ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

2017 Том 18 / **10 (207)**

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Любишкина О.В., Курнасова Я.Л. Оптимизация времени сборки специальных изделий с использованием теории графов 435

Технологичность конструкции

Вавилов В.Е. Новый метод проектирования электромеханических преобразователей энергии с использованием генетических алгоритмов 439

Транспортирование объектов сборки

Федоров В.А., Калмыков В.В., Малышев Е.Н. Применение крючковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств в многономенклатурном сборочном производстве 446

Разборка. Ремонт

Дубовик Е.А. Сборка и разборка шатунно-поршневой группы машин 449

Трение и смазка в машинах и механизмах

Кохановский В.А., Иванов С.И., Петренко А.А. Конструкция антифрикционных фторопластсодержащих композиционных покрытий 455

Иванова Т.В., Налабордин Д.Г. Сравнительная оценка интенсивности износа гребней стандартных и инновационных колес грузовых вагонов 459

Салахов Т.З., Мигранов М.Ш., Нигматуллин Р.Г. Увеличение эффективности технического обслуживания промышленного оборудования на основе анализа состояния масла 461

В помощь конструктору, технологу

Байнева И.И. Компьютерное моделирование и конструирование светодиодного светильника с автономным источником питания 466

Можегова Ю.Н., Марихов И.Н. Программное обеспечение для автоматизированного проектирования пальцевой фасонной фрезы для эвольвентной винтовой шестерни 474

Матрёнин А.В., Микаева С.А. Повышение качества и техника безопасности производства установок обеззараживания воды 477

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

E-mail: sborka@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

МОСКВА

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

БЕЛГОРОД

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н., чл.-кор. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.

ВОЛГОГРАД

В.Г. КАРАБАНЬ, к.т.н., доц.
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, д.т.н., проф., чл.-кор. РАН
В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.

ИЖЕВСК

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

КАЗАНЬ

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

КОВРОВ

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ

Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

С.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н.
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.

НИЖНИЙ НОВГОРОД

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

ОМСК

В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

ОРЕЛ

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.

САМАРА

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

СЕВАСТОПОЛЬ

Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

ТОМСК

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

ТУЛА

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

ХАБАРОВСК

В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.

Беларусь

МИНСК

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

ГОМЕЛЬ

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

Украина

КИЕВ

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

ДОНЕЦК

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.

© Издательство "Инновационное машиностроение", "Сборка в машиностроении, приборостроении", 2017

THE MONTHLY JOURNAL FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE JOURNAL IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

2017 Vol. 18 **10 (207)**

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Lyubishkina O.V., Kurnasova Ya.L. Optimizing the assembly time for special products using graph theory 435

Manufacturability of a construction

Vavilov V.E. A new design method of electromechanical energy converters using genetic algorithms 439

Assembly component parts transportation

Fedorov V.A., Kalmykov V.V., Malyshev E.N. The use of rotary hook hopper feeder in multiproduct assembly manufacturing 446

The dismantling. Repair

Dubovik E.A. Assembling and disassembling the connecting rod and piston machines 449

Friction & lubrication in machines and mechanisms

Kohanovsky V.A., Ivanov S.I., Petrenko A.A. Structure of PTFE based anti-friction composites covers 455

Ivanova T.V., Nalabordin D.G. Comparative evaluation of depreciation intensity of arris of standard and innovative wheels of freight cars 459

Salahov T.Z., Migranov M.Sh., Nigmatullin R.G. Increase in maintenance service efficiency of the industrial equipment on the analysis basis of the oil condition 461

Industrial and design engineer's aid

Bayneva I.I. Computer modeling and designing of led light device with independent power source 466

Mozhegova Yu.N., Marikhov I.N. Software for computer-aided design finger-shaped cutters for involute helical gears 474

Matrenin A.V., Mikaeva S.A. Improving the quality and safety of production installations of disinfecting of water 477

Journal is distributed on subscription, whith can be issues in any post office (index on the catalogue of the "Pressa Rossii" — **84967**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: 8 (499) 269-54-98
http://www. mashin.ru E-mail: sborka@machin.ru
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

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

Editors

MOSCOW

A.S. VASIL'EV (Chief editor)
V.V. BARDUSHKIN
I.A. BUYANOVSKY
M.V. VARTANOV
A.A. GUSEV
S.M. ZAKHAROV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
A.V. IGNATOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
I.A. LUBININ
E.A. MIKRIN
B.V. SHANDROV
A.G. KHOLODKOVA

Regional editors

BELGOROD
N.A. PELIPENKO

BRIANSK
O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK
Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA

VOLGOGRAD
V.G. KARABAN'
M.G. KRISTAL
V.I. LYSAK
V.M. TRUKHANOV

IZHEVSK
I.V. ABRAMOV
V.G. OSETROV
B.A. YAKIMOVICH

KAZAN
R.I. ADGAMOV

KOVROV
Yu.Z. ZHITNIKOV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR
B.N. MARJIN
A.M. SHPILEV

NABEREZHNYE CHELNY
S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD
S.V. GOLUBEV

OMSK
V.N. KOSTYUKOV

OREL
Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

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

PERM
V.F. MAKAROV

ROSTOV-ON-DON
V.I. KOLESNIKOV
A.A. RYZHKIN

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

SAMARA
Yu.A. VASHUKOV
M.A. EVDOKIMOV

ST.-PETERSBURG
E.V. SHALOBAEV

SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA

TOMSK
A.V. KOLUBAEV
V.E. PANIN

TULA
A.A. MALIKOV
V.V. PREYS

KHABAROVSK
V.I. SCHPORT

Belarus

MINSK
V.L. BASINJUK
M.L KHEIFETZ

GOMEL
V.E. STARZHINSKI

Ukraine

KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO

DONETSK
A.N. MIKHAILOV

Poland

P. LEBKOVSKI
E. LUNARSKII

Executive editors of current issue:
E.M. NUZHDINA, I.M. GLIKMAN

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

© "Innovative Mashinostroenie" Publishers, "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2017

УДК 62-52+658.51:005.93

О.В. Любишкина *(ООО НТО "ИРЭ-Полюс", г. Фрязино, Моск. обл.),*
Я.Л. Курнасова *(Московский технологический университет (МИРЭА))*
E-mail: 47ukbep@mail.ru

Оптимизация времени сборки специальных изделий с использованием теории графов

Выявлены проблемы организации технологического процесса сборки специальных изделий, в частности лазерных модулей. Приведен анализ технологического процесса оптической сборки изделий данного класса с использованием теории графов. Показана производительность сборки при стандартной и измененной последовательности операций. Рассчитаны и оптимизированы трудозатраты при производстве заданного количества продукции.

The article is directed to solve problems of organizing the technological process of assembling special products, in particular, laser modules. The analysis of technological process of optical assembly of products of the given class with use of the theory of graphs is given. Examples of the performance of the assembly with the standard and modified workflow are considered. Calculated and optimized labor costs in the production of the set number of products.

Ключевые слова: технологический процесс, сборка, специальные изделия, лазерные модули, теория графов, последовательность операций, производительность, надежность.

Keywords: technological process, assembly, special products, laser modules, graph theory, the sequence of operations, performance, reliability.

Сборочная операция — одна из трудоемких составляющих технологических процессов производства приборов и машин, качество которой существенно влияет на надежность и долговечность работы приборов, машин и механизмов [1]. Высокая трудоемкость сборочных процессов (в среднем около 30 % от общих трудозатрат на других технологических этапах) обусловлена преобладанием в значительной степени ручного труда и использованием рабочих высокой квалификации.

Сборочный процесс необходимо совершенствовать, последовательно разрабатывать оптимальные варианты его построения, используя системный подход к решению проблемы. Основные направления совершенствования технического уровня сборки [2]:

- повышение технологичности конструкций, особенно по показателю унификации деталей;
- стабильность качества поступающих на сборку деталей;
- разработка новых методик и создание технических средств автоматизации и механизации основных операций сборки.

Однако в последние годы произошло существенное усложнение конструкций машин и приборов, расширилась номенклатура сложных наиболее ответственных узлов и деталей. Одна лишь конструкция прецизионного мехатронного шпиндельного узла технологической машины с ЧПУ содержит в себе, наряду с электронной системой управления, подшипниковые опоры различной компоновки [3], уплотнительные устройства, крепежные изделия в комплекте со стопорными элементами, устройства предварительного натяга подшипников [4], механизм автоматической смены инструмента и многие другие подсистемы.

Наличие широкой номенклатуры таких изделий, а также большого числа составляющих деталей в одном узле, накладывает жесткие требования к качеству сборки и организации сборочного процесса в целом [5, 6], так как от этого

зависит обеспечение таких важнейших эксплуатационных параметров изделия, как производительность, герметичность, уровень вибраций, экономичность и т.д. [7], причем качество будущего изделия закладывается еще на стадии его производства [8].

В качестве примера разработки и применения новых методов повышения качества сборочных операций рассмотрим метод организации технологического процесса оптической сборки лазерных модулей с применением теории графов. Современные оптические приборы отличаются многообразием назначения и физическим принципом действия составляющих их функциональных устройств (электроники, оптики, механики).

Технологический процесс оптической сборки лазерных модулей представляет собой структурированный набор операций, каждую из которых совершает отдельный сборщик определенным инструментом. На участках оптической сборки лазерных модулей (ОСЛМ) устанавливают следующие комплектующие: диоды (PLD), волоконные блоки (YFB), высветы (MRF). Число комплектующих зависит от мощности лазерных модулей:

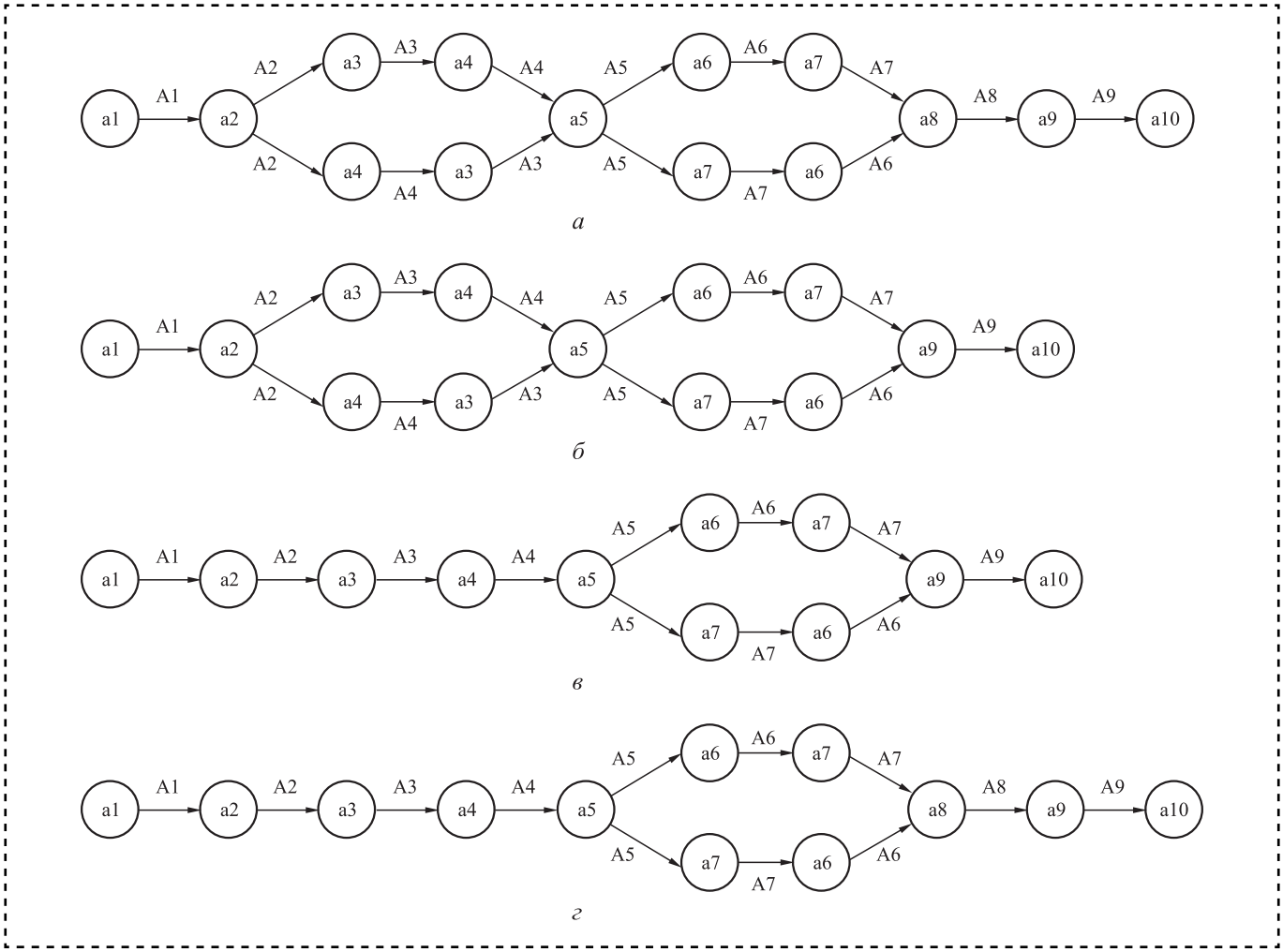
— в маломощных модулях (до 500 Вт): 15 PLD, 1 YFB, 1—2 MRF;

— в модулях средней мощности (700...900 Вт): 20 PLD, 1 YFB, 1—2 MRF;

— в мощных модулях (1000...1300 Вт): 28—36 PLD, 1 YFB, 1—2 MRF.

Используя теорию графов, проведем анализ производства лазерных модулей и определим способ быстрого регулирования основных технологических процессов производства в соответствии с планом выпуска продукции.

Для представления операций технологического процесса оптической сборки лазерных модулей разработаны сетевые модели различных



Графы технологического процесса сборки для модулей типа:
а — Т1; *б* — Т2; *в* — Т3; *г* — Т4

типов модулей (Т1—Т4). Сетевые модели на рисунке представлены как "Дуга—Время" и состоят из вершин (отображают операции) и дуг, соединяющих соответствующие вершины графа. Дуги графа показывают соответствующие связи между операциями (табл. 1).

Время сборки на некоторых операциях зависит от их последовательности (табл. 2).

Рассмотрим производительность операторов для случая, когда все операции идут по порядку в соответствии с нумерацией, приведенной в табл. 3. Продолжительность рабочего времени 7,5 ч, или 450 мин.

Изменение последовательности операций влияет на количество производимой продукции (табл. 4, 5). Полученные результаты позволяют определить число операторов, необходимое для выполнения текущих задач.

Таблица 1

Обозначение операций

Обозначение операций	Наименование операций
a1	Комплектация
a2	Установка PLD
a3	Распайка PLD
a4	Разводка PLD
a5	Установка YFB
a6	Разварка накачки
a7	Разварка сигнала
a8*	Настройка PD1
a9	Выходной контроль
a10	Отправка на тест

* Не для всех типов модулей.

Таблица 2

Продолжительность сборки на каждой операции различных типов модулей

Операция	Время, мин, для модуля типа			
	Т1	Т2	Т3	Т4
A1	3	4	5	7
A2	12	15	20	25
A3	5	7	10	15
A4	20	25	40	50
A5	20	20	20	20
A6	15	20	30	50
A7	40	20	20	40
A8*	20	—	—	20
A9	5	5	5	5
Итого:	140	116	150	232

Таблица 3

Максимальная производительность одного оператора для всех операций

Операция	Производительность, шт./мин, для модуля типа			
	Т1	Т2	Т3	Т4
a1	150	112	90	64
a2	37	30	22	18
a3	90	64	45	30
a4	22	18	11	9
a5	22	22	22	22
a6	30	22	15	9
a7	11	22	22	11
a8*	22	—	—	22
a9	90	90	90	90

Таблица 4

Продолжительность операций

Операция	Время, мин, для модуля типа			
	Т1	Т2	Т3	Т4
A1	3	4	5	7
A2	12	15	20	25
A4	7	9	40	50
A3	15	20	10	15
A5	20	20	20	20
A7	13	25	25	55
A6	45	15	30	35
A8*	20	—	—	20
A9	5	5	5	5
Итого:	140	113	155	232

Таблица 5

Максимальная производительность одного оператора для всех операций на модулях типа Т1—Т4

Операция	Производительность, шт./мин, для модуля типа			
	Т1	Т2	Т3	Т4
а1	150	112	90	64
а2	37	30	22	18
а4	64	50	45	30
а3	30	22	11	9
а5	22	22	22	22
а7	34	18	18	8
а6	10	30	15	12
а8*	22	—	—	22
а9	90	90	90	90

В качестве примера выполним расчет числа рабочих для производства 60 модулей, пользуясь стандартной последовательностью операций (табл. 6).

Необходимо произвести: Т1 — 10 шт., Т2 — 10 шт., Т3 — 30 шт., Т4 — 10 шт.

Предложенный метод позволяет быстро рассчитывать и прогнозировать различные варианты построения производственного процесса.

Доля автоматизации операций рассматриваемого технологического процесса сборки лазерных модулей на сегодняшний день крайне низка. Связано это не только со сложной конфигурацией такого вида высокотехнологичной продукции, но и технической реализацией процесса автоматизированной сборки лазерных модулей. При производстве лазерных модулей предлагается использовать специализированные робототехнические устройства с расширенными функциональными возможностями системы захвата [9, 10] и современные технологии построения АСУ, обеспечивающие достаточную гибкость и надежность работы цикловых устройств [11, 12], задействованных при автоматизации всех операций процесса сборки.

