распределенная нагрузка q направлена вертикально вниз, H/м:

$$q = 9.81S_{\text{nar}}\rho,\tag{1}$$

где  $S_{\text{пат}}$  — площадь сечения патрубка (определяют исходя из формы сечения патрубка, например, круг, квадрат, прямоугольник), м<sup>2</sup>;

 $\rho$  — насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

В открытом положении горловина ГК удерживаемого ВЗУ [1] имеет вид квадрата с длиной стороны B/2, где B — ширина гибкого контейнера, м. Если сечение патрубка, свободно помещаемого внутрь горловины ГК, имеет вид окружности радиуса  $r_{\text{пат}}$ , вписанной в этот квадрат, то с учетом ширины пневмокамеры  $d_{\text{к}}$  диаметр патрубка определяется формулой:

$$D_{\text{nat}} = 2r_{\text{nat}} = 2\left(\frac{B}{4} - d_{\text{K}}\right) = \frac{B}{2} - 2d_{\text{K}}.$$
 (2)

Тогда площадь сечения патрубка:

$$S_{\text{пат}} = \frac{\pi D_{\text{пат}}^2}{4} = \frac{\pi \left(\frac{B}{2} - 2d_{\text{K}}\right)^2}{4} = 0, 8\left(\frac{B}{2} - 2d_{\text{K}}\right)^2.$$
 (3)

В случае если сечение патрубка имеет вид квадрата со стороной a, то площадь сечения патрубка с учетом ширины пневмокамеры  $d_{\rm K}$  определяется по формуле:

$$S_{\text{nar}} = a^2 = \left(\frac{B}{2} - 2d_{\text{K}}\right)^2.$$
 (4)

Подставляя (3) и (4) в (1), имеем: для патрубка круглого сечения:

$$q = 7, 8 \cdot \left(\frac{B}{2} - 2d_{\rm K}\right)^2 \rho; \tag{5}$$



для патрубка квадратного сечения:

$$q = 9.81 \left(\frac{B}{2} - 2d_{\rm K}\right)^2 \rho.$$
 (6)

Воздействие расфасовываемого материала (горизонтальная сила F) направлено, ввиду того, что нить работает на растяжение, влево. Сила T, с которой действует элемент захвата на горловину  $\Gamma$ К для его удержания, также горизонтальна и направлена вправо (см. рис. 3).

Составим уравнение равновесия нити. Для этого сумму моментов всех сил относительно точки приложения силы T (точка 2 на рис. 3) приравняем нулю. При этом учтем, что равнодействующая распределенной нагрузки интенсивностью q на отрезке x будет qx, и она приложена к середине отрезка x. Тогда:

$$Fy - qx \frac{x}{2} = 0. ag{7}$$

Отсюда следует, что кривая провисания нити является параболой. Из формулы (7) находим силу F:

$$F = \frac{qx^2}{2y}. (8)$$

Сила F (горизонтальное натяжение нити) будет максимальной в точке 2. Ее величина определит минимальную необходимую силу  $T_{\min}$  для удержания гибкого контейнера в процессе его наполнения СМ. При этом  $x = D_{\max}$  (для патрубка круглого сечения) или a (для патрубка квадратного сечения), а y — высота подвеса (расстояние от загрузочного патрубка до ленты транспортера. Его можно найти из геометрических соображений:

$$v = h = L - B/2$$
, (9)

где L — длина гибкого контейнера, м.

Подставляя в формулу (8) установленные выше параметры, получим для патрубка круглого сечения:

$$T_{\min} = \frac{7.8\rho \left(\frac{B}{2} - 2d_{\rm K}\right)^4}{2L - B};$$
 (10)

для патрубка квадратного сечения:

$$T_{\min} = \frac{9.81 \rho \left(\frac{B}{2} - 2d_{K}\right)^{4}}{2L - B}.$$
 (11)

В качестве примера вычислим силы, необходимые для удержания плетеного ГК из полипропилена вместимостью 50 кг на загрузочном патрубке квадратного сечения в процессе его наполнения СМ, например сахаром. Согласно ГОСТ, разрывная нагрузка полоски ткани размером 50 на 200 мм по основе и по утку для продуктового обыкновенного ГК составляет не менее 588 H, а донного шва контейнера — не менее 294 H. Примем для полипропиленовых ГК разрывную нагрузку  $T_{\rm max} = 294$  H. Выберем стандартный контейнер с линейными размерами: длина  $L = (0.95 \pm 0.01)$  м, ширина  $B = (0.56 \pm 0.01)$  м. Ширина пневмокамеры  $d_{\rm k} = 0.03$  м.

Насыпная плотность сахара  $\rho$  зависит от его влажности и дисперсионного состава. Для влажного сахара  $\rho=800...900~{\rm Kr/m}^3$ . Для расчета примем максимально возможную насыпную плотность сахара  $\rho=900~{\rm Kr/m}^3$ . По формуле (11) находим минимальные необходимые силы для удержания  $\Gamma$ K:

$$T_{\min} = \frac{9,81 \cdot 900 \cdot \left(\frac{0,56}{2} - 0,06\right)^4}{2 \cdot 0,95 - 0,56} = 15,4 \text{ H}.$$

При использовании полученных результатов для расчета параметров пневмокамеры необходимо также учесть коэффициент запаса K=2...3; тогда силы, необходимые для удержания выбранного ГК из полипропилена при наполнении его сахаром следует выбирать в пределах  $40...294~\mathrm{H.}$ 

Давление, Па, которое необходимо создать в пневмокамерах для удержания ГК при наполнении сыпучим материалом:

$$p=\frac{F}{S}$$
.

Сечение пневмокамеры представляет собой прямоугольник высотой h и шириной  $d_{\kappa}$ . Тогда площадь касания пневмокамеры  $\Gamma$ K:

$$S=2Bh$$
.

Если высота пневмокамеры h=0.03 м, для создания силы удержания ГК T=100 Н необходимо создать давление в камере

$$p = \frac{T}{2Bh} = \frac{100}{2 \cdot 0.56 \cdot 0.03} = 3 \text{ K}\Pi \text{a}.$$



#### Выводы

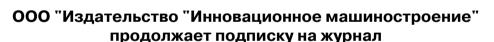
На основе структурно-функционального анализа процесса дозирования и подачи СМ через загрузочный патрубок при наполнении ГК предложена усовершенствованная конструкция устройства, которое может быть использовано для удержания ГК из различных материалов на загрузочном патрубке при их наполнении. При этом обеспечивается высокая надежность удержания ГК с помощью пневмокамеры, наполненной воздухом, жестких пластин с выступами. Кроме того, камера, расположенная по всему периметру горловины контейнера, не позволяет запыленному воздуху проникать из ГК в окружающую среду, тем самым улучшая экологическую обстановку в зоне расфасовки и снижая потери СМ. Разработанное устройство позволяет удерживать ГК изнутри, что создает условия для комплексной автоматизации процесса манипулирования ГК и всего расфасовочного процесса в целом.

#### Библиографический список

- 1. Полезная модель 155000 РФ, МПК B65B5/00, B65B7/02. Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия гибких контейнеров / А.М. Макаров, М.Г. Кристаль, А.А. Ковалев, Д.А. Сулейманов; ВолгГТУ. 2015. Бюл. № 26.

  2. Макаров А.М., Кухтик М.П., Мушкин О.В. Ис-
- 2. Макаров А.М., Кухтик М.П., Мушкин О.В. Использование твердотельного компьютерного моделирования при разработке и модернизации конструкций захватных устройств для гибких контейнеров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 8. С. 15—19.
- 3. Исследование процесса автоматического захвата воздухопроницаемых гибких контейнеров с помощью вакуума при расфасовке сыпучих материалов [Электронный ресурс] / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев, О.В. Мушкин, М.А. Лапиков // Пром-Инжиниринг: тр. III междунар. науч.-техн. конф. / отв. ред.: А.А. Радионов; Челябинск: ФГАОУ ВО "Южно-Уральский гос. ун-т", 2017. С. 212—217. Режим доступа: http://icie-rus.org/issues/ICIE-2017RU.pdf.
- 4. **Структурно-функциональный** анализ систем автоматического дозирования сыпучих материалов / О.В. Мушкин и др. // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. 2017. № 5 (200). С. 73—76.
- 5. Полезная модель 163820 РФ, МПК B65B39/08, B65B67/12. Загрузочный патрубок к расфасовочной машине / А.М. Макаров, М.А. Лапиков, А.А. Ковалев: ВолгГТУ. 2015. Бюл. 22.





## "СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

- ☑ За наличный и безналичный расчет.
- ☑ С любого номера и на любой срок.
- ☑ Без почтовых наценок.

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Колодезный пер., д. 2a, стр. 2 Тел.: 8 (495) 785-60-69

e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru



УДК 621.

**Л.Ю. Руднева**, канд. техн. наук, **А.В. Литвинчук** (Российский технологический университет (МИРЭА))

E-mail: rudnewal@list.ru

# Система управления и структуры математического обеспечения автоматизированных транспортно-складских систем машиностроительных производств

Математическое обеспечение — важнейшая цель при создании автоматизированной системы управления. Управляющие программы содержат свои целевые задачи. Рассмотрены структуры иерархических уровней автоматизированных транспортно-складских систем.

Mathematical support of the most important target when creating an automated control system. Control programs contain their target task. The considered structures of hierarchical levels of automated transport-warehouse systems.

Ключевые слова: автоматизация, математическое обеспечение, система управления.

**Keywords:** automation, mathematical provision, control system.

При создании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСЦП), в частности транспортно-складскими, одна из важнейших задач — создание для цифровых вычислительных машин (ЦВМ) специального математического обеспечения — комплекса функциональных управляющих программ. Комплекс состоит из множества достаточно автономных блоков — функциональных и стандартных подпрограмм, имеющих свою целевую задачу, собственный критерий эффективности и тесно взаимодействующих в процессе решения общей целевой задачи, автоматизации сборочных и других машиностроительных производств.

Математическое обеспечение автоматизированных транспортно-складских систем (МО ATCC) — сложная система. Существует три основных уровня классификации и изучения иерархических систем:

- описания или абстрагирования;
- сложности принимаемого решения;
- организационный.

Для их идентификации введены следующие термины: "страта", "слой", "эшелон". Укрупненное стратифицированное представление МО АТСС отображено на рис. 1, *a*. На страте 1 осуществляются физические процессы перемеще-

ния материалов и информации. Вертикальная декомпозиция разовой страты 2 позволяет сформировать несколько уровней (рис. 1, б). На нижнем уровне 2.1 располагается математическое обеспечение МО ЦВМ, на уровне 2.2 — МО АТСС. Проведя горизонтальную декомпозицию страты 2.2 (рис. 1, в), получаем следующие функциональные подсистемы: операционную подсистему (ОС), подсистему обеспечения надежности функционирования

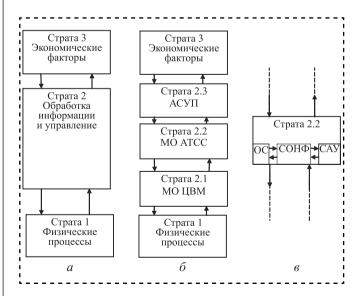


Рис. 1. Стратифицированное представление МО АТСС



(СОНФ) и подсистему административного управления (САУ). Каждая из этих подсистем может быть, в свою очередь, подвергнута вертикальной декомпозиции.

Следующее понятие иерархии относится к процессам принятия сложных решений [1]. Что касается МО АТСС, то можно предложить к рассмотрению три слоя принятия решения (рис. 2). Верхний слой принимает решение куда (откуда) добавить необходимые производству материалы. Слой 3 находится в соответствии со стратой 2.3. Решающие элементы слоя 3 определяют конкретный сборочный технологический объект управления (ТОУ), используемый для доставки необходимых материалов при сборке. На нижнем слое 1 осуществляется выбор оптимальной стратегии перемещения конкретного ТОУ.

Третье понятие классификации и изучения иерархических систем относится к их организационной характеристике. На рис. 3 приведено стратифицированное представление МО АТСС, отражающее его организационную иерархию. Так, эшелоном 1 решается задача управления конкретным ТОУ. Принимающий элемент эшелона 2 ответственен за

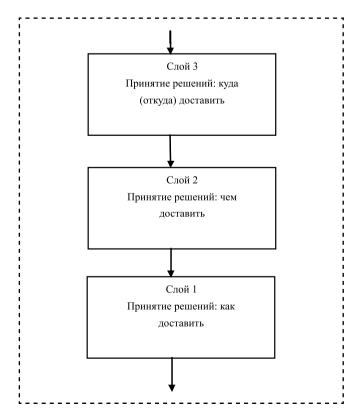
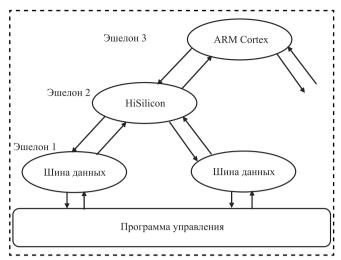


Рис. 2. Иерархия слоев принятия решений МО АТСС



**Рис. 3. Эшелонированное представление МО АТСС:** ARM — микропроцессор Cortex; Hi Silicon — процессор Huawei

управление группой ТОУ. Подсистема эшелона 3 выполняет координацию и синхронизацию всего комплекса работ по управлению технологическими и вычислительными работами.

Для полного изучения структуры иерархических многоуровневых систем необходимо ввести аспект, связанный с их конструктивным исполнением. Применительно к МО АТСС, важнейшими блоками которого являются функциональные программы-диспетчеры, такой конструктивный аспект — дисциплина обслуживания заявок, поступающих в АТСС. Анализу и изучению предлагаются различные варианты организации программдиспетчеров:

- с кольцевым обслуживанием;
- с обслуживанием заявок в порядке поступления;
- с фиксированными относительными приоритетами;
  - с динамическими приоритетами;
- с наличием или отсутствием приоритетной диспетчеризации при ограниченной буферной памяти.

#### Библиографический список

- 1. **Акимова Т.А.** Теория организации. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 367 с.
- 2. **Технологические** процессы машиностроительного производства / В.А. Кузнецов и др. М.: Форум, 2015. 528 с.

# ТРЕНИЕ И СМАЗКА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

УДК 621.892.9

В.В. Алисин, М.Н. Рощин, канд-ты техн. наук (Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН) E-mail: roschin50@yandex.ru

# Исследование трибологических свойств композиционного материала ZX-530 в условиях смазки морской водой

Рассмотрены вопросы трения различных материалов при смазывании морской водой. Изучены трибологические параметры при трении композиционного синтетического материала ZX-530 с износостойкими покрытиями  $Al_2O_3$ ,  $Cr_3C_2$ , WC и материалом BT6. В результате испытаний выявлено, что меньшую интенсивность изнашивания имеет материал ZX-530 при трении по покрытию WC.

The problems of friction for various materials in the lubricant with sea water are considered. Tribological parameters were studied for friction of composite synthetic material ZX-530 with wear-resistant coatings:  $Al_2O_3$ ,  $Cr_3C_2$ , WC and material VT6. As a result of the tests it was revealed that the material ZX-530 has a lower wear intensity at friction on the WC coating.

**Ключевые слова:** трение, износ, покрытие, интенсивность износа, твердость, шероховатость, смазка, морская вода.

**Keywords:** friction, wear, coating, wear intensity, hardness, roughness, lubricant, sea water.

#### Введение

Созданию подшипников скольжения, смазываемых водой или другими маловязкими и немаслянистыми жидкостями, за последние годы посвящено большое количество исследований. Актуальность этой проблемы определяется в первую очередь тем, что ее решение дает возможность использовать для смазки подшипников рабочую жидкость машины; это позволяет улучшить конструкцию многих механизмов. Смазка подшипников водой упрощает конструкцию и уменьшает габариты за счет устранения разделительных уплотнений и автономной системы смазки с баками, теплообменниками и пр.

Смазка водой оправдана в тех случаях, когда машина работает в водной среде (водяные насосы, опоры гребных винтов, подводный механизированный инструмент и т.д.). В отдельных случаях используют водяную смазку и на машинах общего назначения.

Применение воды, как смазки, накладывает определенные требования на использование материалов при конструировании опор скольжения. На износ образцов влияет состав воды [1]. Морская вода увеличивает коррозионную агрессивность среды. При смазке морской водой валы выполняют из закаленных коррозионно-стойких сталей или же используют коррозионно-стойкие износостойкие покрытия. В качестве вкладышей рекомендуются материалы с высокими антифрикционными свойствами: текстолит, дифлон, капрон, нейлон, фторопласты и др.

С развитием науки и технологии в последние годы разработан ряд композиционных материалов на основе фторопласта, наполненного стеклом (Ф4С15), коксом (Ф4К20), углеродными волокнами (Ф4УВ15), дисульфид молибденом, металлофторопластовые композиции (Ф4К15М5) и др. Для работы в условиях достаточно агрессивных сред разработан термопластичный композиционный синтети-



ческий материал на основе полифениленсульфида ZX-530. Этот материал не подвергается воздействию множества химических веществ и может заменить в узлах скольжения керамику и фторопласт, превосходя их значительно по характеристикам. ZX-530 также является подшипниковым материалом для работы всухую и обладает очень высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения. Применяется в качестве деталей узлов скольжения, работающих в диапазоне температур -100...+240 °C. По совокупности механических свойств материал перспективен для применения в узлах трения, смазываемых морской водой, однако его трибологические свойства в этих условиях практически не изучены.

Трибологические свойства пары трения сильно зависят от материала контртела. Последние годы трибоинженерная практика все чаще обращается к использованию в узлах трения различных покрытий композиционных высокопрочных материалов для защиты от износа и восстановления изношенных поверхностей. Это делает перспективным их применение в узлах трения механизмов (уплотнения, упорные подшипники скольжения, детали насосов для работы в гидроабразивной среде и др). При изучении влияния солевого раствора на механический износ титанового сплава Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V в сочетании с электрохимической коррозией установлено, что его коррозионная стойкость позволяет применять его в узлах трения, смазываемых морской водой, в том числе в сварных соединениях [2].

**Цель работы** — определение трибологических характеристик материала ZX-530 при трении по различным материалам в условиях смазки морской водой.

## Методика проведения эксперимента и полученные результаты

Эксперименты выполнены по схеме диск—колодка: диск  $\varnothing 50f8$  мм, шириной 12 мм и колодка длиной 18 мм, шириной 10 мм с внутренней поверхностью  $\varnothing 50H8$  мм, которая изготовлена из материала ZX-530. Диск (контртело) выполнен из стали 40X, на поверхность трения которого по технологии газотермического напыления [3] нанесены покрытия  $Al_2O_3$ ,  $Cr_3C_2$ , WC, а также образец из титанового сплава BT6 без покрытия. Смазку мор-

ской водой моделировали раствором состава: вода +3 % NaCl [1].

Испытания на износостойкость проводили на машине трения ИИ 5018. Шероховатость поверхности измеряли на профилометре модели 130 (ОАО "Завод ПРОТОН-МИЭТ", Москва). Микротвердость и механические характеристики поверхностного слоя определяли по диаграмме вдавливания алмазной пирамиды Виккерса на кинетическом микротвердомере CSM (система микроиндентирования на основе компактной платформы CSM-Instruments МНТ-Z-AE-000). Массовый износ выявляли на аналитических весах Shinko Vibra HTR-220 CE (Shinko Vibra, Япония). Испытания на трение проводили в соответствии с РД 50-662—88.

После плазменного газотермического напыления покрытий поверхности трения обработаны шлифованием. Результаты контрольных измерений шероховатости показали: параметры шероховатости 0,4...1,7 Ra и 2,1...6,1 Rz соответствуют рекомендациям по технологическому обеспечению поверхностей трения в узлах трения, работающих в морской воде (табл. 1).

Физико-механические характеристики поверхностных слоев покрытий определяли методом кинетического микроиндентирования, основанном на непрерывной регистрации параметров процесса вдавливания индентора [4]. Повышение точности и достоверности количественной оценки износостойкости покрытий для защиты от износа деталей узлов трения связано с уточнением значений параметров, характеризующих механические свойства поверхностных слоев, которые могут существенно отличаться от свойств материалов основы (табл. 2). Для оценки механических свойств покрытий практический интерес представляют следующие характеристики: E — модуль упругости;  $W_{\text{обш}}$  — общая работа, затрачиваемая на вдавливание индентора;  $W_{\text{пл}}$  — работа, затраченная на пластическую деформацию;  $K_p$  — коэффициент необратимых деформаций.