Таблица 6

Расчет числа операторов для производства 60 модулей

Операция	Время, мин, для модуля типа				Общее время, ч	Число операторов
	Т1	Т2	Т3	Т4		
А1	30	40	150	70	5	1
А2	120	150	600	250	19	3
А3	50	70	300	150	10	2
А4	200	250	1200	500	36	5
А5	200	200	600	200	20	3
А6	150	200	900	500	30	4
А7	400	200	600	400	27	4
А8*	200	—	—	200	7	1
А9	50	50	150	50	7	1

Библиографический список

1. **Кушнир А.П.** Виртуальный контроль сборки изделия на стадии проектирования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 5. С. 54—56.
2. **Холопов В.А., Руднева Л.Ю.** Особенности автоматизированной технологии сборки специальных изделий // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2014. Т. 14. № 4. С. 183—186.
3. **Курнасов Е.В.** Расширение функциональных возможностей высокоскоростных шпиндельных узлов // Автоматизация. Современные технологии. 2005. № 7. С. 3—5.
4. **Кушнир А.П., Курнасов Е.В.** Управление натягом подшипников в технологической системе резания // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 3. С. 36—42.
5. **Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П.** Влияние параметров сборки бесконтактных уплотнительных устройств на герметичность шпиндельных узлов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 4. С. 15—19.
6. **Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П.** Сборка прецизионных уплотнительных устройств с учетом податливости стыков // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 1. С. 8—12.
7. **Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П.** Влияние погрешностей установки на герметичность бесконтактных уплотнительных устройств // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 3. С. 25—27.
8. **Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П.** Вероятностная оценка точности изготовления: сб. науч. тр. // IV Международная научная конференция "Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении". 2015. С. 27—30.
9. **Чижиков В.И., Курнасов Е.В.** Синтез системы автоматического управления стабилизацией усилия захвата предмета с нечеткой геометрической характеристикой // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 2. С. 3—10.
10. **Чижиков В.И., Курнасов Е.В.** Комплексный подход к разработке нейросетевого функционального идентификатора системы управления захватом предмета с нечеткой геометрией поверхности // Российский технологический журнал. 2015. Т. 2. № 4 (9). С. 275—300.
11. **Холопов В.А., Голубцов И.Н.** Математическая модель управления цикловым оборудованием // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 3. С. 14—18.
12. **Холопов В.А., Мелкова С.О., Зайцев Е.В.** Метод описания цикловых устройств для обеспечения проектирования системы управления // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: Приборостроение и информационные технологии. 2012. № 38. С. 85—91.

УДК 621.313

В.Е. Вавилов, *канд. техн. наук*
(Уфимский государственный авиационный технический университет)
E-mail: s2_88@mail.ru

Новый метод проектирования электромеханических преобразователей энергии с использованием генетических алгоритмов*

Представлен новый метод оптимального проектирования электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ), основанный на генетическом алгоритме. Разработано математическое описание алгоритма и проведено оптимальное проектирование высокооборотного ЭМПЭ предлагаемым методом. Новый метод оптимального проектирования позволил получить ЭМПЭ, масса которого в два раза меньше исходного, активная длина ротора в 2,37 раза меньше исходного, плотность тока увеличилась (по отношению к исходному) в 1,7 раза, при этом потери увеличились только на 25 %.

Presents a new method for optimal design of electromechanical energy converters (EMEC) based on genetic algorithm. The mathematical description of the algorithm and conducted the optimal design of high-speed, EMEC the proposed method. A new method for optimal design allowed us to obtain EMEC whose mass is two times smaller than the source active length of the rotor 2,37 times less than the source, the current density is increased (relative to baseline) 1,7 times the losses increased only 25 %.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, энергетическое оборудование, высокооборотные электромеханические преобразователи энергии.

Keywords: genetic algorithms, problems of creation of energy equipment, high-speed electromechanical converters of energy.

При создании новых перспективных электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) с уникальными характеристиками (в том числе минимальными массогабаритными показателями) и функциональными возможностями решаются следующие задачи:

— разработка новых конструктивных схем ЭМПЭ, методов их расчета и проектирования;

— разработка и применение новых материалов с недостижимыми ранее свойствами;

— использование методов и алгоритмов рационального выбора геометрических размеров активной зоны ЭМПЭ (исходя из цены, полноты использования свойств этих материалов, а также энергетических характеристик);

— прогнозирование дальнейшего перспективного развития ЭМПЭ и получение определенных параметров при возможно достижимых в будущем свойствах материалов (например, во многих публикациях говорится, что для повышения энергетических характеристик ЭМПЭ с высококоэрцитивными постоянными магнитами необходимы постоянные магниты с более высокими энергетическими характеристиками, но при этом не рассматривается, как должна измениться конструктивная схема ЭМПЭ и применяемые в ней другие активные материалы в связи с повышением энергетических характеристик постоянных магнитов).

Обычно все эти задачи решают различными, не связанными друг с другом подходами. Изначально разрабатывают наиболее рациональную конструктивную схему ЭМПЭ, исходя из критериев надежности, технологичности, цены, минимальных массогабаритных показателей при максимальной мощности, максимального КПД. После чего рассчитывают параметры данной

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 16-38-60001.

конструктивной схемы ЭМПЭ по известным методикам, а также с применением современных программных продуктов и методами конечно-элементного (МКЭ) анализа, при этом закладываются свойства используемых материалов. В случае необходимости проводят численную оптимизацию геометрических размеров ЭМПЭ и корректировку рассчитанных размеров. Такой подход предполагает трату при создании новых перспективных ЭМПЭ значительных ресурсов, приводит к неэффективному использованию всех свойств материалов, не позволяет на стадии разработки ЭМПЭ выявить наиболее оптимальный вариант их конструктивной схемы из всего многообразия известных конструктивных схем ЭМПЭ и их модификаций, а также не позволяет прогнозировать развитие ЭМПЭ и формулировать на основе этого прогноза требований к материалам, конструктивным узлам. Традиционный подход не учитывает в полной мере многодисциплинарность процесса проектирования и создания ЭМПЭ (тепловые и механические взаимовлияния на электромагнитные характеристики ЭМПЭ).

Для решения проблем традиционных подходов к проектированию ЭМПЭ предлагаются различные методы оптимизации и оптимального проектирования ЭМПЭ [1—4].

Большая часть работ посвящена численной оптимизации конкретного ЭМПЭ по какому-либо параметру с использованием МКЭ или известных методов, в том числе с учетом многодисциплинарности задачи, и не решает задачи оптимального проектирования ЭМПЭ в обобщенном виде.

Одни из основных методов, направленных на решение выявленной проблемы, — метод оптимального проектирования ЭМПЭ — Interval Branch and Bound based Algorithms (IBBA), который решает обратную задачу оптимального проектирования: подбор оптимальной конструкции ЭМПЭ под определенные размеры. В его основе лежат методы комбинаторики: комбинации различных элементов конструктивных схем ЭМПЭ и их оптимизация [5—9].

При всех достоинствах данного метода он не всегда позволяет найти глобальное оптимальное решение при проектировании и предсказывать конструктивную схему ЭМПЭ, исходя из желаемых параметров и ее характеристик. Также алгоритм IBBA не прогнозирует развитие ЭМПЭ при тех или иных свойствах и условиях. Большинство решений, представленных с помощью IBBA, касаются лишь ЭМПЭ с высококоэрцитивными постоянными магнитами (ВПМ).

Цель работы — создание нового алгоритма оптимального проектирования ЭМПЭ для конструирования любых типов ЭМПЭ, предсказания и прогнозирования их свойств, сравнения различных типов оптимальных ЭМПЭ (например, ЭМПЭ индукторного типа и ЭМПЭ с ВПМ).

Для достижения аналогичных целей в других отраслях науки, например, кристаллографии, двигателестроении, химии, широко распространены методы проектирования изделий, основанные на эволюционных и генетических алгоритмах (ГА) [10—12]. Но при этом в электромеханике и электроэнергетике в настоящее время ГА используют только для численной оптимизации какого-либо ЭМПЭ, а также для создания систем управления ЭМПЭ.

В ряде случаев с помощью ГА решаются задачи: выбора оптимальных размеров асинхронного двигателя, критерий оптимальности — стоимость асинхронного двигателя; численной оптимизации размеров синхронного двигателя с инкорпорированными постоянными магнитами, оптимального выбора параметров электроснабжения линейной индукционной машины; определения параметров синхронного двигателя, критерий оптимальности — максимальный момент; оптимизации размеров ЭМПЭ с помощью ГА, реализованный в программном комплексе Ansoft Maxwell [13—19].

Таким образом, ГА используют в энергомашиностроении для выбора каких-либо численных параметров (для решения задач оптимизации), но не используют при оптимальном проектировании, а также при выборе конструктивной схемы ЭМПЭ, в том числе и типа ЭМПЭ (например, ЭМПЭ с постоянными магнитами или ЭМПЭ с электромагнитным возбуждением), для задач предсказания свойств ЭМПЭ. Таким образом, в подобной постановке задачи эволюционные алгоритмы в электромеханике используются впервые.

Алгоритм оптимального проектирования и предсказание свойств электромеханических преобразователей энергии и его математическая формулировка

Последовательность действий:

1. Задаются первоначальные, желаемые характеристики ЭМПЭ: мощность, тип, напряжение питания или выходное напряжение, частота вращения ротора, массогабаритные показатели и геометрические размеры. Эти параметры

формируют три исходных множества начальных параметров ЭМПЭ: общих (число пар полюсов, мощность, частоту вращения, конструктивную схему, напряжение питания, температуру окружающей среды) — $(x_1...x_i) \in X_0$; свойств материалов, в том числе их температурные зависимости и механические свойства — $(m_1...m_i) \in M_0$; начальных геометрических размеров — $(r_1...r_i) \in R_0$ (множество R_0 дополняется размерами ЭМПЭ на последующих этапах).

2. Проводится расчет заданной конструктивной схемы ЭМПЭ с помощью стандартных методик и FEMM. Рассчитанные параметры формируют множества размеров, параметров и характеристик ЭМПЭ, а также свойств материалов $(x_1 ... x_i) \in X_0$, $(m_{1r} ... m_{ir}) \in M_r$, $(r_{1r} ... r_{ir}) \in R_r$, при этом размеры паза представляются в виде одного параметра — его площади. Множества размеров и свойств материалов считаются фиксированными для следующего шага алгоритма, а множество $(x_1...x_i) \in X_0$ варьируется.

3. Опираясь на фиксированные геометрические размеры и свойства материалов, проводится оптимизация конструктивной схемы ЭМПЭ с помощью ГА, так как решение данной задачи методами перебора практически невозможно из-за огромного множества конкурентных вариантов. Решение традиционными методами оптимизации, которые основаны на математических операциях с производной целевой функцией, для данной задачи также невозможно; математическая формулировка функции цели требует множества допущений, что значительно ограничивает точность решения.

Для реализации ГА каждый конструктивный элемент ЭМПЭ (форма полюсов ротора, тип паза статора или тип обмотки, пазовый или беспазовый статор, а также система охлаждения и подшипники) шифруется в виде генетического кода. Использование ГА при фиксированных размерах ЭМПЭ и свойствах материала в данном случае позволяет достаточно быстро определить наиболее оптимальную конструктивную схему ЭМПЭ из огромного множества вариантов и модификаций.

Выбор оптимальной конструктивной схемы ЭМПЭ осуществляется исходя из значения функции приспособленности. Для данного этапа предлагаемого алгоритма очевидно, что функции приспособленности не должны быть ориентированы на геометрические размеры, так как они являются фиксированными, также считается фиксированной частота вращения ротора ЭМПЭ.

В настоящей работе применяются общие функции приспособленности: активная мощность или момент, потери, технологичность производства ЭМПЭ, коэффициент мощности, а также его тепловая нагрузка. Под тепловой нагрузкой понимают отношение суммарных потерь в ЭМПЭ к температуре его поверхности. Данный параметр показывает, как эффективно потери ЭМПЭ отводятся его системой охлаждения. Тогда общая функция приспособленности на данном этапе формулируется в следующем виде:

$$\begin{cases} P_{\text{a}} \to \max; \\ P_{loss} \to \min; \\ P_{loss}/T_h \to \max; \\ pf\,(power\ factor) \to \max; \\ E_t \to \max; \\ R_r = \text{const}; \\ M_r = \text{const}, \end{cases} \quad (1)$$

где P_{a} — активная мощность ЭМПЭ;

P_{loss} — полные потери в ЭМПЭ;

P_{loss}/T_h — тепловая нагрузка ЭМПЭ;

T_h — температура корпуса ЭМПЭ;

pf — коэффициент мощности ЭМПЭ;

E_t — технологичность ЭМПЭ.

Ввиду того, что каждый критерий, входящий в конечную функцию приспособленности (1), имеет различный численный порядок, необходимо привести все члены выражения (1) от размерных величин к относительным единицам. Для этого полученные значения функции приспособленности относятся к заданным в шаге 1 значениям:

$$\begin{aligned} &\frac{P_{\text{a}}(R_r, M_r) \in X_r}{P_{\text{a}}(R_r, M_r) \in X_0} \to \max; \\ &\frac{P_{loss}(R_r, M_r) \in X_r}{P_{loss}(R_r, M_r) \in X_0} \to \min; \\ &\frac{P_{loss}(R_r, M_r)/T_h(R_r, M_r) \in X_r}{P_{loss}(R_r, M_r)/T_h(R_r, M_r) \in X_0} \to \max; \\ &\frac{pf(R_r, M_r) \in X_r}{pf(R_r, M_r) \in X_0} \to \max; \\ &\frac{E_t(R_r, M_r) \in X_r}{E_t(R_r, M_r) \in X_0} \to \max; \\ &R_r = \text{const}; \\ &M_r = \text{const}, \end{aligned}$$

где X_r — множество энергетических параметров рассматриваемой конструктивной схемы;

X_0 — множество энергетических параметров изначально заданной (на шаге 1) конструктивной схемы.

Полученная задача является многокритериальной, для ее решения ищется решение оптимальное в смысле Парето.

В результате выполнения данного шага с помощью ГА определяют множество $(z_1 ... z_i) \in Z_0$, которое описывает оптимальную конструктивную схему ЭМПЭ. На различных этапах предлагаемого алгоритма устанавливают свои функции приспособленности.

4. После выбора оптимальной конструктивной схемы ЭМПЭ необходимо провести оптимизацию основных геометрических размеров ЭМПЭ для данной конструктивной схемы. На данном этапе фиксируется множество $(z_1 ... z_i) \in Z_0$, а множество $(r_{1r} ... r_{ir}) \in R_r = \text{var}$. В большинстве случаев на данном шаге рассматривают оптимизацию активной длины ротора и статора, воздушного зазора, диаметра ротора, размеров паза и т.д. Для решения данной задачи также используют ГА для численной оптимизации, который реализован в различных программных пакетах, например в Ansys Maxwell. На данном шаге свои функции приспособленности, в которых уже учитывается и цена материалов, и их масса: удельная мощность ЭМПЭ, удельная мощность потерь и удельная тепловая эффективность, удельная цена ЭМПЭ, а также коэффициент мощности, в том случае если мощность ЭМПЭ задана и фиксирована.

5. После выбора оптимальной конструктивной схемы ЭМПЭ геометрических размеров необходимо провести оптимизацию используемых материалов ЭМПЭ. Данный шаг выполняют аналогично шагу 4 с использованием таких же функций приспособленности. При этом $(z_1 ... z_i) \in Z_0 = \text{const}$; $(r_{1r} ... r_{ir}) \in R_r = \text{const}$; $(m_{1r} ... m_{ir}) \in M_r = \text{var}$.

6. После выполнения шагов 4 и 5 предлагаемого алгоритма образуются новые множества оптимальных геометрических размеров, свойств материалов и энергетических характеристик ЭМПЭ: $(x_{10} ... x_{i0}) \in X_{r0}$; $(m_{10} ... m_{i0}) \in M_0$; $(r_{1r0} ... r_{ir0}) \in R_{r0}$. В результате итерации шагов 2 и 3 с новым множеством фиксированных размеров определяют новое множество $(z_{10} ... z_{i0}) \in Z_r$, которое описывает оптимальную конструктивную схему ЭМПЭ для новых входных геометрических размеров и свойств материалов.

7. Проводят сравнение множеств Z_r и Z_0. Если данные множества равны, то разработанный ЭМПЭ может считаться оптимальным. Если нет, то шаги 4—7 повторяют с заменой множества Z_0 на Z_r до момента соблюдения их равенства.

8. В результате выполнения предлагаемого алгоритма на выходе разработчик получает четыре множества, которые описывают: конструктивную схему, геометрические размеры, энергетические характеристики и свойства материалов оптимального ЭМПЭ. При этом возможно определение таких множеств для различных типов ЭМПЭ и их конкурентное сравнение. Причем в данном случае будет проводиться сравнение оптимальных для своего типа и заданных параметров ЭМПЭ. Аналогичным методом проводится оптимизация внешнего и внутреннего ротора.

Использование ГА для оптимизации конструктивной схемы ЭМПЭ

Основной частью предложенного метода оптимального проектирования ЭМПЭ является использование ГА. Для использования ГА при проектировании и разработке ЭМПЭ с учетом многодисциплинарности задачи необходимо представить конструктивные особенности ЭМПЭ в виде двоичного кода, описывающего свойства хромосомы.

При описании одного ЭМПЭ предлагается использовать, в отличие от стандартного ГА, несколько хромосом, каждая из которых описывает элемент ЭМПЭ (рис. 1): систему охлаждения, подшипниковые узлы, ротор, статор, при необходимости конструктивные элементы (щиты, корпус), при этом последняя хромосома описывает тип ЭМПЭ (генератор или двигатель) аналогично набору человеческих хромосом.

Каждая хромосома, входящая в набор хромосом, описывающих ЭМПЭ, отличается по своему размеру от другой хромосомы этого же ЭМПЭ, но равна по своей длине такой же хромосоме другого ЭМПЭ. Каждый ген, характеризующий ту или иную часть хромосомы, имеет также свой размер, который может варьироваться от 2 до 100 знаков, в зависимости от описываемого свойства ЭМПЭ. Скрещивание ЭМПЭ предлагается проводить внутри хромосом, но при этом для каждой хромосомы точка скрещивания индивидуальна. Данное представление является более близким к живым организмам, чем к традиционным ГА, и поэтому позволит кроме задач оптимизации, что характерно для ГА, решать задачи создания новых ЭМПЭ с оптимальными характеристиками, на основе синтеза множества конструктивных схем и расчета функции их приспособленности (рис. 2).