Методика исследования трибологических свойств композиционных износостойких покрытий базируется на современных представлениях о взаимодействии поверхностей при трении, в основу которых положены модель дискретного контакта твердых тел и гипотеза



Таблица 1
Параметры шероховатости образцов до испытания

Материал образца	Ra	Rz
$Al_2O_3$	0,492	3,47
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	0,386	2,13
WC	0,361	2,64
ВТ6 без покрытия	0,491	3,44
ZX-530	1,64	6,13

о двойственной адгезионно-деформационной природе внешнего трения.

Схема пары трения диск—колодка приведена на рис. 1. Нижняя часть диска постоянно находилась в ванне со смазкой. Скорость испытаний — 1,0 и 1,7 м/с; нагрузка — 0,5 и 0,4 МПа соответственно; время — 240 мин. В результате испытаний проводили запись момента трения в течение всего времени испытаний и измеряли температуру пирометром Sight MS Pro периодически через 15 мин.

Принцип действия машины заключается в истирании пары образцов, прижатых друг к другу силой *P*. В процессе работы на нижнем образце измеряют момент трения. На рис. 2 приведен общий вид узла трения.

В качестве критерия износостойкости принята интенсивность изнашивания

$$I = h/L$$

где h — величина изношенного слоя за путь трения L.

Так как в эксперименте определяли потерю массы в результате износа, то пересчет

Таблица 2 Результаты дюрометрических исследований образцов

Материал образца	<i>E</i> , ГПа	НV, МПа	<i>W</i> <sub>общ</sub> , мкДж	<i>W</i> <sub>пл</sub> , мкДж	$K_p$
$Al_2O_3$	120	6580	1,03	0,60	0,58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	181	11 340	0,84	0,49	0,58
WC	306	17 510	0,66	0,38	0,57
BT6	118	4290	1,26	0,96	0,76
ZX-530	5,47	273	1,88	1,25	0,66

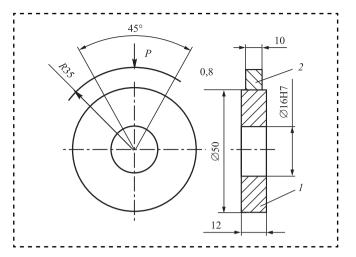


Рис. 1. Схема испытаний:

1 - диск; 2 - колодка

ее на величину изношенного слоя проводили по следующим формулам. Для образцов с газотермическим покрытием за период испытаний

$$I_1 = h_1/L = \Delta q_1/(\rho_1 v t_{\text{H}} b \pi d) = \Delta q_1/(\rho_1 v t_{\text{H}} A_a),$$

где  $h_1$  — изношенный слой диска за время  $t_{\rm u}$ ;  $t_{\rm u}$  — время испытаний;

 $\Delta q_1$  — потеря массы диска за время  $t_{\rm w}$ ;

L — путь трения скольжения для всех точек поверхности трения диска за время  $t_{\rm u}$ ,  $L = {\rm v}t_{\rm u} \;\pi d;$ 

b — размер образца в направлении, перпендикулярном относительному перемещению,

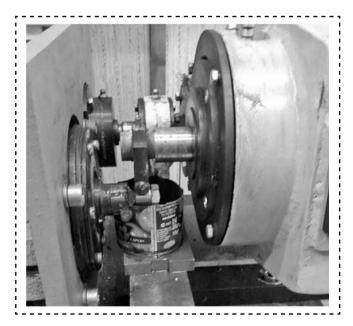


Рис. 2. Консольное крепление образцов на машине трения



определяющий номинальную площадь контакта пары;

d — диаметр образца;

 $A_a$  — номинальная площадь контакта пары (рабочая площадь диска),  $A_a = \pi db$ ;

 $ho_1$  — плотность материала диска.

Для образцов колодки за период испытаний интенсивность изнашивания составляет

$$I_2 = \Delta q_2/(\rho_2 v t_{\rm M} b l_{\rm K}),$$

где  $\Delta q_2$  — потеря массы колодки за время  $t_{\rm u}$ ;

 $\rho_2$  — плотность материала колодки;

 $l_{\scriptscriptstyle 
m K}$  — длина колодки.

При обработке результатов испытаний определяли интенсивности изнашивания каждого из образцов пары и среднюю для трех испытанных пар. Антифрикционные свойства пар трения оценивали по коэффициенту трения и интенсивности износа пар образец—диск (табл. 3) и образец—колодка (рис. 3).

При скорости испытаний 1,0 и 1,7 м/с и нагрузке 0,5 и 0,4 МПа пары трения ZX-530 с покрытием WC фрикционные свойства лучше, чем с покрытиями  $Cr_3C_2$  и  $Al_2O_3$ , коэффициент трения составляет 0,2141 и 0,2623 соответственно. Покрытие на основе соединений хрома ( $Cr_3C_2$ ) отличается повышенной кор-

Таблица 3 Результаты трибологических испытаний образцов при смазке морской водой

Мате- риал диска	Ско- рость, м/с	Дав- ление, МПа	Коэф- фициент трения	Интенсивность износа диска
41.0	1,0	0,5	0,2566	4,076 • 10 - 10
$Al_2O_3$	1,7	0,4	0,3433	5,401·10 <sup>-11</sup>
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1,0	0,5	0,3428	8,133 • 10 <sup>-11</sup>
	1,7	0,4	0,2757	3,974 • 10 <sup>-11</sup>
WC	1,0	0,5	0,2141	1,19 · 10 <sup>-11</sup>
WC	1,7	0,4	0,2623	8,999 • 10 <sup>-12</sup>
BT6	1,0	0,5	0,3736	3,12:10 <sup>-10</sup>
	1,7	0,4	0,2579	7,455·10 <sup>-10</sup>
Примечание. Материал колодки — ZX-530.				

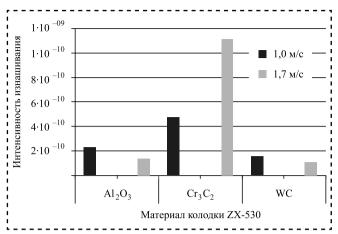


Рис. 3. Интенсивность изнашивания колодки ZX-530 при скоростях 1,0 и 1,7 м/с и нагрузке 0,5 и 0,4 МПа соответственно

розионной стойкостью в морской воде, лучше обрабатывается шлифованием и работает очень стабильно. В работе [5] отмечается близкий результат по стабильности работы при трении в морской воде по покрытию на основе хрома. Износостойкость титанового сплава значительно уступает покрытию карбидом хрома.

При испытании материала ZX-530 при скорости 1,0 и 1,7 м/с низкая интенсивность износа колодки обнаружена при трении в паре с  $Al_2O_3$  и WC.

#### Выводы

- 1. В условиях работы пары трения в морской воде при всех других равных условиях меньшую интенсивность изнашивания имеет материал ZX-530 при трении по покрытию WC.
- 2. Наиболее высокой износостойкостью контртела обладает покрытие карбида вольфрама, что объясняется его высокой твердостью.
- 3. После испытаний визуально фиксировали царапание рабочей поверхности колодки, что говорит о значительном влиянии шероховатости диска. Пары трения при смазке водой должны иметь более высокий параметр шероховатости поверхности. Поверхности с покрытиями карбидов и оксидов после шлифовки должны подвергаться тонкой полировке для сглаживания вершин шероховатости.
- 4. Полученные результаты позволяют рекомендовать для повышения ресурса рабо-



ты дейдвудных подшипников морских судов вкладыши изготавливать из композиционного полимерного композита ZX-530, а шейки гребных валов упрочнять нанесением плазменных газотермических покрытий WC.

#### Библиографический список

- 1. **Experimental** study on wear behaviors of TBM disc cutter ring under drying, water and seawater conditions / Xuhui Zhang, Yimin Xia, Yichao Zhang et al. // Wear. 2017. Vol. 392—393. P. 109—117.
- 2. **Davoren B., Ferg E.E., Hattingh D.** Tribocorrosion of friction-stir-welded  $Ti_6Al_4V$  in 3.5 % NaCl aqueous solution // Wear 2017. Vol. 390—391. P. 246—252.
- 3. Алисин В.В., Рощин М.Н., Владиславлев А.А. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой // Перспективные материалы и технологии. Нанокомпозиты: под. ред. А.А. Берлина и И.Г. Ассовского. Сер. Т.2. Космический вызов XXI века. М.: Торус Пресс, 2005. С. 59—68.
- 4. **Исследование** механических свойств кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония методом кинетического микроиндентирования / В.В. Алисин и др. // Неорганические материалы. 2015. Т. 51. № 6. С. 1—5.
- 5. **Tribocorrosion** behaviors of PVD CrN coated stainless steel in seawater / Lei Shan et al. //Wear. 2016. Vol. 362–363. P. 97–104.





УДК 621.91.02(076)

**М.Ш. Мигранов**, д-р техн. наук, **А.М. Мигранов**, **Р.Г. Нигматуллин**, д-р техн. наук (Уфимский государственный авиационный технический университет) E-mail: migmars@mail.ru

# Износостойкость узлов трения винтового компрессора

Экспериментально исследовано влияние внешних факторов (температуры и влажности воздуха, поступающего в приемное устройство компрессора) на износ узлов трения винтового компрессора на основе анализа физико-химического состояния смазочного материала при его эксплуатации в режиме реального времени. Показано, что путем планомерного изменения температуры окружающего воздуха и его влажности можно добиться значительного уменьшения износа трущихся поверхностей деталей машин.

The influence of external factors (temperature and humidity of the air coming to the compressor intake) on wear of frictional units of the screw compressor by use of a multimaslotestr on the basis of the analysis of a physical and chemical condition of lubricant at his operation in the real mode of time are presented. It is shown that with a systematic change in the temperature of the ambient air and its humidity, it is possible to achieve significant wear on the friction surfaces of machine parts.

Ключевые слова: эффективность, износ, трение, анализ масла, температура, влажность воздуха, затраты.

**Keywords:** efficiency, wear, friction, oil analysis, temperature, humidity of air, expense.

**В** настоящее время для повышения эффективности промышленного производства находит все большее применение высокопроизводительное и дорогостоящее технологическое оборудование, в котором наиболее слабым звеном с точки зрения работоспособности и надежности являются узлы и детали тяжело-

нагруженных трибосопряжений, работающие как при существенно различных температурных (перепад более 100...120 °C), так и климатических условиях (высокая влажность, наличие абразивов и других химических элементов в атмосфере). Анализ периодичности отказов работы узлов трения показал, что затраты на их



восстановление достигают 9...20 % стоимости всего оборудования без учета существенных потерь дохода (прибыли) предприятия от простоя.

Смазочный материал — уникальный источник информации о технике, в которой он работает [1-4]. По анализу смазочного материала можно на ранней стадии обнаружить изменения в режиме работы оборудования при эксплуатации и установить внутренние дефекты. К смазочному материалу — жидкой детали любой маслонаполненной техники в соответствии с ГОСТ 27.002—2015, как и к другим деталям, применимы понятия надежности и работоспособности. Несоответствие характеристик смазочного материала стандартам может привести к выходу оборудования из строя. Вместе с тем изучение воздействия внешних факторов, таких как температура окружающего воздуха, влажность воздуха, рабочая температура смазочного материала и других факторов на износ деталей тяжелонагруженных узлов трения — актуальная задача, как с научных позиций, так и практического применения [5-8].

Исследование технического состояния компрессора основывается на изучении скорости износа узлов трения по продуктам износа, накапливаемым в работающих маслах, смазывающе-охлаждающих жидкостях, консистентных смазках, датчиком скорости износа, работающим на основе электромагнитных колебаний [1—3].

Цель работы — оценить влияние внешних факторов на износ узлов трения винтового компрессора на основе анализа физико-химического состояния применяемого смазочного материала.

Диагностику технического состояния винтового компрессора осуществляли разработанным устройством — мультимаслотестером (рис. 1).

Основное устройство (датчик), работающее на электромагнитных колебаниях, устанавливается непосредственно в маслобак либо через заливную горловину, либо в сливной болт. Необходимые сигналы от датчика поступают во входное устройство ЭВМ, где в совокупности с другой технической информацией происходит анализ химического состава масла.

Выполнив все необходимые замеры на работающем компрессоре Atlas Copco, строим график зависимости количества частиц из-

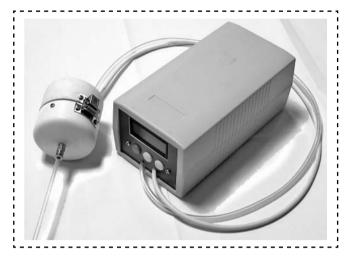


Рис. 1. Общий вид мультимаслотестера

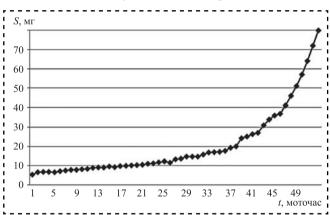


Рис. 2. Зависимость количества частиц износа S от времени работы t

носа деталей компрессора от времени замеров (рис. 2). Основной график зависимости количества частиц износа деталей компрессора от моторесурса приведен на рис. 3.

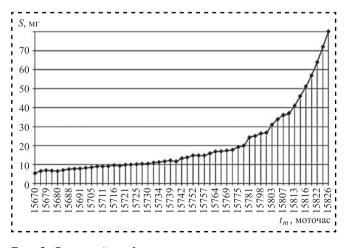


Рис. 3. Основной график зависимости количества частиц износа S от моторесурса  $t_m$ 



В ходе исследований контролировали содержание воды в работающем масле. Так, при  $15\,781$  моточасах она составляла  $0,2\,\%$ , а при  $15\,813$  моточасах —  $0,3\,\%$ .

Экспериментальные исследования проводили при температурах воздуха 8...30 °C, поступающего в приемное устройство компрессора и влажности окружающей среды 35...92 %.

Как видно из графика зависимости количества частиц износа от числа замеров при различных температурах приемного воздуха компрессора, представленного на рис. 4, с понижением температуры воздуха немного замедляется рост количества частиц в масле (замеры 1—2 и 4—5). При неизменности температуры воздуха количество частиц износа резко возрастает (замеры 5—6). При резком повышении температуры приемного воздуха — рост количества частиц в масле опять замедляется (замеры 6—7 и 7—8).

Исходя из этого можно предположить, что температура сжимаемого воздуха значительно влияет на содержание частиц в эксплуатируемом масле. Очевидно, это связано с воздействием температуры воздуха на работающие трущиеся детали рабочего механизма компрессора. Любое изменение температуры воздуха, будь то ее повышение либо снижение, — влияет на уменьшение содержания частиц в масле. А при постоянстве температуры — скорость износа значительно возрастает.

Ориентировочно можно судить о скорости износа  $v_S$  по следующей интегральной зависимости общего вида:

$$S = \int_{a}^{b} F(T) dT,$$

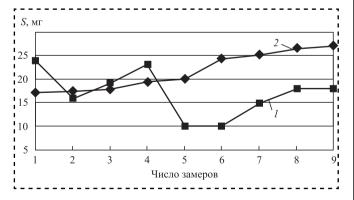
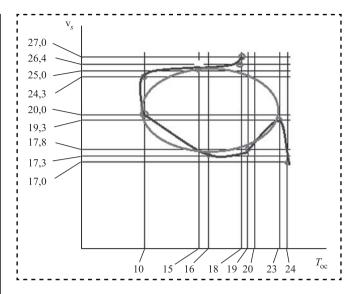


Рис. 4. Зависимость количества частиц износа от числа замеров:

$$1 - T_{\text{oc}} = \text{const}$$
;  $2 - T_{\text{oc}} = \text{var}$ 



**Рис. 5.** Зависимость скорости износа от температуры воздуха

где S — содержание частиц износа, мг; F(T) — зависимость скорости износа от температуры воздуха (рис. 5).

Если предположить, что зависимость F(T) представляет собой замкнутый эллипс, то можно определить конкретную математическую зависимость скорости износа от температуры окружающего воздуха:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1;$$

$$\frac{T_{\text{oc}}^2}{14^2} + \frac{v_S^2}{5^2} = 1;$$

$$v_S = 5\sqrt{1 - \frac{T_{\text{oc}}^2}{196}}.$$

В конечном итоге интегральная формула зависимости количества частиц от температуры окружающей среды будет иметь следующий вид:

$$S = 5 \int_{T_1}^{T_2} \sqrt{1 - \frac{T_{\rm oc}^2}{196}} dT,$$

где  $T_{1,2}$  — температура окружающей среды на начало и конец замеров.

Зависимость содержания частиц износа деталей в масле от влажности окружающего воздуха (поступающего в приемное устройство компрессора воздуха на сжатие) имеет следующий вид:

$$S = f(\varphi)$$
,

где S — общее количество частиц износа в масле, мг;

ф — влажность приемного воздуха, %.



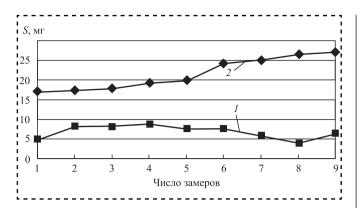


Рис. 6. Зависимость количества частиц износа от числа замеров при различной влажности воздуха:

$$1 - \varphi = \text{var}$$
;  $2 - \varphi = \text{const}$ 

Анализируя график зависимости на рис. 6, можно сделать следующие выводы:

- 1. При повышении влажности сжимаемого воздуха, скорость увеличения количества частиц износа замедляется (замеры 1—2 и 8—9).
- 2. При постоянстве влажности воздуха, скорость увеличения числа частиц износа в масле значительно возрастает (замер 5-6).
- 3. При понижении влажности скорость роста количества частиц износа также снижается (замеры 4-5, 6-7 и 7-8).

Следовательно, влажность отбираемого компрессором воздуха влияет на количество изношенных частиц металла в работающем

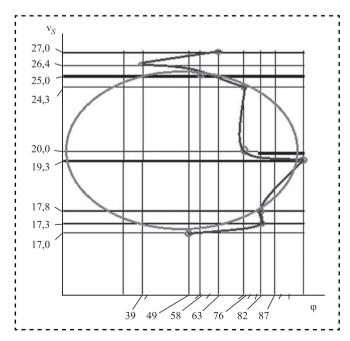


Рис. 7. Зависимость скорости износа от влажности окружающей среды

масле. При постоянстве влажности износу частиц ничто не мешает, и в процессах трения создаются некие благоприятные условия для увеличения износа деталей машин. Ничего этому устоявшемуся процессу не мешает. При изменениях же влажности воздуха (увеличение или снижение) — вероятно в трибологических процессах происходят какие-то химические либо физические явления, препятствующие износу трущихся деталей.

Данное предположение можно оценить с помощью следующей зависимости общего вида:

$$S = \int_{a}^{b} F(\varphi) d\varphi,$$

где  $F(\varphi)$  — зависимость скорости изношенных частиц от влажности приемного воздуха (рис. 7).

Опираясь на график рис. 7, можно установить математическую зависимость скорости износа частиц от влажности воздуха:

$$(x-a)^{2} + (y-b)^{2} = R^{2};$$
  

$$(\varphi - 40)^{2} + (v_{S} - 21, 5)^{2} = 30, 14^{2};$$
  

$$v_{S} = \sqrt{30, 14^{2} - (\varphi - 40)^{2} + 21, 5}.$$

Таким образом, интегральная формула зависимости количества частиц износа от влажности окружающей среды имеет вид:

$$S = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left[ \sqrt{30,14^2 - (\varphi - 40)^2} + 21,5 \right] d\varphi,$$

где  $\varphi_{1,\ 2}$  — влажность окружающей среды на начало и конец замеров.

Полученные зависимости дают возможность для обширных исследований не только на производстве, но и непосредственно на заводе-изготовителе при изготовлении оборудования, мехатронных станочных систем, агрегатов и их комплектующих.

#### Заключение

Из рис. 3 видно, что скорость износа резко увеличилась при 15 781 моточасах и при 15 813 моточасах. Анализ содержания воды в компрессорном масле за эти моточасы 0,2



и 0,3 % соответственно. Присутствующая в масле вода резко понизила работоспособность масла из-за гидролиза содержащихся присадок. Также обнаружено, что воздействие таких внешних факторов, как температура и влажность окружающего воздуха, значительно влияет на износ оборудования в целом. Установив эти закономерности, можно в конечном итоге устранять не "паразитические" процессы трения, возникающие в оборудовании, а планомерным изменением температуры окружающего воздуха и его влажности значительно уменьшить износ трущихся поверхностей деталей машин.