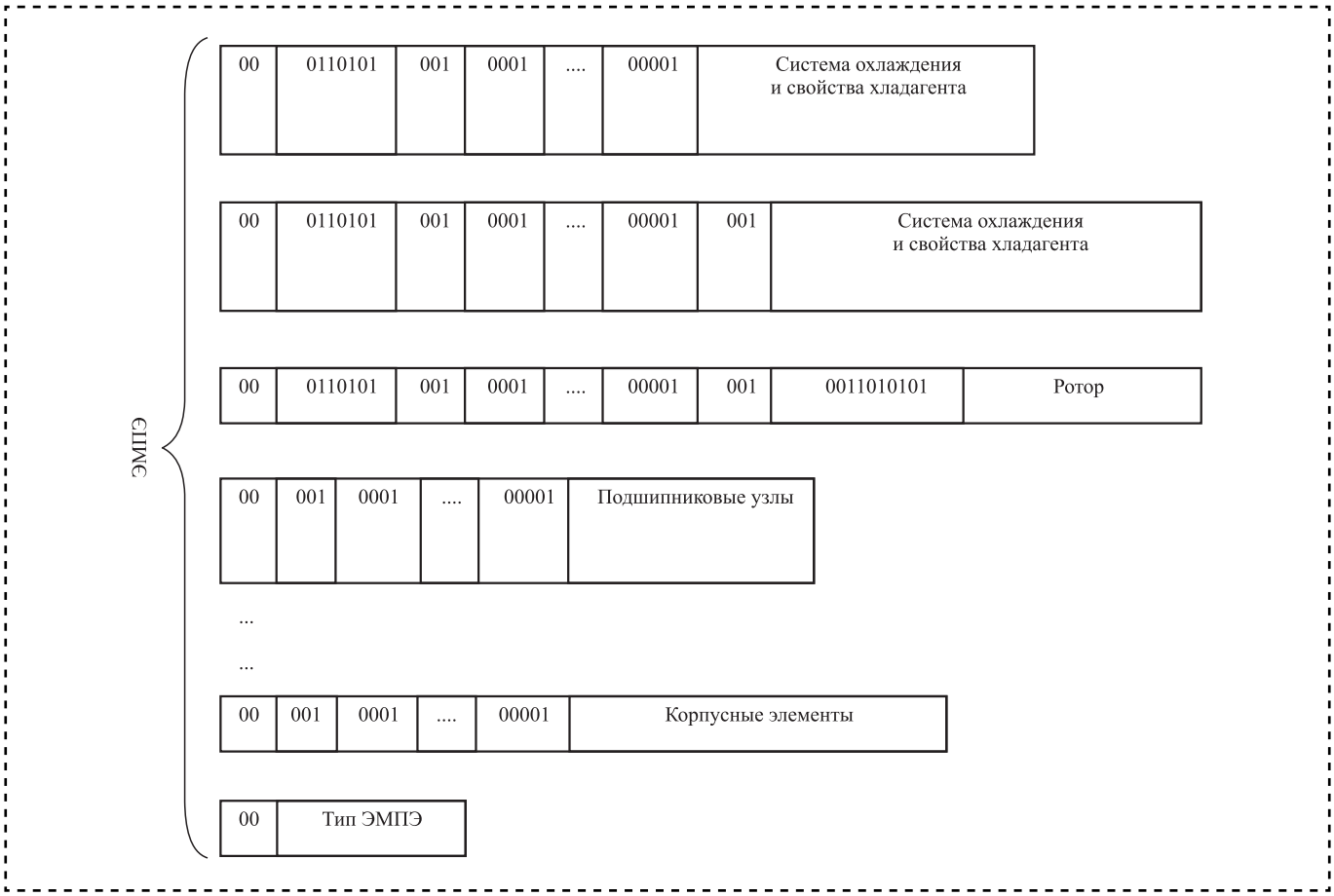


Рис. 1. Описание конструктивных признаков ЭМПЭ

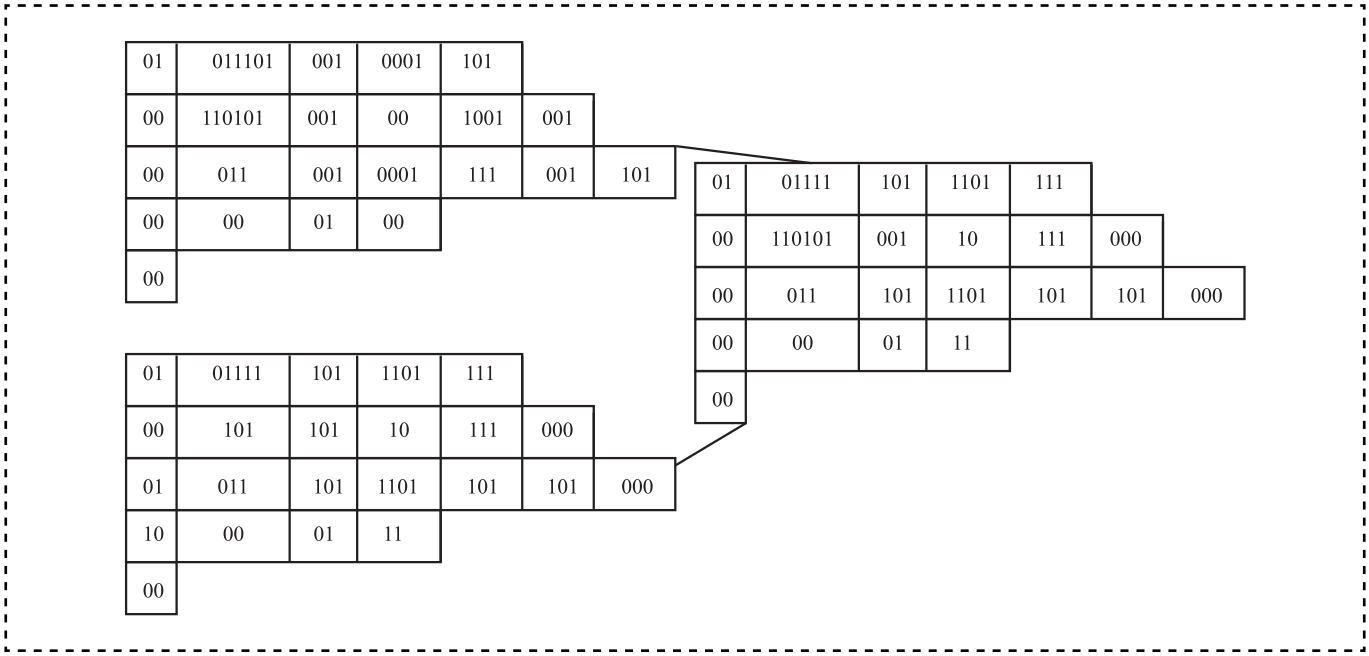


Рис. 2. Скрещивание двух конструктивных схем ЭМПЭ в ГА:
точки скрещивания (1, 3, 3, 1)

Вариант цифрового кода хромосомы магнитопровода статора с обмоткой

Радиальный/аксиальный 00/01; 10
Внешний/внутренний 00/01
Пазовый/беспазовый 00/01
Тип паза . . . . . .00...1010
Число фаз . . . . . .00000...10010
Тип обмотки . . . . . .00...1010
Шихтованный/нешихтованный 00/01

После формирования цифрового кода ЭМПЭ, согласно правилам генетических алгоритмов формируется начальная популяция, представляющая собой совокупность различных конструктивных схем ЭМПЭ. Формирование родительской популяции происходит панмиксией. Для данной популяции рассчитывают функции приспособленности. Далее в выбранной паре родителей осуществляется кроссинговер (скрещивание хромосом) и мутация, на основании которых формируется новая популяция (новое поколение) конструктивных схем ЭМПЭ и расчет для них функции приспособленности. Кросинговер проводят методом рулетки (см. рис. 2).

В качестве численного примера для апробации предложенного метода рассмотрена оптимизация трехфазного высокооборотного ЭМПЭ с постоянными магнитами, расположенными на роторе мощностью 100 кВт и частотой вращения ротора 60 000 мин$^{-1}$. Система охлаждения ЭМПЭ — жидкостная, канальная. Максимально допустимая плотность тока 7 А/мм^2 (таблица).

Результаты оптимизации геометрических размеров исходной конструктивной схемы ЭМПЭ

Параметры	Исходный ЭМПЭ	Оптимизированный ЭМПЭ
Частота тока, Гц	2000	2000
Масса ЭМПЭ, кг	24,158	11
Активная длина, мм^2	165	70
Плотность тока, А/мм^2	3,16	5,43
Индукция в воздушном зазоре, Тл	0,589	0,68
Площадь паза, мм^2	199	200
Тип магнита/марка стали	Sm_2Co_{17}/2421	Sm_2Co_{17}/2421
Потери, Вт	1390	1640
Ширина пазовой щели, мм	1	4,12
Коэффициент мощности	0,88	0,99

Заключение

Представлен новый алгоритм оптимального проектирования ЭМПЭ, основанный на генетическом алгоритме. Разработано математическое описание предлагаемого алгоритма и проведено оптимальное проектирование высокооборотного ЭМПЭ предлагаемым методом. Новый метод оптимального проектирования позволил получить ЭМПЭ, масса которого в два раза меньше исходного, активная длина ротора в 2,37 меньше исходного, плотность тока увеличилась (по отношению к исходному) в 1,7 раза при этом потери увеличились только на 25 % (материалы, мощность и частота вращения обоих ЭМПЭ одинаковы). Установлено, что оптимальность той или иной конструктивной схемы, в том числе магнитной системы ротора или типа паза, зависит от пула размеров. И изменение этого пула приводит к изменению оптимальной конструктивной схемы.

Библиографический список

1. **Zhang P., Sizov G., Ionel D., Demerdash N.** Design Optimization of Spoke-Type Ferrite Magnet Machines by Combined design of Experiments and Differential Evolution Algorithms // IEEE International Electric Machines Drives Conference (IEMDC). 2013. P. 892—898.
2. **Duan Y., Ionel D.** Nonlinear Scaling Rules For Brushless PM Synchronous Machines Based On Optimal Design Studies For A Wide Range Of Power Ratings // IEEE Transactions On Industry Applications. 2014. Vol. 50. No. 2. P. 1044—1052.
3. **Bianchi N., Bolognani S.** Brushless DC Motor Design: an Optimisation Procedure Based on Genetic Algorithms // Eighth International Conference on Electrical Machines and Drives. 1997. P. 16—20.
4. **Duan Y., Ionel D.** Nonlinear Scaling Rules for Brushless PM Synchronous Machines Based on Optimal Design Studies for a Wide Range of Power Ratings // IEEE Transactions on Industry Applications. 2014. Vol. 50. No. 2. P. 1044—1052.
5. **Hansen E.** Global Optimization using Interval Analysis, Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York 100016, 1992.
6. **Lefevre Y., Fontchastagner J., Messine F.** Building a CAD-system for educational purpose based only on a mesh tool and a FE solver // IEEE Transactions on Magnetics. 2006. Vol. 42. No. 4. P. 1483—1486.
7. **Messine F.** Extension of Affine Arithmetic: Application to Unconstraineded Global Optimisation // Journal of Universal Computer Science. Vol. 8. 2002. P. 992—1015.
8. **Messine F.** Deterministic Global Optimization using Interval Constraint Propagation Techniques // RAIRO Operations Research. Vol. 38. No. 4. 2004.

9. **Messine F.** A Deterministic Global Optimization Algorithm for Design Problems, chapter in Essays and Surveys in Global Optimization / Ch. Audet, P. Hansen et G. Savard. 2005. P. 267—294.

10. **Oganov A.R., Glass C.W.** Evolutionary crystal structure prediction as a tool in materials design // Journal of Physics: Condensed Matter. 2008. T. 20. No. 6.

11. **Belousov A.I., Sapozhnikov A.Y.** Synthesis of basic structural design of aircraft GTE based on genetic algorithms // Russian Aeronautics. 2015.

12. **Oganov A.R., Valle M.** How To Quantify Energy Landscapes Of Solids // Journal of Chemical Physics. 2009. T. 130. No. 10. P. 104.

13. **Krishnamoorthy A., Dharmalingam K.** Application Of Genetic Algorithms In The Design Optimization Of Three Phase Induction Motor // Journal of Computer Applications. 2009. Vol. 2. No. 4. P. 1—5.

14. **Stipetic S., Miebach W., Zarko D.** Optimization in Design of Electric Machines: Methodology and Workflow // ACEMP—OPTIM — ELECTROMOTION joint conference. 2015.

15. **Uler G.F., Mohammed O.A., Koh C.-S.** Design optimization of electrical machines using genetic algorithms // IEEE Transactions on Magnetics. Vol. 31.

16. **Cho D.H., Jung H.K., Lee C.G.** Induction Motor Design For Electric Vehicle Using A Niching Genetic Algorithm // IEEE Transactions on Industry Applications. 2001. Vol. 37. No. 4.

17. **Бежитский С.С., Головенко Е.А., Горемыкин В.А., Первухин М.В.** О решении задачи оптимального выбора параметров питания линейной индукционной машины генетическим алгоритмом с локальным поиском // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2010. № 4 (30). С. 23—27.

18. **Pragasen Pillay, Ray Nolan.** Application of Genetic Algorithms to Motor Parameter Determination for Transient Torque Calculations // IEEE Transactions On Industry Applications, 1997. Vol. 33, No. 5. P. 1273—1282.

19. **Yao Duan, Dan M.** New Method for Electrical Machine Design and Optimization // ANSYS User Conference. 2011.

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение" продолжает подписку на журнал

"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. 2а, стр. 2
Тел.: 8 (495) 785-60-69
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

УДК 621.717

В.А. Федоров, В.В. Калмыков, Е.Н. Малышев, *канд. техн. наук*
(Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана)
E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Применение крючковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств в многономенклатурном сборочном производстве

Рассмотрено влияние параметров наладки крючкового бункерного загрузочно-ориентирующего устройства на его производительность. Экспериментально обоснована возможность эффективного применения таких устройств в составе транспортно-подающих систем в многономенклатурном производстве на основе принципов групповой наладки.

The dependence of adjustment settings of rotary hook hopper feeder on productivity is described. Experimentally substantiated the possibility of effective use of such devices in the transport-delivery systems in multiproduct manufacturing through the using of the group adjustment principles.

Ключевые слова: загрузочные устройства, многономенклатурное производство, производительность, групповая наладка.

Keywords: feeders, multiproduct production, productivity, group setup.

Автоматизация сборочных процессов в условиях многономенклатурного производства — сложная задача вследствие пространственных, размерных, физико-механических и прочих связей между объектами производства и средствами технологического оснащения. В настоящее время в машиностроении существуют примеры переналаживаемых сборочных систем [1], однако значительное отставание транспортно-подающих устройств от основного технологического (сборочного) оборудования по критерию гибкости является существенной проблемой, не позволяющей в ряде случаев создавать полностью автоматизированные сборочные производственные системы.

Гибкие транспортно-подающие системы, оснащенные средствами технического зрения и очувствления и способные обращаться с объектами широкой номенклатуры, зачастую по стоимости превосходят само сборочное оборудование, поэтому их применение не всегда экономически оправдано. Большинство же известных "неинтеллектуальных" средств автоматического ориентирования и выдачи деталей из навала (карманчиковые, щелевые, штыревые, крючковые и другие аналогичные загрузочно-ориентирующие устройства), имеющие приемлемые стоимость и производительность, спроектированы применительно к массовому производству без возможности переналадки. В то же время обеспечить их эффективное использование в условиях серийного производства возможно на основе принципов групповой наладки [2].

На рис. 1 показано крючковое бункерное загрузочно-ориентирующее устройство (БЗОУ) для ориентирования и выдачи из навала деталей

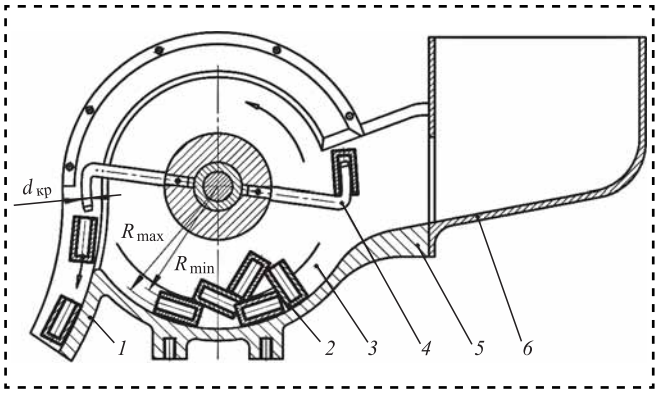


Рис. 1. Крючковое бункерное загрузочно-ориентирующее устройство

Производительность БЗОУ при различных значениях параметров ориентируемых втулок и настройках положения крючка

Типоразмер втулок	Наружный диаметр втулки, мм	Диаметр отверстия во втулке, мм	Длина втулки, мм	Производительность БЗОУ, %				
				при индивидуальной наладке (рис. 2)			при групповой наладке (рис. 3)	
				$R_н$	$R_о$	$R_в$	R =184 мм	R =175 мм
1	20	16	26	82,6	74,6	73,3	80,2	—
2	24	16	36	85,2	76,4	80,5	84,2	—
3	30	24	54	74,3	83,3	83,7	78,3	—
4	34	26	44	82,1	81,7	83,8	80,1	82,8
5	34	22	50	82,6	85,3	80,3	—	80,6
6	36	26	60	81,1	77,4	82,9	—	83,4
7	40	24	64	82,0	77,9	84,3	—	82,5
8	46	30	70	78,7	86,0	84,0	—	79,9

типа втулки и колпачки. Детали *2*, поступающие в бункер *5* из предбункера *6*, размещаются хаотично в направляющем желобе *3* бункерного пространства, где их захватывают крючки *4* и передают в ориентированном виде в приемник *1*. Представленное устройство компактно, надежно, обладает высокой производительностью — до 180 шт./мин [3].