Контроль скорости износа узлов трения оборудования позволяет на ранней стадии выявить и устранить причины повышенного износа. Это в конечном итоге скажется на уменьшении стоимости технического обслуживания оборудования и эффективном снижении себестоимости выпускаемой данным оборудованием конечной продукции.

#### Библиографический список

- 1. **Топлива,** смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочное издание: / К.Н. Будыштова и др.; под ред. В.М. Школьникова. М.: Химия. 1989. С. 108 139.
- 2. Салахов Т.З., Мигранов М.Ш., Нигматуллин Р.Г. Экономический расчет эффективности внедрения системы анализа технических масел в производство // КШП ОМД. 2017. № 7. С. 38—41.
- 3. **Zadorognaya E., Levanov I., Oskina O.** Study of HTHS viscosity of modern motor oils // Procedia Engineering. 2016. 150. P. 602—606.
- 4. Мигранов М.Ш., Криони Н.К., Шустер Л.Ш. Смазки и их применение в машинах и при формообразовании поверхностей в мехатронных станочных системах. М.: Изд-во МАИ, 2004. 173 с.
- 5. Гаевик Д.Т. Справочник смазчика. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
- 6. Зозуля В.Д., Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Браун Э.Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. Киев: Наукова думка. 1990. 258 с.
- 7. **Латышев В.Н.** Трибология резания. Кн. 2: Принципы создания эффективных СОТС. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2009. 156 с.
- 8. **Справочник** по триботехнике. В 3 т. Т. 2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.





# Читайте в следующем номере:

**Сорокин М.Н.** Решение трехпараметрической задачи комплектования при произвольных законах распределения сопрягаемых параметров (часть 3)

**Железникова О.Е., Синицына Л.В., Микаева С.А.** Сборка установки на основе интегрирующей сферы и спектрорадиометра для световых измерений

**Буяновский И.А.**, **Левченко В.А.**, **Большаков А.Н.**, **Самусенко В.Д.** Исследование структуры и антифрикционных свойств молибденсодержащего углеродного покрытия при граничной смазке

**Крыхтин Ю.И., Карлов В.И.** Разработка главных фрикционов с металлокерамическими дисками с новыми материалами трения в трансмиссиях гусеничных машин и математической модели нагружения фрикционного материала

Курапов П.А. Оценка трения в контакте шероховатых тел

Мигранов М.Ш., Мигранов А.М. Оценка износостойкости режущего инструмента с покрытиями



УДК 629.423, 621.891

**E.A. Чеботарев, П.В. Губарев, Н.Р. Тептиков, О.Л. Игнатьев,** канд-ты техн. наук (Ростовский государственный университет путей сообщения) E-mail: gdv\_cmko@rgups.ru

# Проблемы скоростного движения поездов на Северо-Кавказской железной дороге

Рассмотрены две проблемы скоростного движения поездов: влияние радиуса кривых участков пути на допустимую скорость движения с учетом критериев безопасности и износ гребней колесных пар поездов в условиях скоростного движения. Определено, что на магистральных путях Северо-Кавказской железной дороги имеются кривые участки с радиусом до 350 м, что вызывает ограничение скорости движения поездов. Анализ критериев безопасности движения показал, что одним из основных является критерий по центростремительному ускорению, поэтому во избежание опрокидывания, а также для увеличения скорости движения поездов в кривых участках пути желательно использовать подвижной состав с наклоняющимся кузовом (на примере испанских высокоскоростных поездов Talgo). Предложен способ снижения повышенного износа гребней колесных пар поездов в условиях скоростного движения. Описано разработанное устройство для смазывания гребня колеса подвижного состава, обеспечивающее поступление твердого смазочного материала к взаимодействующим поверхностям и автоматическое поддержание свойств смазочной среды в условиях скоростного о высокоскоростного движения подвижного состава.

The article deals with two problems: the influence of the radius of the curve sections of the path on the permissible speed, taking into account the safety criteria and wear ridges wheel pairs of trains in high-speed traffic. To consider the first problem, the authors determined that on the main tracks of the North-Caucasian railway there are curved sections with a radius of up to 350 m, which causes a restriction on the speed of trains. The analysis of traffic safety criteria showed that one of the main criteria is centripetal acceleration, so in order to avoid tipping over, as well as to increase the speed of trains in the curved sections of the path, it is desirable to use a rolling stock with a tipping body (for example, Spanish high-speed trains Talgo). Having considered the second problem, the authors propose a way to reduce the increased wear and tear of ridges of wheeled pairs of trains in high-speed traffic. The developed device for lubrication of the wheel crest of the rolling stock is described, which ensures the receipt of solid lubricant to the interacting surfaces and automatic maintenance of the lubricant properties in conditions of high-speed movement of the rolling stock.

**Ключевые слова:** скоростное движение, радиус кривых участков, допустимая скорость, критерий безопасности движения, твердые смазочные материалы, интенсивность изнашивания бандажей колесных пар.

**Keywords:** speed traffic, radius of curves plots, speed limit, criterion of traffic safety, solid lubricants, wear rate of wheel pair treads.

Развитие скоростного и высокоскоростного сообщений на железных дорогах Российской Федерации относится к приоритетным проектам национального масштаба, результаты которых предопределяют историческое развитие государства, а создание разветвленной инфраструктуры скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта — залог успеха страны в будущем. Мировой опыт строительства и эксплуатации скоростных и высокоскоростных магистралей в странах Европы и Азии свидетельствует о том, что реализация таких проектов создает основу динамично-

го роста экономики страны и повышают ее устойчивость к воздействию внешних факторов. Экономика и благосостояние общества в Российской Федерации тесно связаны с развитием сети железных дорог, где одно из ключевых направлений — расширение полигона скоростных и высокоскоростных перевозок между крупнейшими агломерациями страны.

Скоростные и высокоскоростные железнодорожные сообщения представляют собой сложный технический комплекс, включающий как технические элементы (инфраструктура, подвижной состав, системы управле-



ния), так и технологические приемы (организация эксплуатации, обслуживания систем и устройств), а также компоненты, позволяющие решать финансовые, коммерческие, экологические, социальные и управленческие задачи с учетом человеческого фактора.

В связи с проведением чемпионата мира по футболу в 2018 г. введено скоростное движение пассажирских поездов на направлении Москва — Сочи. Движение со скоростями до 160...200 км/ч в 2 раза сократит время нахождения в пути [1, 2]. Для создания оптимальной модели скоростного движения поездов было решено модернизировать существующую магистраль, совместив на ней грузовое и пассажирское движение. Введение скоростного движения поездов осложнялось и тем, что более 500 кривых участков пути Северо-Кавказской железной дороги, радиус которых не превышает 350 м, имеют общую протяженность 164 км.

В статье рассмотрено влияние радиуса кривых участков пути на допустимую скорость движения с учетом критериев безопасности и повышение интенсивности изнашивания бандажей колесных пар поездов в условиях скоростного железнодорожного движения.

При движении экипажной части подвижного состава в кривой на него действуют силы, показанные на рис. 1.

В установившемся режиме движения в кривой радиуса R могут возникать неприятные ощущения у людей, вызванные центростремительным ускорением  $a_{\rm uc} = {\rm v}^2/R$ . Для компенсации центробежной силы наружный рельс в кривой укладывают выше внутреннего на величину возвышения h. За счет этого возникает горизонтальная составляющая веса, равная  $mg \sin \alpha = mgh/2S$  и направленная против центробежной силы. Следовательно, непогашенная центробежная сила определяется как разность:

$$F_{\rm HII} = F_{\rm II} - mg \frac{h}{2S} = m \left( \frac{v^2}{R} - \frac{gh}{2S} \right).$$

Множитель, стоящий в скобках в этом выражении, в соответствии со вторым законом механики представляет собой непогашенное центростремительное ускорение

$$a_{\rm HII} = \frac{V^2}{R} - \frac{gh}{2S}.$$

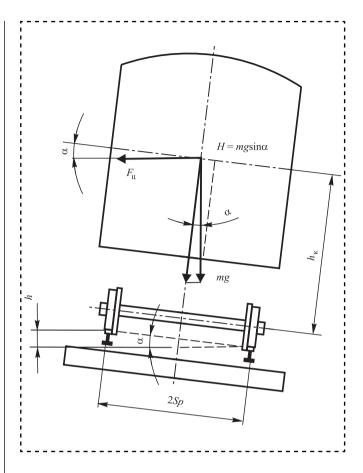


Рис. 1. Поперечные силы, действующие на локомотив при движении в кривой:

mg — вес экипажа;  $F_{\rm u}$  — центробежная сила в кривой радиуса R; 2Sp — ширина колеи; h — возвышение наружного рельса;  $\alpha$  — угол наклона кузова; H — горизонтальная составляющая веса, направленная внутрь кривой,  $H=mg\sin\alpha$ 

Причина его существования заключается в том, что максимально допустимое возвышение на дорогах нашей страны принято равным 150 мм и обычно компенсирует только часть центробежной силы. Допустимым на отечественных дорогах считают непогашенное ускорение, вызывающее неприятные ощущения у людей,  $a_{\rm H}=0.7~{\rm M/c^2}.$  В других странах нормируемое значение ускорения установлено, например, в Японии, Италии —  $0.8~{\rm M/c^2}$ , во Франции —  $1~{\rm M/c^2}$ , в Германии —  $0.85~{\rm M/c^2}$  [3, 4]. Определим максимальную допустимую скорость движения в кривых по непогашенному центростремительному ускорению при условии:  $h=0.15~{\rm M}, a_{\rm H}=0.7~{\rm M/c^2}, 2S=1.6~{\rm M}$ :

$$v_{\text{max}} = 3, 6\sqrt{R\left(0, 7 + \frac{9,81 \cdot 0,15}{1,6}\right)} = 4, 6\sqrt{R}.$$



При скоростном движении для максимальной скорости 200 км/ч, в соответствии с полученным выражением, радиус кривой должен быть не менее 2000 м. Для существующих же кривых радиуса 350 м скорость движения не должна превышать 86 км/ч. Помимо названного критерия безопасности движения, определяемого центростремительным ускорением, существуют и другие критерии.

По результатам работ И.И. Челнокова применяется критерий ограничения скорости движения по вкатыванию колеса на рельс. Киносъемка движущихся бандажей колесных пар локомотива по рельсам показала, что имеют место небольшие подъемы колеса над головкой рельса в течение малых промежутков времени как на кривом, так и на прямом участке пути. Основное условие безопасности — исключение соскальзывания гребня бандажа вниз [5—7].

Согласно критерию Надаля опасность схода колеса с рельса отсутствует при выполнении неравенства:

$$\frac{Y}{P} \leq [K_{\text{BK}}],$$

где Y— горизонтальная поперечная сила; P— вертикальная сила;

 $[K_{\rm BK}]$  — допустимый коэффициент устойчивости по выкатыванию колеса на рельс:

$$[K_{\rm BK}] = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta},$$

где  $\mu$  — коэффициент трения колеса о рельс,  $\mu = 0.25$ ;

 $\beta$  — угол между образующей конической частью гребня и горизонталью.

В статическом состоянии колесной пары для электровоза при  $\alpha=70^\circ$  и  $\mu=0.25$  коэффициент устойчивости составляет 1,48. При времени действия бокового давления колесной пары  $t\geqslant 0.05$  с рекомендуется ужесточить условия вкатывания, принимая  $[K_{\rm BK}]=0.8$ . С учетом рекомендаций М.А. Чернышова [5] принимаем следующую формулу для определения зависимости максимальной скорости движения от радиуса кривой:

$$v_{\text{max}} = 8,25\sqrt{R}.$$

В перспективе на маршруте Москва — Сочи планируется эксплуатация испанских высо-

коскоростных поездов Talgo, вагоны которых имеют устройства для наклона кузова при прохождении кривых.

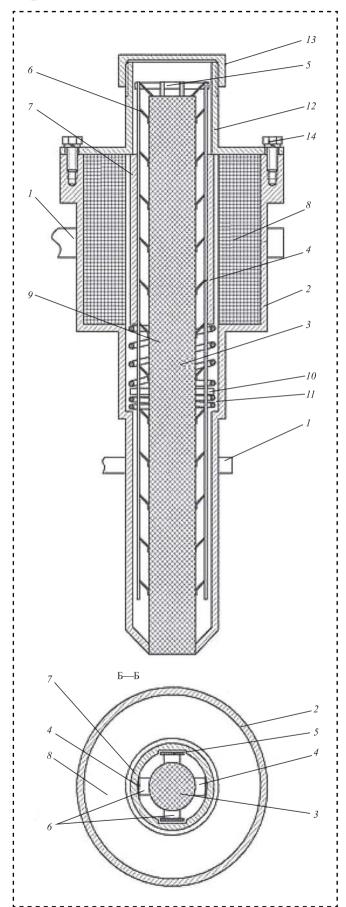
Еще одна актуальная проблема скоростного железнодорожного транспорта — повышенный износ гребней колесных пар подвижного состава [8—11].

Одно из наиболее эффективных решений данной проблемы — использование технических средств лубрикации, обеспечивающих снижение интенсивности изнашивания колес подвижного состава. Из всего многообразия устройств смазывания и смазочных материалов, применяющихся для смазывания контактных поверхностей колес и рельсов, наиболее приемлемы бортовые гребнесмазыватели, использующие смазочные материалы в форме блока, стержня, брикета и реализующие контактный способ подачи твердого смазочного материала, который сводит к нулю вероятность попадания смазочного материала в зону действия тягового усилия. При помощи бортовых гребнесмазывателей смазочные материалы дозировано и с высокой точностью наносятся на гребень колеса подвижного состава с последующим переносом на боковую грань головки рельса. Однако данные систем лубрикации эффективно работают при скоростях движения подвижного состава до 120 км/ч. Это связано с влиянием ветровой нагрузки и динамики взаимодействия пути и экипажной части на точность нанесения смазочного материала [12—14].

В Ростовском государственном университете путей сообщения разработано устройство, позволяющее эффективно смазывать гребни колес при скоростях движения подвижного состава 160...200 км/ч. Данное устройство (рис. 2) содержит: кронштейн 1, на котором закреплен корпус 2 с расположенным в нем твердосмазочным элементом 3, вдоль которого размещены две группы пластин 4 и 5 с упругими лепестками 6, соприкасающимися с твердосмазочным элементом. Группа пластин 4 закреплена на внутренней поверхности втулки 7, сообщающейся с электромагнитом 8, связанным с блоком управления, и возвратной пружиной 9, а вторая группа пластин 5 связана с дисками 10, расположенными в корпусе 2, и сообщается с возвратной пружиной 11.

Устройство для смазывания гребней колес работает следующим образом. Смазывание





гребня колеса твердосмазочным элементом производится периодически. Электрические сигналы, формируемые блоком управления в соответствии с принятым способом смазывания, поступают на электромагнит 8, который, взаимодействуя со втулкой 7, осуществляет подачу и прижатие твердосмазочного элемента к поверхности гребня колеса. При включении электромагнита 8 группа пластин 4, закрепленных на внутренней поверхности втулки 7, находящейся в зоне действия электромагнита  $\delta$ , перемещается вместе с закрепленным в них твердосмазочным элементом, фиксируемым с торца упругими лепестками 6 на величину, определяемую ходом втулки 7. При этом соотношение жесткостей упругих лепестков 6, пружин 9 и 11 таково, что сначала сжимается пружина 11 группы пластин 5, не связанных с электромагнитом 8, и твердосмазочный элемент перемещается вместе с расположенными вдоль его оси группами пластин 4 и 5. При дальнейшем движении втулки 7 группа пластин 4 вместе с твердосмазочным элементом перемещается относительно выбравших свой ход группы пластин 5, преодолевая сопротивление пружины 9 и трение между упругими лепестками 6, расположенными на пластинах 5, осуществляя подачу и прижатие смазочного материала к гребню колеса.

При отключении электромагнита втулки 7 с закрепленными в ней пластинами 4 под действием пружины 9 перемещаются относительно твердосмазочного элемента и группы пластин 5. Затем под действием возвратной пружины группа пластин 4 и 5 возвращается в исходное положение, и удерживаемый в них твердосмазочный элемент посредством упругих лепестков отводится от гребня колеса и нанесение смазочного материала прекращается.

Устройство для смазывания гребней колес подвижного состава, представляющее собой корпус с расположенным в нем механизмом подачи твердосмазочного элемента, монтируется на балансире колесной пары подвижного

### Рис. 2. Устройство для смазывания гребней колес высокоскоростного наземного транспорта:

1— кронштейн; 2— корпус; 3— твердосмазочный элемент; 4— первая группа пластин; 5— вторая группа пластин; 6— упругие лепестки; 7— втулка; 8— электромагнит; 9, 11— возвратные пружины; 10— диски; 12— съемная часть корпуса; 13— колпак; 14— крепежный болт



состава при помощи кронштейна. Механизм подачи смазочного элемента дополнительно содержит электромагнит и втулку, состоящую из группы пластин с упругими лепестками, соприкасающимися с твердосмазочным элементом [15, 16].

#### Выводы

Анализ критериев безопасности движения показал, что одним из основных является критерий, определяемый центростремительным ускорением, поэтому для увеличения скорости движения поездов в кривых участках пути желательно использовать подвижной состав с наклоняющимся кузовом (на примере испанских высокоскоростных поездов Talgo).

Разработанное устройство для смазывания гребней колес подвижного состава в условиях скоростного движения обеспечивает точность нанесения смазочного материала на гребень колеса; автоматизированную подачу твердого и пластичного смазочного материала в температурном диапазоне работы колесно-рельсовой трибосистемы; управляет процессом смазывания в соответствии с алгоритмом, обеспечивающим дискретное нанесение смазочного материала.

#### Библиографический список

- 1. **Высокоскоростной** железнодорожный подвижной состав / В.А. Гапанович и др.; под ред. В.А. Гапановича. СПб.: Типография "НП-Принт", 2014. 304 с.
- 2. **Бодров П.А., Вдовина Е.Е., Стогний Е.А.** Перспективы развития высокоскоростного движения // Молодой ученый. 2016. № 18. С. 60—63 [Электронный ресурс]. URL https://moluch.ru/archive/122/33672/ (дата обрашения: 03.03.2018).
- 3. **Якунин В.И.** В будущее России с высокой скоростью. М.: Научный эксперт, 2012. 216 с.

- 4. **Бирюков И.В.** Механическая часть тягового подвижного состава / под ред. И.В. Бирюкова. М.: Транспорт, 1992. 440 с.
- 5. **Челноков И.И.** Динамика вагонов / под ред. И.И. Челнокова // Труды ЛИИЖТ. 1977. Вып. 403.
- 6. **Механическая** часть электрического подвижного состава: учебное пособие / И.В. Волков и др. Ростов н/Д.: Изд-во РГУПС, 2007. 92 с.
- 7. **Рубан В.Г., Матва А.М.** Решение задач динамики железнодорожных экипажей в пакете Mathcad: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Изд-во РГУПС, 2009. 99 с.
- 8. **Меркурьев Г.Д., Елисеев Л.С.** Смазочные материалы на железнодорожном транспорте: справочник. М.: Транспорт, 1985. 225 с.
- 9. **Майба И.А., Носков В.Н., Глазунов Д.В.** Применение лубрикации зоны контакта колесо—рельс на железных дорогах // Вестник машиностроения. 2016. № 4. С. 86—88.
- 10. **Kokhanovskii V.A., Glazunov D.V.** Selection of lubricant composition for open contact systems in rolling stock // Russian Engineering Research. 2016. T. 36. № 6. P. 449—451.
- 11. **Kokhanovskii V.A., Glazunov D.V.** Control of lubricant performance // Russian Engineering Research. 2017. T. 37. № 9. P. 768—773.
- 12. **Глазунов Д.В.** Исследование значимости факторов, влияющих на ресурс смазочного материала в паре трения "колесо—рельс" // Вестник машиностроения. 2017. № 6. С. 63—65.
- 13. **Глазунов Д.В.** Повышение эффективности смазывания гребней колес тягового подвижного состава и рельсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д.: Изд-во РГУПС, 2014.
- 14. **Майба И.А., Глазунов Д.В.** Теоретическое обоснование механизма смешанной (полужидкостной) смазки в контакте "твердый оболочечный смазочный стержень—колесо—рельс" // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 19. № 1. С. 223—232.
- 15. **Устройство** для смазывания гребня колеса железнодорожного экипажа / пат. 2588197 РФ: МПК В61К 3/02 / А.Д. Петрушин, О.Л. Игнатьев, О.В. Игнатьева, Д.В. Глазунов. № 2015100779/11; заявл. 12.01.2015; опубл. 27.06.2016; Приоритет 12.01.2015. 5 с.
- 16. **Петрушин А.Д., Игнатьев О.Л., Глазунов Д.В.** Устройство для смазывания открытых узлов трения // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2017. Т. 76. № 6. С. 348—353.