Конструкция устройства позволяет использовать его для ориентирования значительной номенклатуры деталей типа тел вращения. При диаметре впадины в желобе бункера 400 мм это могут быть колпачки, втулки или трубки с наружным диаметром до 50 и длиной до 70 мм [4]. Наладка и переналадка этого устройства при работе с деталями, размеры которых находятся в указанных пределах, заключаются в выставлении крючков в положение, обеспечивающее выдачу ориентированных деталей с максимальной производительностью.

Задачи исследования: установление влияния параметров наладки крючкового БЗОУ на его производительность и минимизация числа переналадок крючкового БЗОУ при работе с деталями большой номенклатуры путем использования групповой наладки.

Крючок, посредством которого осуществляется ориентирование, выбор и транспортирование деталей из навала бункерного пространства, состоит из трех частей: заборная часть, которая входит в отверстие детали и транспортирует ее в ориентируемом виде до сброса в приемник, крепежная часть, посредством которой крючок ориентируется и крепится во вращательном механизме, и стержень, связывающий заборную и крепежную части.

Для экспериментального определения влияния параметров наладки БЗОУ на его производительность использовано крючковое БЗОУ с диаметром желоба 400 мм. Для ориентирования выбрано восемь типоразмеров втулок (таблица) и крючок диаметром заборной части 6 мм. Эксперименты проводили с каждым типоразмером втулок отдельно, при этом крючок последовательно устанавливали в три положения относительно ориентируемых деталей (рис. 2): первое положение — крючок касался втулки, находящейся на днище бункера, в крайней нижней точке отверстия; второе положение — касался в крайней верхней точке; третье положение — ось заборной части крючка совпадала с осью втулки.

При проведении экспериментов в процессе работы бункера число деталей в нем пополнялось и поддерживалось постоянным — 30 штук, частота вращения крючка во всех экспериментах — 16 мин$^{-1}$. Производительность рассматривалась как процент выдачи из БЗОУ ориентированных деталей за 100 оборотов крючка.

Проверка результатов экспериментальных исследований (посредством определения коэффициентов ранговой корреляции r-Спирмена) показала весьма слабую корреляционную зависи-

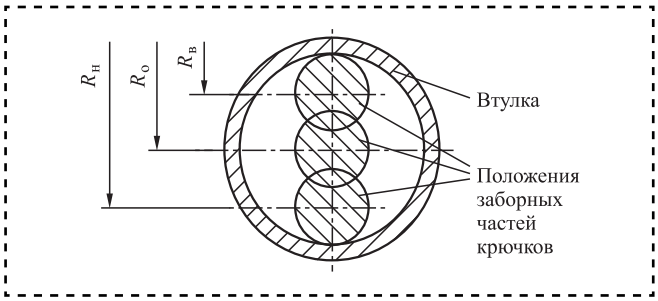


Рис. 2. Положение крючков в отверстии втулки и их наладочные размеры

мость процента захвата деталей от рассматриваемых факторов, т.е. производительность крючкового БЗОУ при разных значениях наружного диаметра, диаметра отверстия и длины втулок практически не зависит от положения крючка внутри отверстия этих деталей. Это позволяет без существенной потери или роста производительности (не более 3...5 %) осуществлять ориентирование группы различных деталей при одной настройке крючка, несмотря на то, что при такой настройке для одних деталей группы крючок будет сориентирован в отверстии по центру, а для других — по предельным верхнему или нижнему положениям.

В исследованиях поставлена и решена задача организовать на основе групповой наладки крючкового БЗОУ ориентированную выдачу на оборудование восьми типоразмеров деталей типа втулки, параметры которых приведены в таблице. При этом заборная часть крючка должна гарантированно заходить в отверстие каждой детали в группе. С учетом требований к жесткости диаметр заборной части крючка принят 6 мм.

Групповая наладка подразумевает установление такого положения крючка (или крючков), при котором возможно выбирать из бункера и ориентировать группу деталей нескольких типоразмеров с каждой отдельной установки (наладки) крючков. К параметрам групповой наладки крючковых БЗОУ следует отнести допустимые границы положения крючков R_{max} и R_{min}, отвечающих заданному диапазону типоразмеров ориентируемых деталей (см. рис. 1). Граница R_{max} — наибольшее расстояние от оси вращения крючка до поверхности отверстий в ориентируемых втулках в направлении перпендикулярно оси втулки. Граница R_{min} — расстояние от оси вращения крючка до ближайшей точки отверстия на торце втулки со стороны входа крючка в отверстие. Границы R_{max} и R_{min} задают "просвет" — область отверстия во втулке для захода крючка во время захвата и ориентирования.

На рис. 3 показаны границы R_{max} и R_{min} для каждого выбранного типоразмера деталей. Втулки типоразмеров 1, 2, 3 и 4 имеют общую область "просветов", ограниченную значениями R_{max} = = 188,10 мм и R_{min} = 180,30 мм, разность которых более 6 мм, а значит эти втулки могут быть ориентированы на основе однократной наладки положения ориентирующих крючков со значением вылета крючка (расстояние от оси вращения крючка до оси его заборной части) R = 184 ± 1 мм. Втулки типоразмеров 4, 5, 6, 7 и 8 имеют общую область "просветов", ограниченную значениями R_{max} = = 179,20 мм и R_{min} = 171,03 мм, разность которых более 6 мм, а значит эти втулки также могут быть ориентированы на основе однократной наладки положения ориентирующих крючков со значением вылета крючка R = 175 ± 1 мм. Отнесение типоразмера 4 к первой или второй группе должно быть принято с учетом величины партии деталей, особых требований к производительности и экономичности процесса ориентирования.

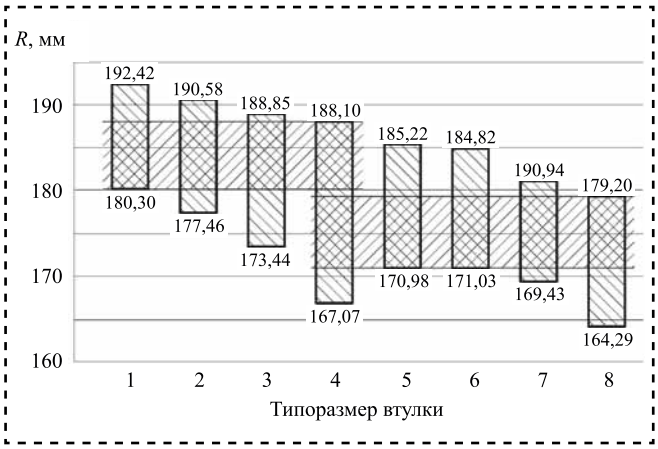


Рис. 3. Расположение "просветов" для заведения крючков в отверстия втулок

Проведенные эксперименты показали, что производительность крючкового БЗОУ при групповой наладке (см. таблицу) соответствует его производительности при индивидуальных наладках — отклонение значений при групповой наладке от средних значений при индивидуальных наладках не превышает 5 %.

Вывод

Установлено, что производительность крючкового БЗОУ практически не зависит от положения крючка внутри "просвета" ориентируемых деталей типа втулка, что позволяет при одной настройке крючка осуществлять ориентирование групп втулок различных размеров без потери производительности, а значит обеспечивать возможность эффективного применения крючковых БЗОУ в условиях многономенклатурного производства на основе использования принципов групповой наладки.

Библиографический список

1. **Козырев Ю.Г.** Программно-управляемые системы автоматизированной сборки. М.: Издательский центр "Академия", 2008. 304 с.

2. **Малышев Е.Н., Калмыков В.В.** Обеспечение переналаживаемости бункерных загрузочных устройств // Инженерный вестник: Электронный научно-технический журнал. 2013. № 9. С. 1. [Электронный ресурс], URL: http://engbul.bmstu.ru/doc/654954.html.

3. **Шишмарев В.Ю.** Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие. М.: Издательский центр "Академия", 2005. 352 с.

УДК 656.13: 05.22.10

Е.А. Дубовик
(Ростовский государственный университет путей сообщения)
E-mail: dubovik1982@list.ru

Сборка и разборка шатунно-поршневой группы машин

Описаны методы дефектации деталей и применяемый инструмент. Приведен алгоритм расчета гидравлического привода стенда для сборки и разборки шатунно-поршневой группы машин — основополагающего механизма двигателя внутреннего сгорания машин, позволяющего сократить затраты на разборку и сборку этого механизма.

Methods a fault detection detail and used tools are described. The algorithm of calculation hydraulic drive of the stand for assembly and disassembly of the connecting rod and piston machines — the fundamental mechanisms of internal combustion engine cars that reduce the costs of disassembling and assembling it is given.

Ключевые слова: автомобиль, алгоритм, дефектация, инструмент, стенд, привод.

Keywords: car, algorithm, fault detection, tool, stand, drive.

Дефектация деталей — часть технологического процесса ремонта двигателей и агрегатов, заключающаяся в выявлении дефектов деталей и сборочных единиц и оценки их пригодности для дальнейшего использования. Она состоит из следующих операций: технического контроля, сортировки и учета деталей ремонтного фонда. Дефект — это любое несоответствие детали требованиям технических условий (при контроле, сортировке и восстановлении). К дефектам относят износы поверхностей деталей (внутренних и внешних), трещины, обломы, пробоины, задиры, коробление, коррозию. На дефектацию детали поступают в специальных сортировках или корзинах. Дефектовочные работы выполняют на основе типовой инструкции. Дефектации подвергают все очищенные и обезжиренные детали агрегатов, поступивших на капитальный ремонт, которые по техническим условиям должны быть обязательно заменены. Дефекты головок блока и блоков двигателей водяных масляных насосов и топливной аппаратуры выявляют непосредственно на рабочих местах их ремонта.

Отделения дефектации деталей оснащают стендами и стеллажами — для контроля крупных деталей и дефектоскопами — для обнаружения трещин, столами с ячейками. Комплект контрольного инструмента подразделяют на три группы:

для визуального выявления дефектов — лупы;

жесткий мерительный инструмент для проверки размеров деталей — скобы, калибры, шаблоны, пробки (рис. 1);

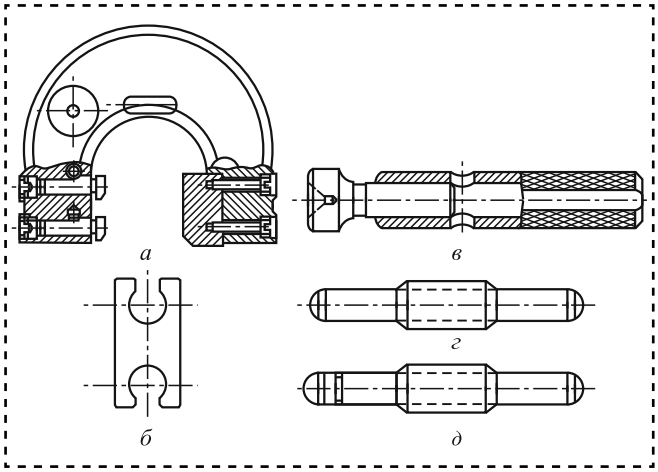


Рис. 1. Жесткий мерительный инструмент:
а — скоба с регулируемыми штифтами; *б* — скоба нерегулируемая; *в* — пробка с регулируемым штифтом; *г* — пробка нерегулируемая проходного размера; *д* — пробка нерегулируемая непроходного размера

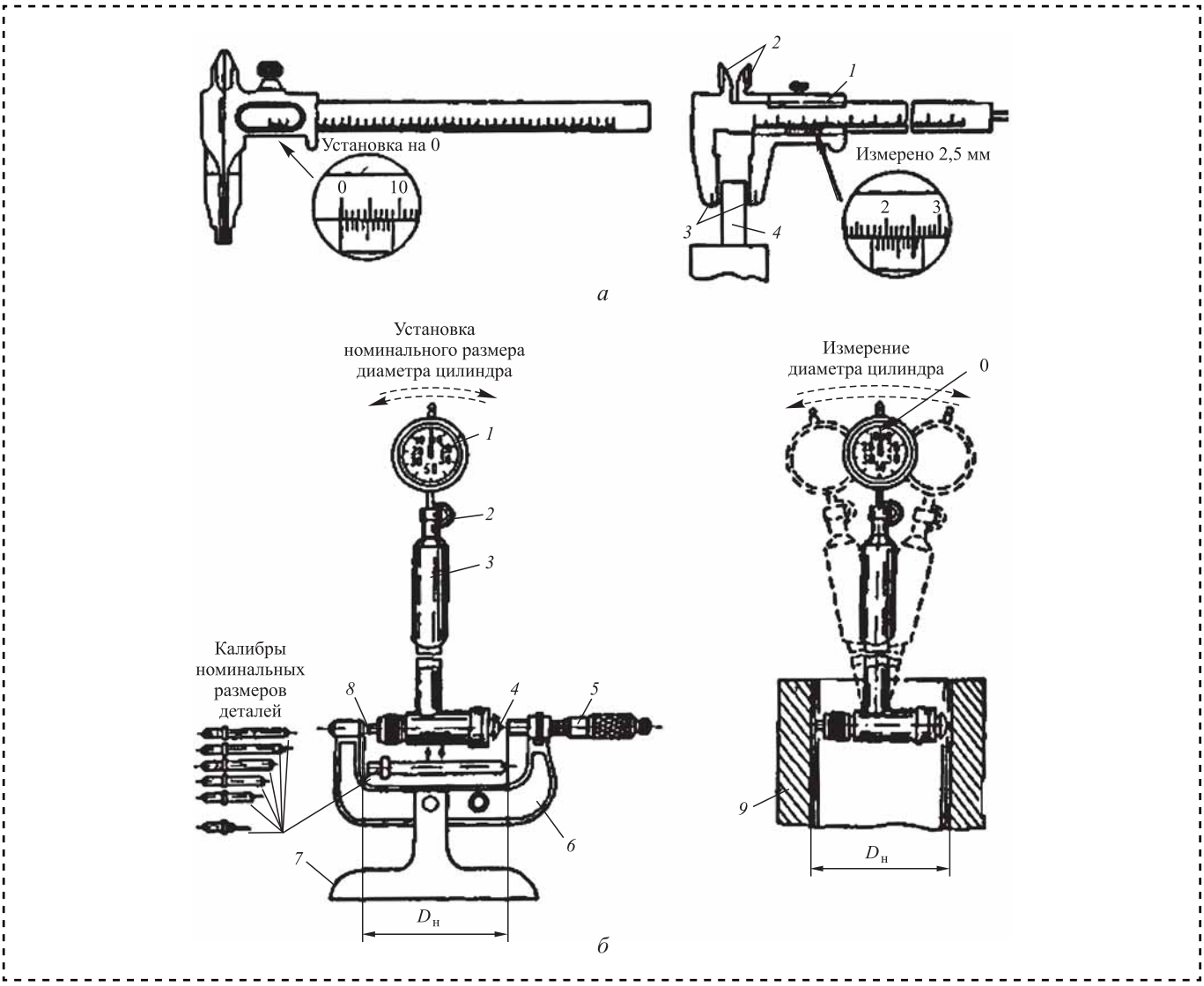


Рис. 2. Универсальный измерительный инструмент:
а — штангенциркуль: *1* — подвижные губки со шкалой нониуса; *2* — губки для измерения внутренних размеров в деталях; *3* — губки для измерения наружных размеров детали; *4* — деталь; *б* — индикатор-нутрометр и микрометр: *1* — индикатор; *2* — винт крепления индикатора; *3* — корпус индикатора-нутрометра; *4* — неподвижная пята индикатора; *5* — подвижный лимб со шкалой нониуса, штоком и трещоткой; *6* — скоба микрометра с неподвижной шкалой; *7* — подставка; *8* — подвижная пята индикатора-нутрометра; *9* — деталь

универсальный измерительный инструмент — индикаторы, микрометры, нутромеры, штангенциркули, наборы щупов, призмы, плиты поверочные, линейки измерительные и поверочные (рис. 2).

В качестве универсального измерительного инструмента применяют пневматические длинномеры высокого давления ротаметрического типа модели 320, отличающиеся большой точностью. Эти длинномеры применяют при дефектации гильз цилиндров, втулок, шатунов.

Особое внимание уделяют контролю деталей, от технического состояния которых зависит безопасность движения.

Износ поверхностей цилиндрических деталей определяют универсальным измерительным инструментом, пневматическими микроэлементами, индикаторными скобами, предельными калибрами и шаблонами.

Износы фасонных рабочих поверхностей (резьбы, зубьев, шестерен, кулачков) и деформации в деталях — калибрами, шаблонами, индикаторами и другими механическими приспособлениями.

Скрытые дефекты выявляют гидравлическим, электромагнитным, ультразвуковым и люминесцентным методами.

Гидравлический метод испытания проводят герметизацией отверстий в деталях и сборочных

единицах и испытанием их водой под давлением 0,3...0,4 МПа с выдержкой в течение 5 мин. Применяется для выявления трещин в блоках и головках блока цилиндров в выпускных и впускных коллекторах. При этом используют универсальные и специализированные стенды.

Электромагнитный метод основан на создании магнитного поля в детали, изготовленной из металла. При прохождении электрического тока по обмоткам катушки деталь, находящаяся в магнитном поле катушки, намагничивается. Намагниченную деталь обливают маслом, смешанным с железным порошком. Группировка магнитного порошка показывает наличие, форму и место расположения мелких трещин в детали.

Ультразвуковой метод контроля основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в металле на большие расстояния в виде направленных пучков и отражаться от дефектного участка детали из-за резкого изменения плотности металла.

Люминесцентный метод выявления дефектов применяют для обнаружения трещин в деталях, изготовленных из неметаллических материалов. Он основан на способности некоторых веществ поглощать световую энергию, а затем отдавать ее в виде светового излучения.

Для контроля герметичности деталей в местах сварки, пайки, для выявления течей при наличии пористости и сыпи применяют метод керосиновой пробы.

Продефектованные детали маркируют краской: годные — белой или голубой; подлежащие восстановлению — желтой или зеленой; негодные — красной.

Ответственные детали подвергают клеймению. Допускается нанесение знаков, указывающих маршрут восстановления деталей.

После контроля детали небольшой массы передают: годные — в комплектовочные кладовые; требующие восстановления — на склад деталей, ожидающих ремонта; негодные — на склад металлолома. Крупные детали и сборочные единицы, блоки цилиндров, головки блоков после контроля и сортировки направляют: годные — на места сборки; требующие восстановления — на соответствующие участки; негодные — в металлолом под строгим контролем во избежание случаев попадания их на сборочные посты сопряжений и агрегатов.

При передаче проверенных деталей в кладовые проводят учет наиболее важных из них. Отдельно учитывают подшипники качения, шестерни, контрольные приборы.

Операции дефектации выполняют высококвалифицированные контролеры-дефектовщики, которые подчиняются начальникам ОТК. Рабочие места дефектовщиков специализируются, как правило, по однотипным деталям и узлам. Такая специализация позволяет внедрять средства активного контроля деталей с применением ЭВМ.

От правильной организации дефектовочных работ зависит эффективность технологического процесса ремонта двигателей и агрегатов.

При дефектации деталей собирается информация о количественном соотношении годных, негодных и требующих восстановления деталей, которая в дальнейшем используется при планировании всех других видов ремонтных работ.

На основе данных о числе негодных деталей устанавливается потребность в запасных частях и числе деталей, которое необходимо изготовить, а на основе данных о деталях, нуждающихся в восстановлении, составляется план работы для соответствующих участков цеха по восстановлению и изготовлению деталей.

В качестве контроля восстановления кривошипно-шатунного механизма (КШМ) на участках технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов используют технологическую последовательность, а именно технологические и операционные карты.

Ремонт поршневой группы — один из самых трудоемких технологических процессов восстановления двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей, так как основан на ручной разборке и сборке.

Для механизации и улучшения качества работ, связанных с разборкой и сборкой шатунно-поршневой группы двигателей автомобилей ЗИЛ, разработан и применяется стенд РУНА-5221. С его помощью выполняют операции выпрессовки поршневого пальца из поршня и втулки из шатуна.

Технические характеристики стенда [1]

Производительность, шт./ч	8
Число одновременно разбираемых поршней с шатуном	1
Силовой агрегат — гидравлическая станция	029.3425А
Максимальное рабочее давление, МПа (кгс/см^2)	35 (350)
Тип и модель гидравлического насоса станции	Пластинчатый, БГ 12—41
Номинальное давление нагнетания, МПа (кгс/см^2)	10 (100)

Подача, л/мин. 10,4
Установленная мощность, кВт 2,2
Электродвигатель: . . . . . Модель 4АМ90L4
частота вращения ротора, мин$^{-1}$ . .5 (1500)
напряжение, В 380
Рабочая жидкость, используемая
в гидроприводе . . . . . .Масло индустриальное И-20 (ГОСТ 20799—75)
Емкость масляного бака, л 50
Габаритные размеры стенда, мм:
длина 1360
ширина 1000
высота 1700
Масса, кг 1000

Стенд, по отзывам специалистов предприятий автосервиса, зарекомендовал себя очень хорошо. Однако он — узкоспециализированный, поэтому использовать его при ремонте ДВС других АТС нельзя. Этот стенд можно приспособить к другим ДВС, изменив параметры его гидравлического привода.

Алгоритм расчета гидравлического привода стенда РУНА-5221

1. Выбор давления $p_ц$ в рабочей полости гидроцилиндра стенда и развиваемой данным давлением максимальной силы $F_ц$ на штоке цилиндра, т.е. можно ли на этом стенде разобрать и собрать шатунно-поршневую группу нужного ДВС. Значение $F_ц$ перед перенастройкой стенда определяют экспериментально:

$$F_ц = F_{вып} + F_{тр},$$

где $F_{вып}$ — необходимая сила для выпрессовки, совпадающая с направлением подачи;

$F_{тр}$ — сила трения, $F_{тр}$ = 0,15...0,20.

Зная $F_ц$ и $p_ц$ в цилиндре стенда, определяем эффективную площадь $S_п$ и диаметр $D_п$ поршня:

$$S_п = \frac{F_ц}{p_ц};$$

$$D_п = 2\sqrt{\frac{S_п}{\pi}}.$$

В технических условиях соотношение скоростей прямого и обратного хода поршня не регламентируется, тогда для мощных систем диаметр штока $d_ш$ цилиндра можно выбрать 0,4...0,5$D_п$.

2. Расчет мультипликатора. Определяем отношения площадей большого $S_б$ и малого $S_м$ поршней мультипликатора и их ходов:

$$\frac{S_б}{S_м} = \frac{p_м}{p_б} = \frac{d_ш}{D_п},$$

где $p_м$ — малое давление мультипликатора;

$p_б$ — большое давление мультипликатора.

Ход большого поршня мультипликатора с диаметром штока $d_ш$ = 50 мм $h_б$ = 1,4$d_ш$:

$$\frac{h_м}{h_б} = \frac{S_м}{S_б}.$$

3. Определение параметров гидропривода и выбор гидронасоса. Примем скорость рабочего перемещения поршня гидроцилиндра $v_п$ = 0,03 м/с и определим требуемые расходы в нагнетательной и сливной линиях гидроцилиндра.

Расход рабочей жидкости:

$$Q_{наг} = \frac{\pi D_п^2 v}{4};$$

$$Q_{сл} = \frac{\pi\left(D_п - d_ш\right)^2 v}{4},$$

где $Q_{наг}$ — расход рабочей жидкости через бесштоковую полость одноштокового цилиндра — нагнетательную линию;

$Q_{сл}$ — расход рабочей жидкости через сливную линию;

v — скорость движения рабочей жидкости по трубопроводу.

Подача $Q_н$ нерегулируемого насоса:

$$Q_н = Q_{max} + \sum Q_{га} + Q_{кл},$$

где Q_{max} — максимальный расход рабочего тела;

$\Sigma Q_{га}$ — суммарные потери рабочего тела в гидроаппаратуре;

$Q_{кл}$ — расход рабочего тела через предохранительный клапан, необходимый для обеспечения устойчивой работы привода, $Q_{кл}$ = 3 л/мин.

Объемные потери $\Sigma Q_{га}$ в гидроаппаратах:

$$\sum Q_{га} = m q_{га} p_ц,$$

где m — масса рабочего тела;

$q_{га}$ — удельные потери (утечка) в гидроаппаратуре.

Потребное наибольшее давление, развиваемое гидравлическим насосом:

$$p_{\text{нас}}^{\max} = p_{\text{н}} + \sum \Delta p_{\text{га}} + \sum \Delta p_{\text{тр}} + p_{\text{пр}},$$

где $\sum \Delta p_{\text{га}}$ и $\sum \Delta p_{\text{тр}}$ — суммарные потери давления соответственно в гидроаппаратуре и напорной гидромагистрали при максимальном расчетном давлении $p_{\text{н}}$ на входе мультипликатора;

$p_{\text{пр}}$ — противодавление в сливной полости гидроцилиндра, обеспечивающее равномерное движение его выходного звена при изменяющейся силе $F_{\text{ц}}$, $p_{\text{пр}}$ = 0,3...0,8 МПа.

Противодавление в гидроцилиндре:

$$p_{\text{пр}} = \sum \Delta\left(p_{\text{га}}\right)^{\text{сл}} + \sum \Delta\left(p_{\text{тр}}\right)^{\text{сл}},$$

где $\sum \Delta\left(p_{\text{га}}\right)^{\text{сл}}$, $\sum \Delta\left(p_{\text{тр}}\right)^{\text{сл}}$ — суммарные потери давления в гидроаппаратуре и сливной гидролинии.

Зная расход $Q_{\text{н}}$ рабочего тела в системе и давление $p_{\text{н}}$ в ней, определяем мощность $N_{\text{н}}$ гидравлического насоса:

$$N_{\text{н}} = P_{\text{н}} Q_{\text{н}},$$

где $p_{\text{н}}$ — давление, развиваемое насосом;

$Q_{\text{н}}$ — расход рабочего тела в системе.

Давление $p_{\text{гц}}$ в гидроцилиндрах

$$p_{\text{гц}} = K \frac{mg}{\sum S_{\text{ц}}},$$

где K — число гидроцилиндров;

m — масса рабочей жидкости, проходящей через гидроцилиндры.

Расход $Q_{\text{гц}}$ рабочей жидкости через гидроцилиндры:

$$Q_{\text{гц}} = K\text{v} S_{\text{ц}} = K\text{v} \frac{\pi D_{\text{ц}}^2}{4}.$$

Динамический напор $H_{\text{гц}}$ гидроцилиндров:

$$H_{\text{гц}} = K \frac{p_{\text{гц}}}{\rho g},$$

где ρ — плотность рабочей жидкости, используемой в гидросистеме;

g — ускорение свободного падения.

Типоразмер насоса выбираем по ТУ 2-053-1342—78.

4. Расчет параметров гидролиний. Внутренний диаметр d_i гидролиний:

$$d_i = K\sqrt{\frac{Q_{\text{гц}}}{\pi \text{v}_{\max}}},$$

где $Q_{\text{гц}}$ — расход жидкости на рассматриваемом участке гидролиний;

$\text{v}_{\max}$ — допустимая скорость течения жидкости в гидролиниях.

Максимальная скорость рабочей жидкости в гидролиниях: для всасывающей линии $\text{v}_{\max}$ = = 1,2 м/с, для сливной — 2 м/с. Для нагнетательной же линии эта скорость зависит от давления: при давлении до 2,5 МПа она не должна превышать 3 м/с, до 5 МПа — 4 м/с, до 10 МПа — 5 м/с и свыше 15 МПа — 8...10 м/с.

Толщина δ стенок всех трубопроводов:

$$\delta = \frac{k_{\text{з}} p_{\text{н}} d_{\text{н}}}{2\left[\delta_{\text{р}}\right]},$$

где $k_{\text{з}}$ — коэффициент запаса, учитывающий пульсации давления, $k_{\text{з}}$ = 1,3;

$[\delta_{\text{р}}]$ — допускаемые напряжения на разрыв стальных трубопроводов, $[\delta_{\text{р}}]$ = 50 МПа;

$d_{\text{н}}$ — наружный диаметр трубы;

$p_{\text{н}}$ — нормативное рабочее давление транспортируемой среды.

5. Расчет объема рабочей жидкости в гидробаке. Жидкость в гидросистеме охлаждается только за счет того, что поверхность бака излучает теплоту в окружающую среду. При переналадке стенда РУНА-5221 под другой ДВС потери ΔN мощности в его гидросистеме могут стать очень большими, т.е. перегрев ΔT жидкости превысит допустимые 35 К.

Для приемлемого теплообмена объем W масла в баке определяем по формуле:

$$W = 2700\sqrt{\left(\frac{\Delta N}{\Delta T}\right)^3}.$$

Для двух сечений потока, соответствующих началу и концу участка любого трубопровода, уравнение Бернулли имеет вид:

$$z + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha \frac{d\text{v}_1^2}{2g} = z + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha \frac{d\text{v}_2^2}{2g} + \sum H_i,$$

где z — потенциальная энергия положения частички жидкости над некоторой плоскостью отсчета;

p_1, p_2 — давления на входе и выходе участка соответственно;

α — коэффициент Кориолиса;

$d\mathrm{v}_1^2/2g$, $d\mathrm{v}_2^2/2g$ — кинетическая энергия потока на входе и выходе участка;

v_1, v_2 — скорости потока на входе и выходе участка;

H_i — суммарный полный напор i-го участка.

Сумму трех первых членов этой формулы можно представить в виде:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{d\mathrm{v}^2}{2g} = H,$$

где H — полный напор, т.е. полный запас удельной механической энергии жидкости в данном сечении потока, равной сумме трех удельных энергий потока.

Тогда уравнение Бернулли приобретает вид:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{л}} + \Delta H_{\text{м}},$$

где ΔH — суммарные потери напора по длине;

$\Delta H_{\text{л}}$ — линейные потери;

$\Delta H_{\text{м}}$ — местные потери.

С другой стороны, статический напор $H_{\text{ст}}$ в потоке отличается от динамического (полного) $H_{\text{д}}$ напора на $\frac{d\mathrm{v}^2}{2g}$.

Полный динамический напор H_{N_i} в конце любого участка:

$$H_{N_i} = H_{N-1} - H_{(N-1)-1},$$

где N — номер гидравлического участка.

Библиографический список

1. **Краткий** автомобильный справочник. М.: Транспорт, 1995. 129 с.
2. **Альтшуль А.Д., Кисмелев П.Г.** Гидравлика и аэродинамика: учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат: 1975. 323 с.
3. **Гидравлика,** гидромашины и гидроприводы: учеб. пособие для вузов / Т.М. Башта и др. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
4. **Брюханов О.Н., Коробко В.И., Мелик-Аркелян А.Т.** Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. М.: ИНФРА-М, 2010. 254 с.

Читайте в следующем номере:

Коднянко В.А., Курзаков А.С. Улучшение динамических показателей кругового газостатического подпятника с кольцевыми диафрагмами

Водолазская Н.В. Силовой анализ процесса сборки резьбовых соединений при симметричной затяжке крепежных деталей

Волков В.М., Должиков С.Н., Лакеенко М.Н. Контроль биения зубчатых колес тяговой передачи локомотива

Дунаев В.В., Пучков В.Н. Теория и оценка релаксации силы затяжки болтовых соединений при повышенных температурах (часть I)

Березин С.Я. Технологические принципы получения резьбовых соединений с натягом на основе сопрягаемых деталей с винтовой нарезкой волнистого профиля

Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Лагунова Е.О., Василенко В.В. Клиновидные опоры скольжения, работающие на микрополярном смазочном материале, обусловленном расплавом направляющей, с учетом зависимости вязкости от давления

УДК 621.8:891.018

В.А. Кохановский, *д-р техн. наук*
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
С.И. Иванов, *канд. техн. наук,* **А.А. Петренко** *(Политехнический институт (филиал) Донского государственного технического университета, г. Таганрог)*

Конструкция антифрикционных фторопластсодержащих композиционных покрытий

Приведены результаты экспериментальных исследований особенностей приработки полимерных композиционных покрытий, позволяющие установить рациональные требования к их конструкции.

The paper presents some important results that have been obtained at the experimental study of running-in of the polymeric composites covers. These results allowed establishing the main requirements to the structure of such the anti-friction covers.

Ключевые слова: антифрикционные фторопластсодержащие покрытия, приработка, композиционная структура.

Keywords: anti-friction PTFE containing covers, running-in, fiber reinforcement.

Конструкция полимерных фторопластсодержащих композиционных покрытий, в основном определяющая параметры контактной области металлополимерных трибосистем, существенно отличается от традиционных металлических сопряжений и более интенсивно влияет на рабочие характеристики узла трения [1]. Это влияние распространяется на все этапы работы узла: приработочный, стационарный и катастрофический, однако наиболее интенсивно технологическое качество трибосистемы проявляется в приработочный период. Связано это с наибольшей чувствительностью приработочного периода к начальным качествам трибоконтакта, характеризуемых составом, фактурой и структурой полимерной поверхности [2].

К основным варьируемым конструктивным элементам антифрикционных покрытий металлополимерного трибоконтакта относят три группы факторов. Это в первую очередь функциональный состав полимерных композитов, включающий антифрикционные фторопластовые нити "Полифен" и прочные полиимидные нити "Аримид Т", из которых состоит тканый армирующий каркас. Матричное связующее на основе модифицированной фенольной смолы присутствует неизменно во всех покрытиях данного класса.

Второй переменный фактор — тип ткацкого переплетения применяемых каркасов: однослойные и полутораслойные саржи, полутораслойные атласы разной толщины. В этих тканях на рабочую поверхность может быть выведено различное число фторопластовых нитей, а на изнанку — прочных.

Третий важный переменный фактор — направление раскроя препрега, определяющее угол между продольными нитями фторопластового утка армирующей ткани и вектором скорости скольжения в трибосистеме (рис. 1).

Причина влияния этого фактора заключается в том, что прочностные и жесткосные характеристики полимерных волокон с макромолекулами, ориентированными в продольном направлении, значительно выше, чем в поперечном. Коэффициент трения поперек волокон на 20 % больше, чем вдоль [3], а ориентация макромолекул увеличивает прочность пленки из политетрафторэтилена (ПТФЭ) по сравнению с блоком более чем в 3 раза [4].

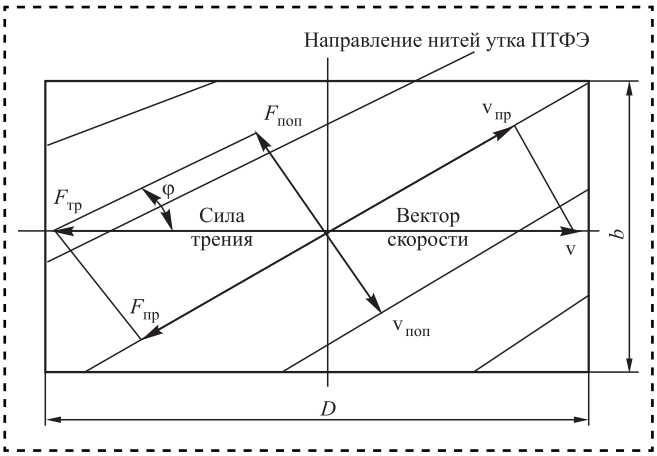


Рис. 1. Схема влияния угла φ на процесс трения

Угол между вектором скорости и направлением несущего фторопластового утка на рабочей поверхности покрытия изменяет не только условия нагружения, но и составляющую скорости, которая выносит частицы износа фторопласта из трибоконтактной области по направлению вдоль утка, образующего поверхность ткани. Особенно интенсивно этот процесс протекает во время приработки до разрушения фактуры ткани и полной аморфизации поверхности покрытия.