### В ПОМОЩЬ КОНСТРУКТОРУ, ТЕХНОЛОГУ

УДК 004.9:621.382.2:628.9

**И.И. Байнева,** канд. техн. наук (Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева) *E-mail: baynevaii@rambler.ru* 

### Компьютерное моделирование светодиодных ламп-ретрофитов

Рассмотрены актуальные проблемы разработки современных светодиодных изделий. Проанализированы особенности традиционных источников света и возможности их прямой замены на светодиодные, а также возможности компьютерного моделирования светодиодных источников, в том числе светодиодных ламп-ретрофитов. Смоделированы светодиодные лампы со светодиодами CREE в CAПР КОМПАС-3D и TracePro.

Actual problems of development of modern LED products are presented. The features of traditional light sources and the possibility of their direct replacement by LED are analyzed. The possibilities of computer modeling of LED sources, including LED retrofit lamps are considered. Modeling of LED lamps with CREE LEDs in CAD COMPAS-3D and TracePro is carried out.

Ключевые слова: светильник, светодиод, источник света, оптическая система, моделирование, ретрофит.

Keywords: light device, LED, light source, optical system, modeling, retrofit.

#### Введение

Светодиоды находят применение практически во всех областях светотехники. Современные светодиоды (СД) характеризуются экономичным потреблением энергии, виброустойчивостью, богатой цветовой гаммой, практически "вечным" сроком службы (до 100 тыс. ч и более), механической надежностью и прочностью, отсутствием инерционности. СД уже прочно заняли свое место в секторе освещения, найдя применение в автомобильных фарах, светофорах, дорожных знаках, вывесках, указателях, и, конечно, светильниках различного исполнения и назначения.

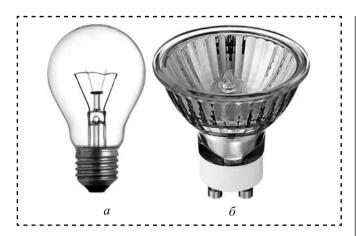
В связи с этим важным, особенно для российских производителей светотехнической продукции, является вопрос разработки таких ламп и приборов, которые отвечали бы в полной мере современным мировым требованиям [1, 2]. Актуальна разработка светодиодных ламп, предназначенных для установки в различные светильники промышленного и специального назначения в качестве осветительных ламп.

Среди основных тенденций в развитии LED-продуктов выделяют: уменьшение размеров, снижение себестоимости, применение пластиковых материалов в лампах-ретрофитах, а также расширение функционала светильников.

В последнее время рынок светодиодных изделий активно насыщается подобными светодиодными лампами-ретрофитами, предназначенными для замены ламп накаливания. Это модернизированные лампы, в которых новые источники света заключены в традиционные корпуса. Появление таких изделий во многом объясняется технико-экономической выгодой, определяемой простотой замены ламп старого образца на новые современные аналоги.

В качестве источников света (ИС) в современных осветительных установках используются лампы накаливания (ЛН), галогенные лампы накаливания, разрядные лампы и светодиоды. Лампы накаливания относятся к тепловым источникам света (рис. 1, *a*), принцип работы которых заключается в разогревании вольфрамового тела накала до определенной температуры при включении лампы в сеть.





**Рис. 1.** Лампы накаливания: a — общего назначения;  $\delta$  — галогенная

Галогенные лампы накаливания (рис. 1, *б*) устроены так же, как и другие ЛН. Главное отличие состоит в том, что в их внутренний объем вводятся соединения галогенных элементов. Этот вольфрамо-галогенный цикл позволяет увеличить температуру и продолжительность жизни тела накала и в конечном счете повысить в 1,5—2 раза световую отдачу и срок службы ламп. Важное отличие галогенных ламп состоит в том, что колба у них выполнена не из обычного, а из кварцевого стекла, более устойчивого к высокой температуре и химическим воздействиям [3—5].

К газоразрядным (или просто разрядным) ИС относят все люминесцентные лампы (ЛЛ), в том



Рис. 2. Разрядные источники света

числе компактные и безэлектродные, металлогалогенные, натриевые высокого и низкого давления, ксеноновые, неоновые и др. (рис. 2).

В разрядных лампах используется излучение электрического разряда в газах и парах металлов. По сравнению с тепловым излучением газовый разряд обладает более высокой световой эффективностью. Достоинства разрядных ламп: высокий КПД; длительный срок службы по сравнению с лампами накаливания; экономичность; высокая степень цветопередачи; хорошая стабильность цвета; хорошие характеристики светового потока в течение всего срока службы. В таблице приведены характеристики

#### Характеристики традиционных источников света

Технические характеристики	Лампы накаливания	Галогенные лампы накаливания	Люмине- сцентные лампы	Металло- галогенные лампы
Срок службы источника света, ч	1000	2000	800012 000	10 000
Световая отдача (эффективность), лм/Вт	10	15	80	70
Выделение тепла при горении	Высокое Н		Низкое	Есть
Виброустойчивость	Низкая		Средняя	
Устойчивость к перепадам напряжения	Низкая			
Чувствительность к частым включениям	Есть			
Перезажигание лампы	Мгновенное			57 мин
Пульсации излучения	Малозаметные		Есть	
Цветовая температура, К	2700	2700	20006500	20006500
Специальная утилизация	Не требуется		Требуется	
КПД светильника, %	5080		4575	5075
Средняя стоимость	Низкая		Средняя	Высокая



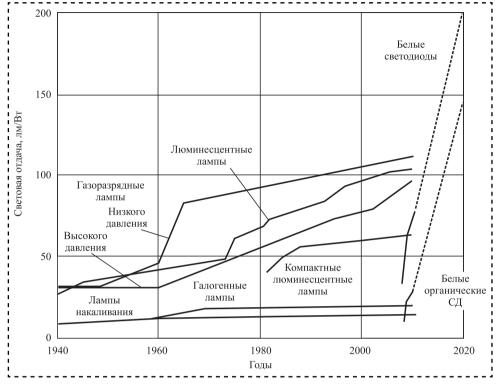


Рис. 3. Историческая и прогнозируемая эффективность источников света

ИС в сравнении по некоторым позициям, а на рис. 3 — их историческая и прогнозируемая эффективность.

# Особенности светодиодных ламп-ретрофитов

Переход от традиционного к светодиодному освещению может быть выполнен двумя способами. Первый подразумевает замену ИС в осветительном приборе. Второй предполагает полную замену светильника или прожектора на светодиодное устройство. Оба подхода имеют свои преимущества и недостатки.

При переходе на светодиодное освещение можно заменить традиционный ИС на ретрофит-светодиодную лампу, совместимую с ним по размерам, типу разъема, кривой силы света (КСС) и параметрам электропитания. В целом светодиодная лампа-ретрофит состоит из традиционного цоколя (Е27, Е14, GU10, GU5,3), который может быть установлен в обычный патрон, стеклянной (пластиковой) ударопрочной колбы (прозрачной/матовой), имеющей стандартную форму (грушевидную, сферическую, свечеобразную и т.д.), драйвера, благодаря которому электричество преобразуется в свет, радиатора, охлаждающего драйвер

и продлевающего срок службы лампы, платы со светодиодами (рис. 4).

Доля ламп-ретрофитов на рынке светодиодного освещения в 2017 г. составила 32, ламп-ретрофитов с цоколем Е27-19. В последние годы рынок практически заполнился лампами на основе светолиодов с форм-факторами линейных и компактных люминесцентных ламп. а также ламп накаливания и галогенных ламп накаливания. Если с первыми двумя проблему распределения света удалось в общих чертах решить, и остался только вопрос эффективности таких ламп. то с тепловыми источниками света — ЛН и гало-

генными ЛН — проблема оказалась намного более сложной: принципиальное отличие геометрии светодиодного кристалла от нити накала лампы не позволяет создать с помощью светодиодов пространственное распределение, хоть сколько-нибудь похожее на распределение света от лампы накаливания. Кроме того, у традиционных ламп и светодиодных источников света по-разному выделяется тепло на излучающем элементе, из-за чего происходит нагрев разных частей конструкций, а значит, необходимы принципиально разные решения проблемы отвода тепла. Разработка светодиодной



Рис. 4. Светодиодные лампы-ретрофиты



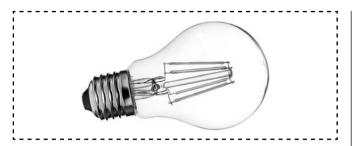


Рис. 5. Филаментная светодиодная лампа форм-фактора лампы накаливания общего назначения

лампы по технологии удаленного люминофора позволит получить источник света, практически аналогичный тепловым. Наиболее близким по светотехническим характеристикам вариантом лампы накаливания стали филаментные светодиодные лампы, в которых "нить накаливания" состоит из множества (иногда сотен) светодиодных чипов (рис. 5).

# Компьютерное моделирование светодиодных ламп-ретрофитов

Компьютерное моделирование позволяет в несколько раз сократить сроки и материальные затраты для получения всей необходимой для проектных исследований информации. Компьютерное моделирование в светотехнике заключается в построении моделей изделий с помощью систем автоматизированного проектирования и программ оптического моделирования и исследование их параметров [6, 7]. С учетом полученных сведений могут быть изготовлены образцы данных изделий и в дальнейшем доведены до производства партий.

Моделирование ИС необходимо для расчета освещенности, моделирования работы осветительных систем, расчетов новых осветительных систем с заданными характеристиками [8, 9].

В области приборостроения используют специализированные САЕ-системы (системы инженерного анализа), среди которых можно выделить следующие группы: программы автоматизированного проектирования систем; программы проектирования оптических элементов.