Вынос продуктов износа фторопласта, являющихся смазочным материалом, вдоль рельефа тканой текстуры и их повышенный расход отрицательно влияют на все этапы процесса трения.

Экспериментальные исследования проводили на специальном стенде, смонтированном на токарном станке, при вращении вала со скоростью v = 0,214 м/с и нормальных контактных напряжениях (на проекцию шейки вала) σ = 13 МПа. Обработка результатов методом наименьших квадратов позволила получить математические регрессионные модели приработочных характеристик процесса трения в зависимости от угла φ:

для времени приработки

$$t_{пр} = 21{,}99\exp(-0{,}004\varphi); \quad (1)$$

для приработочного изнашивания

$$h_{пр} = 0{,}327\exp(0{,}0027\varphi). \quad (2)$$

Модели адекватны и обеспечивают наибольшую погрешность для $t_{пр}$ и $h_{пр}$ соответственно 1,5 и 4,5 %.

На следующем этапе экспериментальных исследований изучали влияние на процесс приработки количества фторопластовых нитей полифен на рабочей поверхности покрытия в диапазоне 25...100 %. Исследования выполняли на тех же нагрузочно-скоростных режимах. Армирующим каркасом композиционного покрытия выбрана однослойная саржа 1/1 и атлас той же толщины. Полученные адекватные модели имеют аналогичную структуру для тех же параметров:

$$t_{пр} = 6{,}67\exp[0{,}006\ (\%\ ПТФЭ)]; \quad (3)$$

$$h_{пр} = 2{,}66\exp[0{,}0186\ (\%\ ПТФЭ)]. \quad (4)$$

Наибольшие погрешности моделей составляют для $t_{пр}$ — 6 %, а для $h_{пр}$ — 0,3 %.

Значения приработочных износов, определенные в процессе экспериментов, совпадают в порядках с результатами других авторов [4] на аналогах рассматриваемых покрытий со стекловолокном при близких значениях нагрузочно-скоростных режимов.

Используя равенство нагрузочно-скоростных режимов для моделей (1)—(4) и их мультипликативную структуру, получены обобщенные двухфакторные модели зависимости параметров приработки от процентного количества фторопласта на рабочей поверхности покрытия и одновременно от угла φ между фторопластовым утком и вектором скорости.

Модель зависимости времени приработки от этих переменных факторов имеет следующий вид (рис. 2, *а*):

$$t_{пр} = 6{,}67\exp[0{,}006\ (\%\ ПТФЭ) - 0{,}004\varphi]. \quad (5)$$

Рост процентного содержания фторопластовых нитей на поверхности покрытий приводит к увеличению времени приработки, а рост угла φ — уменьшает это время. Объясняется это тем, что фторопласт наименее прочный компонент композита, и чем больше его площадь на поверхности, тем интенсивнее и продолжительнее его изнашивание. Однако при его содержании менее 100 % соседние, с лучшей адгезией к связующему, полиимидные нити, выведенные на рабочую поверхность, повышают общую износостойкость покрытия, увеличивая прочность поверхностных слоев композита. Одновременно уменьшение фактической прочности фторопластовых волокон и увеличение действующей на них составляющей силы трения при влиянии угла φ, а также облегчение выноса из зоны трения частиц износа ускоряют процесс аморфизации фторопласта, т.е. приработку покрытия.

Модель зависимости приработочного износа от переменных факторов (% ПТФЭ и угла φ) имеет следующий вид (рис. 2, *б*):

$$h_{пр} = 2{,}66\cdot10^{-2}\exp[0{,}0186\ (\%\ ПТФЭ) + 0{,}00268]. \quad (6)$$

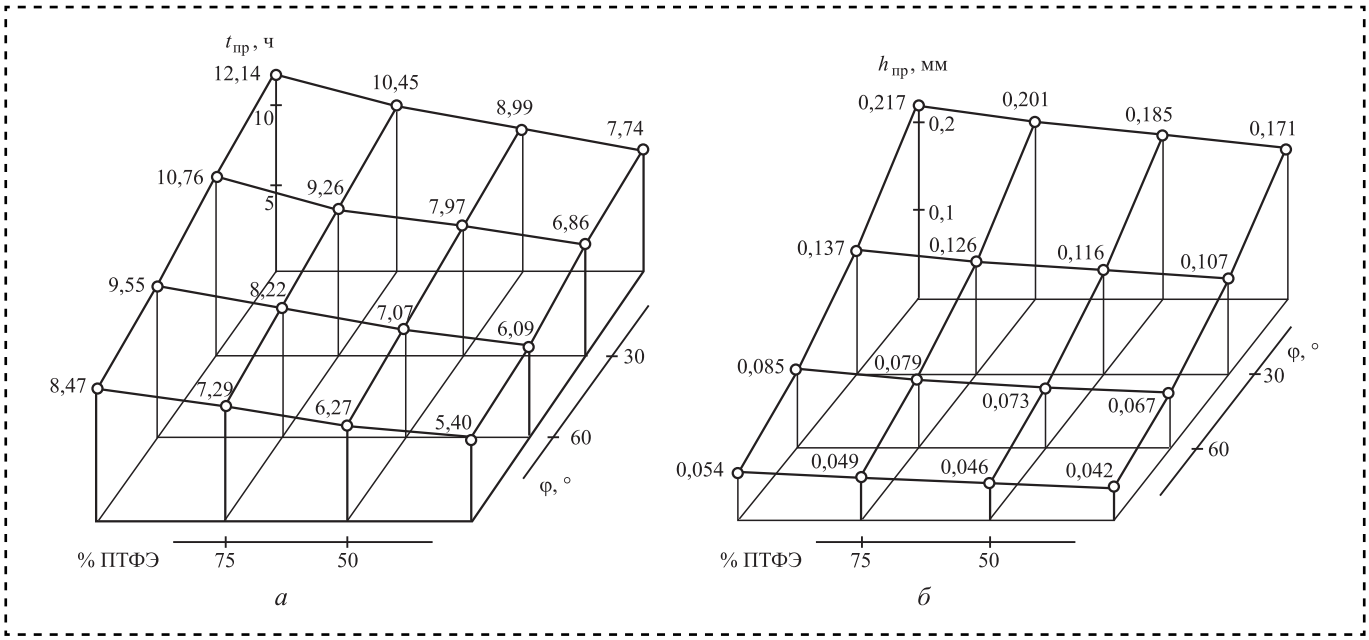


Рис. 2. Влияние количества фторопласта (% ПТФЭ) и угла φ между его нитями на поверхности покрытия и вектором скорости на:
а — время приработки; *б* — приработочный износ

Характер изменения величины приработочного износа от переменных факторов отличается от зависимости, полученной в модели, выходом которой является время приработки. С ростом угла φ приработочный износ $h_{пр}$ возрастает, а время приработки уменьшается. Это вызвано значительным снижением прочностных и других физико-механических характеристик фторопластовых нитей в направлении, перпендикулярном к ориентации макромолекул во фторопластовых волокнах их образующих.

Наименьшее значение приработочного износа достигается при 25 % фторопласта на рабочей поверхности покрытия и φ = 0, а наибольшее — при 100 % фторопласта и φ = 90°. Наименьшее время приработки затрачивается при 25 % ПТФЭ и φ = 90°.

Полученные результаты необходимо рассматривать в комплексе с дальнейшей работой покрытия и условиями его эксплуатации, в частности требованиями жесткости. С этих позиций наиболее жестким покрытием является композит с 25 % фторопласта на рабочей поверхности, а наиболее ресурсным — со 100 %. Во всех случаях следует сохранять нулевое значение угла φ, что возможно не всегда. Например, при нанесении покрытия на коническую поверхность радиально-упорных подшипников из-за их формы или на шаровые шарниры из-за их кинематики.

На все триботехнические характеристики композиционных покрытий оказывает влияние тип ткацкого плетения. Толщина ткани и число прочных волокон в ее структуре влияет в основном на жесткость и вязкоупругие свойства покрытий. С этих позиций необходимо стремиться к наиболее тонким покрытиям. Однако величина ресурса обеспечивается объемом фторопласта, что требует увеличения толщины покрытия. Таким образом, для работы в реальных узлах трения учитывают целый ряд взаимоисключающих требований.

Для сравнительных экспериментальных исследований выбрали четыре типа покрытий с армирующим каркасом из тканей атласного и саржевого плетений.

Ткани атласного плетения имеют разную толщину δ, а у саржевых плетений на рабочую поверхность выведено разное число фторопластовых нитей. Причем в саржу 1/1 фторопластовые нити введены не в результате ткацких переплетений, а скруткой с прочными нитями (рис. 3).

Ткани типа неправильный шестиремизный полутораслойный атлас совмещают основу и верхний уток из фторопластовых нитей полифен и второй уток из полиимидных нитей "Аримид Т", что позволяет вывести на рабочую поверхность покрытия 100 % ПТФЭ. Композит на основе этой ткани имеет наибольшую толщину (0,55 мм), количество фторопласта и наибольший ресурс.

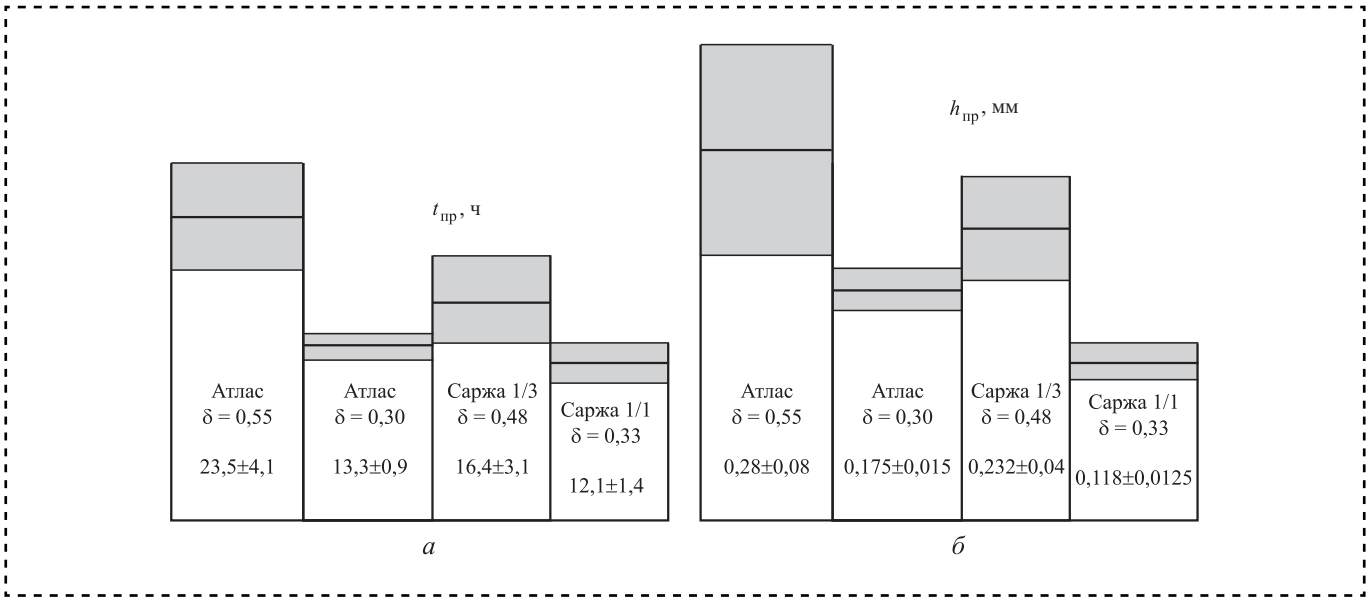


Рис. 3. Влияние типа тканого каркаса антифрикционных покрытий на приработочные параметры композита:
а — время приработки; *б* — приработочный износ

Наиболее жесткое покрытие выполняют на основе однослойной саржи 1/1 (полотна), имеющей до 75 % фторопласта на рабочей поверхности и относительно низкий ресурс.

Выводы

1. Установлены основные закономерности работы антифрикционных полимерных композиционных покрытий и диапазон варьирования их триботехнических параметров в процессе приработочного периода трения.

2. Обоснован и подтвержден экспериментально комплекс рациональных требований к составу и конструкции фторопластсодержащих металлополимерных трибосистем с композиционными покрытиями для их полимерной составляющей.

Библиографический список

1. **Трение** и износ материалов на основе полимеров / В.А. Белый и др. Минск: Наука и техника, 1976. 431 с.

2. **Кохановский В.А., Петров Ю.А.** Технологические методы повышения надежности металлополимерных трибосистем с композиционным покрытием // Вестник ДГТУ. 2000. С. 56—59.

3. **Марченко А.В., Власов С.В., Крашевский В.Б.** Физико-механические свойства одноостно ориентированных пленок на основе политетрафторэтилена // Пластические массы, 1991. № 3. С. 28—31.

4. **Craig W.D.** Initial Wear of PTFE lined bearings // Lubrication Engineering. 1966. Vol. 22. No 5. P. 160.

УДК 629.463

Т.В. Иванова, *канд. техн. наук,* **Д.Г. Налабордин**
(Забайкальский институт железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ) г. Чита)
E-mail: denis_gn@mail.ru

Сравнительная оценка интенсивности износа гребней стандартных и инновационных колес грузовых вагонов

Рассмотрены результаты дорожного эксперимента по определению износа гребней колес, изготовленных из стали Ст2 в конструктивном исполнении по ГОСТ 10791—2011 и изготовленных из стали повышенного качества и твердости в конструктивном исполнении по ТУ 0943-170-01124323—2004.

In the article the results of a road experiment on determination the wear of crests of the wheels made of steel 2 design in accordance with GOST 10791—2011 and made of steel of the increased quality and hardness design on TU 0943-170-01124323—2004 are considered.

Ключевые слова: износ гребня, полувагон, стандартные и инновационные колеса.

Keywords: wear of crests, gondola car, standard and innovative wheels.

Интенсивность износа в зоне контакта гребней колес подвижного состава и боковой грани головки рельса в кривых участках пути обусловлена схватыванием металла и приводит к тяжелейшему виду изнашивания с микрорезанием контактирующих поверхностей и, соответственно, к катастрофической интенсивности износа. Такой вид износа гребней колес и рельсов особенно ярко проявляется на Забайкальской и Дальневосточной железных дорогах.

Сложившиеся условия эксплуатации железнодорожного транспорта требуют повышения надежности и увеличения срока службы колес. Одним из направлений повышения качества колес, включенных в стратегическую программу обеспечения устойчивого взаимодействия в системе колесо — рельс, является повышение твердости материала ободьев колес до 3200...3600 МПа (320...360 НВ).

Колеса для грузовых вагонов изготавливают из двух марок сталей: 2 — стандартный тип колес, Т — с твердостью 320...360 НВ. Конструкция и размеры колес определяются ГОСТ 10791—2011 (стандартные колеса) и ТУ 0943-170-01124323—2004 (инновационные колеса с S-образным диском). Сравнительная характеристика механических свойств сталей вагонных колес приведена в табл. 1.

С 2004 г. для нужд эксплуатируемого парка вагонов поставлено более 3 млн колес повышенного качества и твердости [1] (рис. 1 на стр. 2 обложки).

В связи с этим становится актуальной задача определения эксплуатационной надежности инновационных элементов вагонов, эффективности их использования по сравнению со стандартными узлами и деталями. С этой целью на полигоне Забайкальской железной дороги проведен эксперимент по определению интенсивностей износа гребней колес стандартных и инновационных полувагонов.

Задачи, решаемые в ходе исследования:

— выполнить экспериментальную поездку в составе грузового груженого поезда на участке Карымская — Белогорск Забайкальской железной дороги;

— получить массивы экспериментальных данных по замерам толщин гребней стандартных и инновационных колес;

Таблица 1

Сравнительная характеристика механических свойств сталей вагонных колес

Марка стали	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Твердость на глубине 30 мм, НВ
		Не менее		
Ст2	911...1107	8	14	255
Т	1020	9	16	320

— определить интенсивность износа гребня в условиях эксплуатации грузового вагона на полигоне Забайкальской железной дороги.

Порядок проведения эксперимента:

— для организации эксперимента в хвост грузового поезда № 2752 прицеплен тормозоиспытательный вагон службы вагонного хозяйства Забайкальской дирекции инфраструктуры;

— полигон проведения эксперимента — участок Забайкальской железной дороги от станции Карымская до станции Белогорск (расстояние между станциями — 1574 км);

— измерения толщин гребней грузовых вагонов проводили электронным прибором "МАИК" у двух групп вагонов: стандартные полувагоны (порядковые номера в поезде 20, 21, 22, 23, 24, 38, 39, 40, 41, 45, 75, 76, 77, 78, 79), инновационные полувагоны (порядковые номера в поезде: 35, 36, 37, 42, 43, 44, 60, 61, 62, 63).

Характеристика поезда и подвижного состава:

— 79 груженых полувагонов, груз — уголь, масса поезда 7452 т, условная длина — 86 вагонов, станция погрузки — Ерунаково Западно-Сибирская железной дороги, станция назначения — Находка-Восточный порт Дальневосточная железной дороги;

— подконтрольная группа вагонов: полувагоны стандартных моделей: 12-132, 12-119, 12-132-03, 12-1704-04, 12-757, 12-296-01, 12-1303-01, 12-532; инновационной модели 12-9853.

Особенность плана пути на полигоне испытаний — наличие большого числа кривых малого и среднего радиуса. Статистика по кривым показывает, что на участке расположено 1315 кривых радиусом до 600 м, общей протяженностью 341 км (рис. 2, на стр. 2 обложки).

Соотношение кривых по направлению (правых и левых) на участке эксперимента составило 654/661 шт., по протяженности, соответственно, — 169/172 км, что говорит о равнозначном влиянии плана пути на износ гребней правых и левых (по ходу движения) колес вагона.