Системы оптического моделирования, такие как LightTools, TracePro, ASAP, SPEOS и др., предоставляют два основных способа визуализации результатов оптического моделирования — во-первых, это визуализация распределения вы-

ходных световых характеристик (освещенность, яркость, интенсивность света) на приемнике излучения и, во-вторых, визуализация световых полей (например, траекторий лучей) в оптической системе.

TracePro — универсальная программа для расчета лучей при проектировании осветительных и неизображающих оптических систем, а также для проведения фотометрического анализа. Прямая трассировка лучей методом Монте-Карло моделирует распространение световых лучей от источника света до приемника излучения и тем самым статистически воспроизводит распределение освещенности, интенсивности или яркости на приемнике излучения. Разработка светотехнического изделия начинается с создания модели, которая должна как можно более точно соответствовать параметрам будущего изделия. Для этого необходимо разработать 3D-модель, создать базу данных оптических свойств применяемых материалов и покрытий.

В программном обеспечении TracePro есть возможность задания оптических свойств материалов и покрытий поверхностей объекта. Это облегчает разработку, так как позволяет использовать для оптической модели детали оптические свойства материала и присваивать отдельным ее поверхностям оптические свойства покрытий, не создавая при этом отдельных объектов.

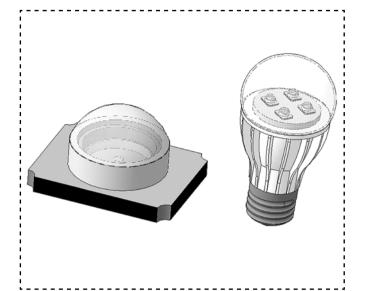
Также необходимо создать модель применяемого источника света в соответствии с реальными размерами, световым потоком, распределением светового потока, спектральными характеристиками излучаемого им света.

#### Моделирование светодиодных ламп со светодиодами CREE

Смоделируем лампу на основе светодиодов от CREE серии XR-C7090. Материалы подложки светодиодов (нитрид алюминия и карбид кремния) имеют близкие значения температурных коэффициентов объемного и линейного расширения, что позволяет решить проблему возникновения механических напряжений в кристалле при изменении температуры.

3D-модели светодиода и лампы разработаны в САПР КОМПАС-3D (рис. 6), после чего экспортированы в систему TracePro. Здесь за-





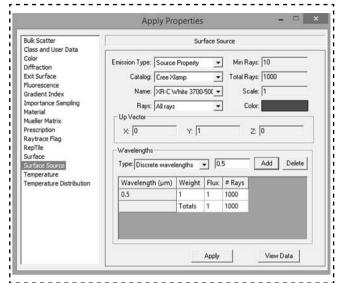


Рис. 6. 3D-модель светодиода XR-C7090 и светодиодной лампы

Рис. 7. Свойства источника излучения — светодиода СREE в TracePro

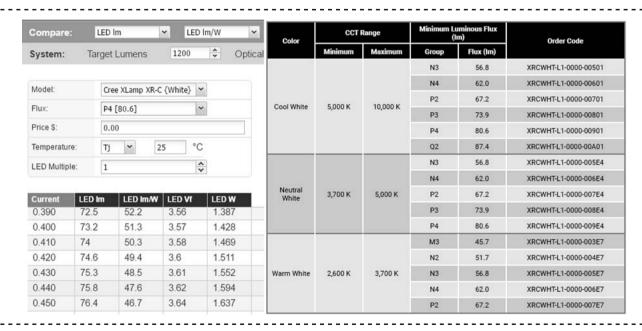


Рис. 8. Характеристики светодиодов серии XR-C от LED-калькулятора CREE и с сайта производителя

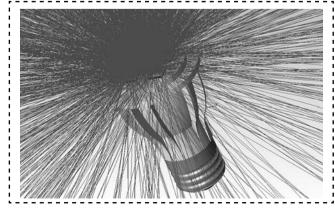


Рис. 9. Процесс трассировки лучей светодиодной лампы

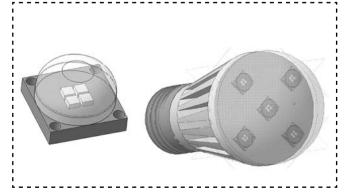


Рис. 11. 3D-модели светодиода XLamp серии МС-Е и светодиодной лампы



дали параметры светодиода как источника излучения (рис. 7) на основании свойств с сайта производителя, показанных с помощью LED-калькулятора CREE (рис. 8), свойства поверхности подложки и материала рассеивателя [10]. Осуществили трассировку лучей (рис. 9) и смоделировали светораспределение (рис. 10 на стр. 3 обложки).

Светодиоды CREE серии MC-E содержат четыре кристалла в одном корпусе (рис. 11). Важное качество светодиодов MC-E — возможность использования одной линзы на четыре кристалла в системах с вторичной оптикой. Данная возможность позволяет значительно снизить себестоимость изделия. Светодиоды серии MC-E находят применение в тех случаях, когда требуется очень мощный, но в то же время очень компактный источник света (рис. 12 на стр. 3 обложки). Их тепловое сопротивление составляет всего 3°С/Вт.

#### Заключение

Спроектированы светодиодные лампы-ретрофиты форм-фактора ламп накаливания общего назначения с использованием средств современной компьютерной техники — системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, оптического моделирования ТracePro. Полученные кривые светораспределения позволяют сделать вывод о

возможности использования таких ламп для прямой замены в светильниках.

#### Библиографический список

- 1. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Современное светодиодное освещение: преимущества, энергоэффективность, оптические системы // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2016. № 1, Т. 5. С. 13—16.
- 2. **Байнева И.Й.** Энергоэффективные светодиодные технологии // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 79—81.
- 3. **Байнева И.И.** Галогенные лампы накаливания. Саранск: Афанасьев В.С., 2013. 176 с.
- 4. **Байнева И.И.** Обзор современных галогенных ламп накаливания, задач и перспектив их развития // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 3 (204). С. 44—50.
- 5. **Bayneva I.I.** The features and prospects for the development of modern halogen light sources // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 11 (4). P. 701—704.
- 6. **Bayneva I.I.** Concerns of design of the energy-efficient fixtures // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, No. 3. P. 6479—6487.
- 7. **Bayneva I.I.** Study and review of optical systems for light emitting diodes // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8, No. 3. P. 15304—15309.
- 8. **Байнева И.И.** Расчет и конструирование оптических элементов осветительных приборов // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 3. С. 84—86.
- 9. **Байнева И.И.** Информационные технологии в моделировании оптических систем осветительных приборов // Информатизация образования и науки. М.: Изд-во ГНИИИТТ, 2017. № 2 (34). С. 15—23.
- 10. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Оптические системы для светодиодов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. № 1 (238). С. 54—64.

**ООО "Издательство "Инновационное машиностроение**", 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2 Учредитель ООО "Издательство "Инновационное машиностроение".

Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru; редакции журнала: sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru.

Телефон редакции журнала: 8 (499) 269-54-98, факс: 8 (499) 269-54-96.

Технический редактор Патрушева Е.М. Корректор Сажина Л.И.

Сдано в набор 08.08.2018. Подписано в печать 26.09.2018. Формат  $60 \times 88 \ 1/8$ .

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз". Сайт: **www.aov.ru** Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

### К сведению авторов журнала «Сборка в машиностроении, приборостроении»

Объем статьи (текст статьи, рисунки, таблицы), предлагаемой к публикации, не должен превышать 12 страниц, напечатанных на белой бумаге (формата A4) на одной стороне листа через два интервала 12-м кеглем.

Все страницы в статье должны быть пронумерованы.

В редакцию предоставляется статья в электронном виде – файл (с расширением .doc или .pdf) с набором текста (шрифт Times New Roman) или распечатанная рукопись (на белой бумаге (формата A4) на одной стороне листа).

Электронная версия может быть выслана по e-mail: sborka@mashin.ru

#### Требования к оформлению статьи

#### 1. Обязательно должны быть представлены сведения об авторах:

- Ф.И.О.;
- ученая степень и звание (если есть);
- место работы;
- должность;
- адреса и телефоны (домашний и служебный), факс;
- E-mail.

Названия учреждений, в которых выполнялись исследования, необходимо раскрывать полностью, указывать город.

#### 2. Обязательно представлять на русском и английском языках:

- фамилии, имена и отчества авторов, название учреждения, в котором выполнялось исследование;
- название статьи;
- аннотацию к статье;
- ключевые слова.

#### 3. Начало статьи должно быть оформлено по следующему образцу:

- УДК (Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации http://teacode.com/online/udc/);
- авторы (с указанием ученой степени);
- полное название учреждения, в котором выполнялось исследование;
- город;
- страна (для иностранных авторов).

Ссылку на гранты необходимо обозначать звездочкой (\*) на первой странице.

# 4. Формулы, буквенные обозначения (прописные и строчные, латинского (не готического) и греческого алфавитов), цифры, знаки и их расположение должны быть четкими и различимыми.

Для набора формул и буквенных обозначений следует использовать программу MathType или редактор формул Equation в офисном редакторе Microsoft Office Word.

#### 5. После текста должен быть приведен список литературы, используемой при написании статьи.

Составляется список по порядку ссылок в тексте и оформляется по ГОСТ 7.0.5–2008. Ссылки на иностранную литературу следует писать на языке оригинала без сокращений. Количество литературных источников не должно превышать пяти наименований. Допускаются ссылки на литературу не ранее 2000 г. выпуска (при необходимости ссылку на более "старый" источник литературы приводят непосредственно в тексте).

# 6. Иллюстрации представляются в виде отдельных файлов (с расширением .doc, .tiff, .pdf, .jpeg 600 dpi), размер не должен превышать 186 мм.

Рисунок должен быть четким и иметь подрисуночную подпись. Подрисуночные подписи следует представлять отдельным списком. Объяснение рисунков и фотографий в тексте и подписи к ним должны соответствовать содержанию рисунков.

Данные таблиц и рисунков не должны дублировать текст!

#### Все статьи, поступающие в редакцию, проходят рецензирование.

В случае отклонения статьи редакционным советом журнала редакция оставляет за собой право сообщать автору о решении ред. совета без предоставления рецензии.

Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются

Плата за публикацию статей не взимается