В ходе эксперимента получены следующие выборки (по каждой станции):

— для стандартных полувагонов — 106 значений;

— для стандартных полувагонов по стороне — 53 значения;

— для инновационных полувагонов — 80 значений.

Данные выборки являются представительными, их математическая обработка позволила оценить износ стандартных и инновационных колес.

Таблица 2

Износы гребней грузовых вагонов, мм

Станция	Параметры распределения	
	Выборочное среднее	Среднее квадратичное отклонение
Стандартные вагоны		
Карымская	28,47	1,36
Белогорск	28,33	1,42
Средний износ	0,14	—
Инновационные вагоны		
Карымская	29,83	1,56
Белогорск	29,74	1,59
Средний износ	0,09	—

Методика обработки экспериментальных данных основывалась на гипотезе, что выборка (толщины гребней, измеренные у подконтрольной группы вагонов) распределена по нормальному закону [2]. Износ определяли как разность выборочных средних:

$$\bar{X} = \bar{X}_{\text{Карымская}} - \bar{X}_{\text{Белогорск}}. \quad (1)$$

Графические результаты статистического моделирования представлены на рис. 3 на стр. 2 обложки, числовые результаты — в табл. 2.

Средний износ гребня колеса полувагона (в груженом состоянии) при следовании поезда от станции Карымская до станции Белогорск составил:

— для стандартных полувагонов — 0,14 мм;

— для инновационных полувагонов — 0,09 мм.

Таким образом, интенсивность износа гребней инновационных колес, изготовленных из стали повышенного качества и твердости по ТУ 0943-170-01124323—2004 в 1,5 раза ниже, чем у стандартных колес, изготовленных из стали Ст2 по ГОСТ 10791—2011.

Библиографический список

1. **Потахов Д.А.** Использование на подвижном составе колесных пар повышенной твердости // Известия ПГУПС. 2013. № 1. С. 139—147.

2. **Иванова Т.В., Петровых В.А., Налабордин Д.Г.** Определение износа гребня колеса грузового вагона // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 1. С. 27—29.

УДК 621.91.02(076)

Т.З. Салахов *(Инженерно-производственный комплекс ПАО "Уфимское моторостроительное производственное объединение"),*
М.Ш. Мигранов, *д-р техн. наук (Уфимский государственный авиационный технический университет),*
Р.Г. Нигматуллин, *д-р техн. наук (ООО "Химмотолог", г. Уфа)*
E-mail: migmars@mail.ru

Повышение эффективности технического обслуживания промышленного оборудования на основе анализа состояния масла

Разработаны анализирующие устройства (АУ) состава смазывающих материалов, непосредственно участвующих в работе оборудования: технических масел, смазывающе-охлаждающих жидкостей, консистентных смазок. Данные системы позволяют значительно снизить расходы на закупку неоправданного количества смазывающих материалов, амортизационные отчисления, заработную плату. Предложены возможные области использования АУ, расширения их функций, технических и эксплуатационных характеристик. Подтверждена возможность разработки унифицированных быстросъемных устройств, позволяющих подключать АУ в различные виды промышленного оборудования.

The analyzing devices (AD) of composition of the greasing materials which are directly participating in operation of the equipment are developed: technical oils, lubricate-cooling liquids, and jellied lubricants. These systems allow cutting considerably expenses on purchase of unjustified amount of the greasing materials, depreciation charges, and the salary. The possible fields of use of AD, expansions of their functions, technical and operational characteristics are offered. The possibility of development of the unified quick-detachable devices allowing connecting AD in different types of the industrial equipment is confirmed.

Ключевые слова: износ, трение, анализ масла, температура масла.

Keywords: wear, friction, analysis of oil, oil temperature.

В настоящее время в целях повышения эффективности производства все больше внимания уделяется закупке современного оборудования, внедрению инновационных технологий, замене оригинальных запчастей на более дешевые и т.д. Но техническое обслуживание существующего оборудования при должном подходе (не закупая ничего нового) позволит существенно снизить затраты на покупку смазывающих материалов и оригинальных запчастей [3], что приведет к снижению амортизационных отчислений, уменьшению трудоемкости планово-предупредительного ремонта, сокращению обслуживающего персонала.

Анализ технического состояния оборудования обязательно включает определение состава смазывающих материалов, непосредственно участвующих в работе оборудования: технических масел, охлаждающих, смазывающе-охлаждающих жидкостей, консистентных смазок [1]. Для этих целей разработаны специальные анализирующие устройства (АУ). Например, для контроля химического состава масла в маслобаке компрессора используется датчик (рис. 1), который устанавливается непосредственно в маслобак через заливную горловину или сливной болт.

Сигналы от датчика поступают на ЭВМ, где анализируется химический состав масла. Конечный результат получается в виде графиков, таблиц, формул.

Поскольку в смазывающий материал попадают частицы износа, в ООО "Химмотолог" с участием специалистов УГАТУ разработан инновационный датчик контроля наличия частиц износа и температуры смазки, который прошел эксплуатационные испытания (рис. 2). Принцип работы датчика основан на магнитных свойствах частиц износа.

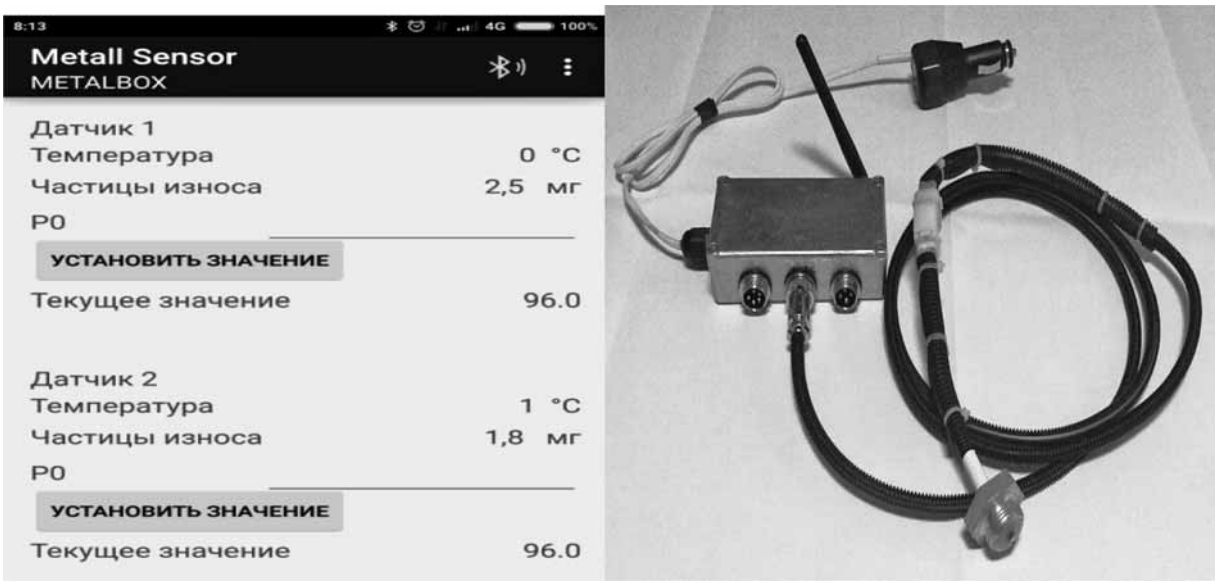


Рис. 1. Общий вид датчика системы считывания информации количественного состава масла

Рис. 2. Аппаратная архитектура датчика износа и температуры

Данные по текущему состоянию узлов трения, графики концентрации частиц износа в зависимости от времени, прогноз и рекомендации по срокам замены смазки и проведению ремонтных работ с прибора по беспроводной связи BlueTooth передаются на дисплей сотового телефона или планшет.

Принцип работы датчика. После запуска компрессора масло из бака поступает на трущиеся механизмы и через фильтры возвращается обратно в бак. При необходимости масло охлаждается. В процессе трения неизбежно возникают частицы износа трущихся поверхностей (железо, алюминий, медь, латунь, бронза и др.). Крупные частицы оседают в масляном фильтре, который имеет свой предел фильтрации. Мелкие же частицы проходят через фильтр и поступают в маслобак. Датчик анализа масла считывает информацию по содержанию микрочастиц в отработавшем масле и передает на ЭВМ, где программа, выполнив обработку, определяет химический состав масла, составляет таблицу содержания частиц в процентном и количественном соотношении.

По мере работы компрессора программа строит временны́е графики содержания частиц в отработанном масле (рис. 3), по которым можно судить о состоянии масла. На рис. 3 показан

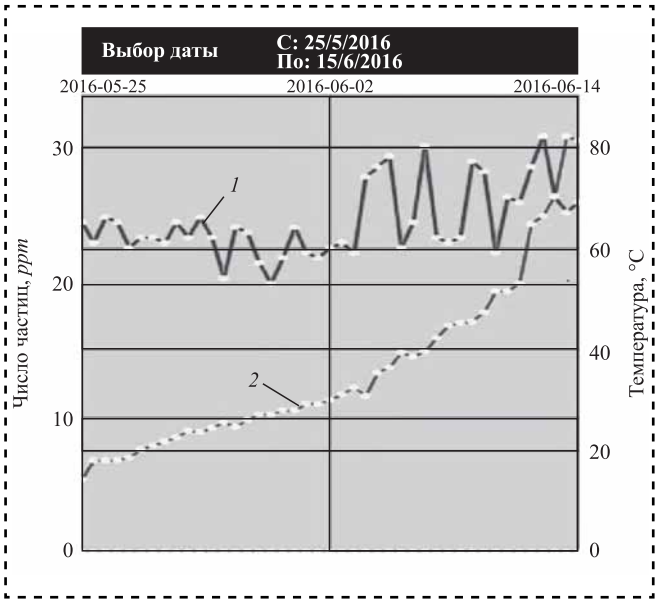


Рис. 3. График состояния масла:
1 — рабочая температура масла; *2* — общее число частиц износа

TIMUR UMPO Телефон: Отправить Факс: __"__"__*	Машина ID: COMPRESSOR1 Машина Сделать: ATLAS COPCO Модель машины: COPCO Машина Год выпуска: NA Описание агрегата:	ID агрегата: NA100 Год выпуска агрегата: NA Тип компонента: COMPRESSOR Размещение оборудования: CENTER Объем масла: 50 литров	OSA4 MICRO LAB On-Site Oil Analyzer HIMMOTOLOG KAVKAZSKAJA 6/12 UFA RUSSIA 450103 347-256-3636

Проба ID	Дата получения	Часы на энергоблоке	Часы на нефть	Класс вязкости масла	Марка масла	Тип масла	Замена масла	Дата анализа	ID пользователя
154	5/20/2016	14900	4900	UNKNOWN	SHELL	UNKNOWN	№	6/10/2016	
Комментарии	Вязкость не учитывается из-за выбора параметра «неизвестный» в качестве вязкостно-весового индекса масла. Анализ свидетельствует о нормальной интенсивности гидравлического износа. Проба, по-видимому, свободна от внешнего загрязнения. Анализ свидетельствует о надлежащих эксплуатационных характеристиках смазки и гидравлической системы.								

	Элементы износа (ppm)							*Элементы загрязнений (ppm)*			*Элементы износа или присадок (ppm)*					*Элементы присадок (ppm)*				
Проба ID	Железо	Хром	Алюминий	Медь	Свинец	Олово	Ванадий	Кремний	Натрий	Калий	Титан	Молибден	Никель	Марганец	Бор	Магний	Кальций	Барий	Фосфор	Цинк
154	26	1	1	8	3	0	6	0	22	9	0	1	0	0	0	7	624	0	172	682

	Загрязняющие вещества				*Физические свойства*								
Проба ID	Топливо	Сажа	Вода	Гликоль	Нитрование	TBN	Окисление	V40C	V100C	Vindex	V40C Limit	V100C Limit	VigcMode
154	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0-1650	10-17	C

× — не тестировали;
C — расчет

Рис. 4. Результаты первичного анализа масла

аварийный износ редуктора из-за потери работоспособности трансмиссионного масла. В ходе испытаний выявлено повышенное содержание частиц железа в масляном картере из-за повышенного износа трущихся частей винтового механизма компрессора, что подтвердилось результатами анализа после первичного снятия проб масла на спектрометре OSA MetalLab и анализаторе нефтепродуктов (рис. 4).

На рис. 5 показаны результаты после периода эксплуатации масла в течение 2 недель при 8-часовой работе компрессора. Содержание частиц железа после эксплуатации увеличилось на 12 ppm, что говорит об увеличении износа трущихся поверхностей винта. На основе этого можно судить о вероятной неисправности исследуемого механизма, планировать сроки технической ревизии и вывода компрессора в ремонт.

Регламентная замена масла в данном случае не решит проблему и процесс износа будет продолжаться.

В отработанном масле сначала визуально определяют наличие намагничиваемых частиц износа. Наличие частиц износа, обнаруживаемых на магните невооруженным взглядом, свидетельствует об аварийном износе. Для выявления источника износа компрессор включают в работу на 10...30 мин, останавливают, вновь опускают в картер трубку мультимаслотестера. В случае повторного обнаружения видимых частиц износа, компрессор останавливают для выяснения механизма износа (по геометрии и размерам частиц износа) и устранения его причины. Если визуально частицы износа не обнаруживаются, магнит осматривают с помощью лупы (десятикратного увеличения). Наличие частиц износа размером до 15 мкм свидетельствует о нормальном износе, что свойственно рабочим узлам трения (таблица).

В случае разложения антикоррозионной присадки и накопления продуктов окисления в масле происходит коррозия медной скобы, установ-

TIMUR UMPO Телефон: Отправить Факс: __"__"__*	Машина ID: COMPRESSOR2 Машина Сделать: ATLAS COPCO Модель машины: COPCO Машина Год выпуска: NA Описание агрегата:	ID агрегата: NA100 Год выпуска агрегата: NA Тип компонента: COMPRESSOR Размещение оборудования: CENTER Объем масла: 50 литров	OSA4 MICRO LAB On-Site Oil Analyzer HIMMOTOLOG KAVKAZSKAJA 6/12 UFA RUSSIA 450103 347-256-3636

Проба ID	Дата получения	Часы на энергоблоке	Часы на нефть	Класс вязкости масла	Марка масла	Тип масла	Замена масла	Дата анализа	ID пользователя
155	6/7/2016	15803	803	UNKNOWN	SHELL	UNKNOWN	№	6/10/2016	
Комментарии	Высокое содержание железа, возможно, обусловлено износом гидромотора, лопастей или сервоклапанов. Свидетельствует об износе зеркала цилиндра двигателя и шатунов. Свидетельствует об износе поршней. Высокое содержание железа свидетельствует об износе насоса и его картера. Вязкость не учитывается из-за выбора параметра «неизвестный» в качестве вязкостно-весового индекса масла. Проба, по-видимому, свободна от внешнего загрязнения. Для контроля повторно возьмите пробу при наступлении срока следующего обслуживания. Для определения характера дальнейших действий необходимы результаты отсчета частиц.								

	Элементы износа (ppm)							*Элементы загрязнений (ppm)*			*Элементы износа или присадок (ppm)*					*Элементы присадок (ppm)*				
Проба ID	Железо	Хром	Алюминий	Медь	Свинец	Олово	Ванадий	Кремний	Натрий	Калий	Титан	Молибден	Никель	Марганец	Бор	Магний	Кальций	Барий	Фосфор	Цинк
155	38*	4	2	8	3	0	3	4	28	3	0	1	0	1	2	9	775	0	339	906

	Загрязняющие вещества				*Физические свойства*								
Проба ID	Топливо	Сажа	Вода	Гликоль	Нитрование	TBN	Окисление	V40C	V100C	Vindex	V40C Limit	V100C Limit	VigcMode
155	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0-1650	10-17	C

* — аварийное содержание

Рис. 5. Результаты вторичного анализа масла

Зависимость видов износа от характеристик частиц износа

Характеристика износа	Форма частиц	Поверхность	Цвет	Линейные размеры, мкм	Отношение толщины к линейному размеру	Неисправность
Нормальное изнашивание	Неправильная	Гладкая	Серебристый, желтый	1...5	1:2 или 1:5	—
Жесткое скалывание		Грубая	Серебристый, черный	11...150	От 1:6 до 1:40	Высокие нагрузки шестерни
Микрорезание		Грубая, боковые — гладкие	Серебристый	Длина 200...2500	От 1:5 до 1:50	Разрушение зубьев передач, роликовых подшипников
Усталостный		Грубая	Серебристый	11...200	От 1:2 до 1:10	Износ подшипников скольжения
Усталостно-сферический		Гладкая	Серебристо-черный	1...100	1:1	Износ подшипников качения, кавитационное разрушение
Усталостно-лепестковый	Неправильная окружность, "роза"	Гладкая	Серебристый	10...100	От 1:5 до 1:30	Износ зубьев передач, шариковых подшипников

ленной на конце трубки мультимаслотестера. При этом масло может потерять работоспособность и стать причиной преждевременного выхода из строя узлов трения компрессора (рис. 6).

Моюще-диспергирующие свойства масла диагностируют по методу масляного пятна. Каплю масла наносят на фильтровальную бумагу. Масло, утратившее свои моюще-диспергирующие свойства, имеет малую площадь диффузии. На рис. 7 показаны масла с низким и высоким уровнем диспергирующих свойств, рассчитываемых по формуле:

$$ДС = 1 - (d^2/D^2),$$

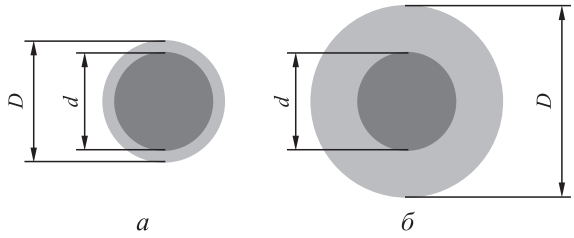
где d — средний диаметр центрального ядра, мм;

D — средний диаметр внешнего кольца зоны, мм.

Полученная величина — численный показатель качества работающего масла, выражается в условных единицах. По результатам исследований работающих компрессорных масел качество масла считается неудовлетворительным, если его диспергирующие свойства меньше 0,35. В этом случае масло необходимо заменить.

а *б* *в*

Рис. 6. Эталон коррозии на медной скобе (экспресс-метод): *а* — свежеполированная скоба; *б* — начальная коррозия; *в* — коррозия



а *б*

Рис. 7. Метод масляного пятна:
а — масло с низким уровнем диспергирующих свойств; *б* — масло с высоким уровнем диспергирующих свойств

Выводы

По результатам первичных экспериментальных исследований (с использованием мультимаслотестера) получены данные о содержании частиц износа в отработанном масле в течение некоторого срока его эксплуатации.

По результатам вторичных экспериментальных исследований (с использованием прибора OSA MetalLab) получены основные параметры химического состава масла. По их количеству и качеству изношенного продукта можно выявить реальный ресурс эксплуатации оборудования, спрогнозировать его поломку, а значит запланировать покупку новых комплектующих, запчастей.

Предложены возможные области использования устройств АУ, расширения их функций, технических и эксплуатационных характеристик.

Подтверждена возможность разработки унифицированных быстросъемных устройств, позволяющих подключать АУ в компрессорах всех типов, а в дальнейшем и в других видах промышленного оборудования (мехатронных станочных системах, токарных, фрезерных, сверлильных станках, гидравлических прессах).

Библиографический список

1. **Топлива,** смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / К.Н. Будыштова и др.: под ред. В.М. Школьникова. М.: Химия. 1989. С. 108—139.

2. **Виппер А.Б., Лахши В.Л.** Анализ результатов испытаний масел в двигателе с учетом оценки их качества в лабораторных условиях // Двигателестроение. 1979. № 9. С. 58—59.

3. **Путинцев С.В.** Состояние, проблемы и перспективы развития трибологического аспекта энергосбережения в двигателестроении // М.: Машиностроение. Известия вузов. 1995. № 10—12. С. 71—79.

УДК 628.9:681.7

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

Компьютерное моделирование и конструирование светодиодного светильника с автономным источником питания

Рассмотрены особенности архитектурного освещения и световые приборы. Проанализированы требования к архитектурным светильникам и их особенности, солнечные элементы, их принцип работы и устройство. Описан разработанный светильник, его конструкция и источники света, электронные элементы прибора. Осуществлено моделирование светораспределения и освещения светильника.

The paper considers the problem of modeling and designing modern LED light devices for architectural lighting. Considered the features of architectural lighting and LED light devices. Analyzed the requirements for architectural light devices and their features, solar cells, their principle of operation. Described the developed light, its design and light sources, electronic components of the device. Accomplished the modeling of light distribution and lighting fixture.

Ключевые слова: архитектурное освещение, светильник, светодиод, источник света, оптическая система, моделирование, конструкция, визуализация.

Keywords: architectural lighting, light device, LED, light source, optical system, modeling, design, visualization.

Архитектурное и ландшафтное освещение — одно из главных направлений светового дизайна. Для архитектурной подсветки используют специальные светодиодные светильники и прожекторы, с помощью которых можно полностью или частично менять цветовую гамму освещаемого здания.

Говоря об архитектурном освещении, нельзя не принять во внимание его стоимость и затраты на электроэнергию. Капитальные вложения, складывающиеся из стоимости источников света и светильников, монтажных работ, относительно статичны. Эксплуатационные расходы, связанные с потреблением энергии и обслуживанием системы освещения, растут на протяжении всего времени эксплуатации здания и прилегающей территории. На традиционное архитектурное освещение зданий и территорий расходуется более 20 % общей потребляемой электроэнергии. Причем в связи с постоянным развитием городской инфраструктуры энергетические расходы на различные виды освещения только растут.

Состояние современной мировой экономики и экологической ситуации приводит к необходимости использования возобновляемых источников энергии. Именно поэтому сейчас столь активно внедряется энергосберегающее уличное освещение.

Виды и нормы архитектурного освещения

Для обеспечения в темное время хорошей видимости и выразительности наиболее важных объектов и благоустроенности световой среды города существует наружное архитектурное освещение (СП 52.13330—2011) [1]. Среднюю яркость освещения общественных зданий, памятников архитектуры и монументов, достопримечательных зданий и сооружений, элементов ландшафтной архитектуры в зависимости от их значимости, места расположения и преобладающих условий их зрительного восприятия принимают по табл. 1.

Для эффективной подсветки фасадов зданий и сооружений разработано множество способов

Таблица 1

Нормы наружного архитектурного освещения городских объектов (СНиП 23-05-95)

Категория городского пространства	Место расположения объекта освещения	Освещаемый объект	Заливающее освещение, средняя яркость фасада, $L_ф$, кд/м^2	Заливающее и акцентирующее освещение, средняя яркость акцентируемого светом элемента, $L_э$, кд/м^2	Локальное освещение, средняя яркость, $L_{ср}$, кд/м^2
А	Магистральные улицы и площади общегородского значения	Памятники архитектуры, истории и культуры, здания, сооружения и монументы городского значения	8	25	8
	Парки, сады, бульвары, скверы и пешеходные улицы общегородского значения	Достопримечательные здания, сооружения, памятники и монументы, уникальные элементы ландшафта	5	15	5
Б	Площади окружных и районных общественных центров	Памятники и монументы, здания и сооружения окружного и районного значения	7	20	8
	Магистральные улицы и площади окружного и районного значения	То же	5	15	5
	Парки, сады, скверы, бульвары и пешеходные улицы окружного и районного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	10	3
В	Улицы и площади, пешеходные дороги местного значения	Памятники и монументы, достопримечательные здания и сооружения	5	10	3
	Сады, скверы, бульвары местного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	8	3

и приемов: заливающее освещение, локальная, скрытая подсветка и их различные комбинации.

Световые приборы для архитектурного освещения

Архитектурно-художественную подсветку фасадов создают при помощи разных световых приборов (СП). Прожекторы чаще всего используют для подсветки фасадов, освещения общей территории или рекламных щитов. С помощью прожекторов можно создать рассеянное, мягкое, точечное освещение. При правильном выборе типа линзы и оптимальном определении места установки прожектора обеспечивается максимальная освещенность архитектурного элемента при минимально возможном световом потоке прожектора.

Фасадные светильники используют для архитектурной подсветки фасадов, а также освещения прилегающих к зданию территорий, дорожек, входов, парковок. Для подсветки крупных сооружений (городские здания, фасады общественных и жилых многоэтажных домов, промышленных предприятий) в качестве источника света используют газоразрядные лампы, в том числе металлогалогенные. Различные типы галогенных ламп используют для фасадной подсветки небольших зданий, частных домов, входные группы отелей, бизнес-центров и других общественных зданий, коттеджей.

Светодиоды — самое современное решение, в том числе и для архитектурной подсветки, позволяющее значительно сократить расход электроэнергии.

При выборе параметров архитектурного светильника главные требования:

— достаточная эффективность для создания того или иного приема освещения;

— удобство обслуживания светильников;

Таблица 2

Степени защиты светильника от ударов (EN 50102)

Код	Энергия удара, Дж	Описание	Пример
IK00	—	—	—
IK01	0,15	Стандартный	Стандартный открытый светильник
IK02	0,2		
IK03	0,3		Закрытый светильник с плафоном из полиметилметакрилата
IK04	0,5	Прочнее стандартного	Открытый светильник с упрощенной оптической системой
IK05	0,7		—
IK06	1		—
IK07	2	Упрочненный	—
IK08	5	Вандалозащищенный	Закрытый светильник с плафоном из поликарбоната или стекла
IK09	10		—
IK10	20	Вандалостойкий	Закрытый светильник

Таблица 3

Виды защиты СП от твердых тел

Класс защиты	Степень защиты	Характеристика
0	Нет защиты	Отсутствие защиты от случайного контакта и инородных тел
1	Защита от крупных инородных тел	Защита от контакта с рукой человека на большой площади и от крупных твердых инородных тел диаметром более 50 мм
2	Защита от инородных тел среднего размера	Защита от контакта с пальцами руки человека и от небольших твердых инородных тел диаметром более 12 мм
3	Защита от инородных тел небольшого размера	Защита от инструмента, проводов или подобных им объектов диаметром более 2,5 мм и небольших инородных тел диаметром более 2,5 мм
4	Защита от гранулообразных инородных тел	Защита от инструмента, проводов или подобных им объектов диаметром более 1 мм и от небольших инородных тел диаметром более 1 мм
5	Пылезащищенные (защита от оседающей пыли)	Полная защита от контакта с токоведущими деталями. Защита от внутренних повреждений оборудования вследствие пылевых отложений
6	Пыленепроницаемые	Полная защита от контакта с токоведущими деталями. Полная защита от проникновения пыли

— электробезопасность и защищенность оборудования и электропроводки от влияния погодных условий;

— герметичность корпуса;

— морозоустойчивость;

— диаграмма направленности, угол излучения и форма луча;

— энергоэффективность (экономичность);

— надежность источников света;

— степени защиты светильника от ударов (табл. 2).

Устойчивость к атмосферному влиянию, низкая восприимчивость к воздействию высокой температуры, стойкость к коррозии определяют показателем защиты от воздействия окружающей среды — IP (степень защиты светильников от пыли и влаги) (табл. 3, 4). Класс пылевлагозащиты качественного архитектурного светильника — не менее IP66. Светодиоды очень чувствительны к влажности. Чтобы избежать воздействия конденсата, необходимо соответствие корпуса СП стандартам при работе в областях с резкими перепадами температур.

Таблица 4

Виды защиты СП от влаги

Класс защиты	Степень защиты	Характеристика
0	Водонезащищенный	Отсутствие защиты от влаги
1	Защита от капель	Защита от капель воды, падающих вертикально
2	Каплезащищенный	Защита от капель воды, падающих под углом до 15°
3	Брызгозащищенный	Защита от капель воды, падающих под углом до 60°
4		Защита от воды, льющейся со всех направлений
5	Струезащищенный	Защита от струй воды, льющихся под давлением со всех направлений
6	Волнозащищенный	Защита от кратковременного затопления
7	Водонепроницаемый	Защита от временного конденсата
8	Герметичный	Защита от воды под давлением (полное погружение)

Основные элементы, влияющие на качество светильника: светодиоды, вторичная оптика, источник питания (драйвер), организация теплоотвода [2]. От правильного выбора светодиодов зависит качество и характеристики всего СП [3]. В большинстве светильников для архитектурной подсветки используют мощные светодиоды — от 0,5 Вт и выше, а также светодиоды для поверхностного монтажа (SMD), ламповые светодиоды и светодиоды типа "пиранья" для монтажа в отверстие.

Солнечные элементы в системах освещения

Экономию электроэнергии в системах освещения осуществляют оптимизацией светотехнической части осветительной установки и осветительных сетей, систем управления и регулирования освещения, рациональной организацией эксплуатации освещения.

Освоение возобновляемых источников энергии в современных системах освещения становится все более актуальным и востребованным на рынке осветительной продукции. В экологическом отношении это способствует сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу и экономии миллиардов баррелей нефти.

Солнечная энергия считается одним из самых перспективных направлений в развитии возобновляемых источников энергии. В России возможности использования солнечной энергии естественным образом ограничены. Однако солнечные батареи — альтернативный и абсолютно экологичный источник питания — можно и нужно использовать и в России.

Сегодня на рынке солнечных батарей представлено несколько различных образцов. Отличаются они друг от друга технологией изготовления и материалами. В зависимости от структуры солнечные батареи делят на три основных типа — монокристаллические, поликристаллические и аморфные.

Конструкция и принцип работы светодиодного светильника на солнечных батареях для архитектурной подсветки

Принцип работы светодиодного светильника основан на преобразовании солнечного света в электрическую энергию при помощи солнечной панели. Он работает автономно и не требует подключения к источнику питания, после зарядки в течение дня может работать до 12 ч. В качестве осветительных элементов используют светодиоды. Для обеспечения надежности работы при неблагоприятных климатических условиях светильник имеет водонепроницаемый и жаростойкий корпус. Он оснащен сенсором (датчиком) движения, который автоматически срабатывает при каких-либо действиях в радиусе 2 м от светильника. Разрабатываемый СП имеет III класс защиты от поражения электрическим током, поскольку питается безопасным сверхнизким напряжением, и может быть установлен непосредственно на токопроводящие поверхности или вблизи бассейнов и фонтанов. Проектируемый светильник имеет рассеиватель из полиметилметакрилата, который способен поддерживать горение, поэтому данный СП запрещается использовать в пожароопасных

зонах и устанавливать на горючие поверхности. Светильник не имеет защиты от взрыва, он предназначен для эксплуатации в нормальных условиях, степень защиты от ударов IK06 (способен выдержать удар до 1 Дж (см. табл. 2)).

Использование такого СП позволит существенно экономить финансовые ресурсы, так как нет необходимости в прокладке и обустройстве линий электропередач. Также неоспоримым плюсом является экологичность таких осветительных систем. Некоторые недостатки использования такого светильника: непостоянное наличие солнечного света; при слишком низкой или высокой температурах аккумулятор может подвергаться сбоям; защитное стекло от попадания пыли и влаги со временем загрязняется, что понижает эффективность работы прибора.

Конструктивно светильник состоит из двух частей: опоры и осветительной части. Главная особенность СП — наличие поворотного модуля с солнечной батареей и поворотного светового модуля для смены направления светового потока светильника. Управляет включением прибора установленный в корпус светового модуля датчик движения.

В светильнике на солнечных батареях можно выделить следующие элементы: батарея-накопитель; светодиод — излучает видимый свет, когда по нему проходит электрический ток; электрический аккумулятор; датчик освещенности; микросхема — управляет свечением светодиода в зависимости от силы напряжения и отключает его при разрядке батареи до определенного уровня; фотоэлемент — включает светильник и преобразует энергию света в электрическую энергию. Все компоненты объединены в единую схему.

Характеристика светового прибора

Мощность светильника, Вт	12
Номинальное напряжение светильника, В	3,6
Световой поток, лм	800
Тип источника света	СД
Класс защиты светильника от поражения электрическим током	III
Степень защиты светильника	IP44
Климатическое исполнение и категория размещения	УХЛ1
Тип КСС	Косинусная (Д)
КПД, %	80
Способ установки	На грунтовую поверхность

Рис. 1. Светодиод OLP-5065F6L-06A-80-D07N0

В качестве источника света в разработанном светильнике использовали 6 светодиодов OLP-5065F6L-06A-80-D07N0 с рабочим ресурсом более 50 000 ч (рис. 1).

Технические характеристики светодиодов (ЗАО "Оптоган")

Рабочая температура, °С	−40...+85
Световой поток, лм	151...158,5
Температура хранения, °С	−40...+120
Габаритные размеры, мм	6,5×6,5×1,3
Угол излучения, °	120
Цветовая температура, К	5 000
Индекс цветопередачи, CRI	80
Падение напряжения, В	min: 2,9, max: 3,6
Потребляемый ток, мА	350...750
Рассеиваемая мощность, Вт	2

Солнечная панель STAR SOLAR CNC85x115-18 изготовлена из поликристаллического кремния (36 ячеек общей мощностью 1,5 Вт), элементы защищены прочной внешней оболочкой; номинальный ток панели 100 мА, номинальное напряжение 12 В.

На рис. 2 представлена общая схема соединения всех компонентов солнечной системы СП. Солнечная батарея GB2 заряжает аккумулятор GB1, когда уровень напряжения солнечной батареи падает до ночного — преобразователь YX8018 включает светодиод VD1, который подключается через датчик движения. Датчик движения реагирует на присутствие в зоне охвата сенсора (2...3 м) и включает светильник, спустя 20 с светильник автоматически отключается. Датчик движения имеет дальность действия до 12 м, угол обнаружения 120°.

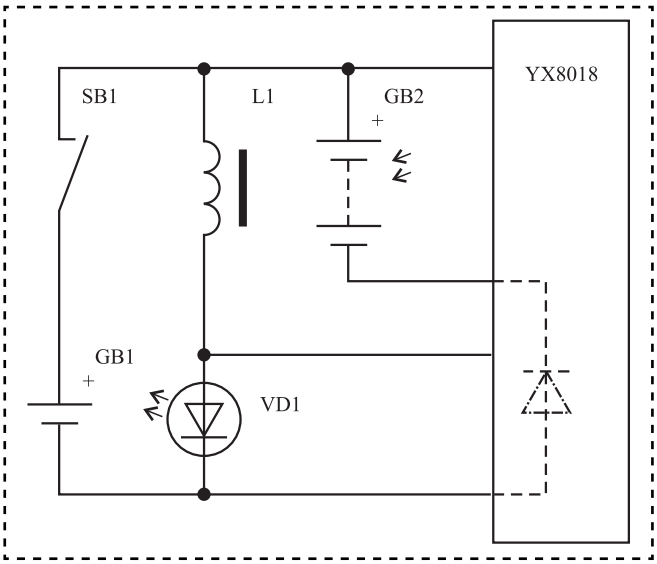


Рис. 2. Схема соединения компонентов солнечной системы светового прибора

Основную роль в перераспределении и преобразовании светового потока источника света играет оптическая система СП или светоперераспределяющие устройства [4—6]. Выбор оптической системы зависит от сложности выполняемой работы и ее специфики [7]. Поскольку данный СП предназначен для акцентирующего и декоративного ландшафтного освещения, он должен иметь косинусную кривую силы света (КСС), поэтому дополнительных светоперераспределяющих устройств не требуется. Для создания более рассеянного света и защиты светодиодов от внешних воздействий использовали рассеиватель из полиметилметакрилата.

Компьютерное моделирование светильника

Обязательный этап работ при проектировании светильников — разработка чертежно-конструкторской документации с применением систем автоматизированного проектирования типа КОМПАС-3D (рис. 3).

Для моделирования светораспределения от светильника 3D-модели СП и светодиодного модуля сохраняли в формате конвертации SAT и импортировали в среду оптического проектирования TracePro [8—9].

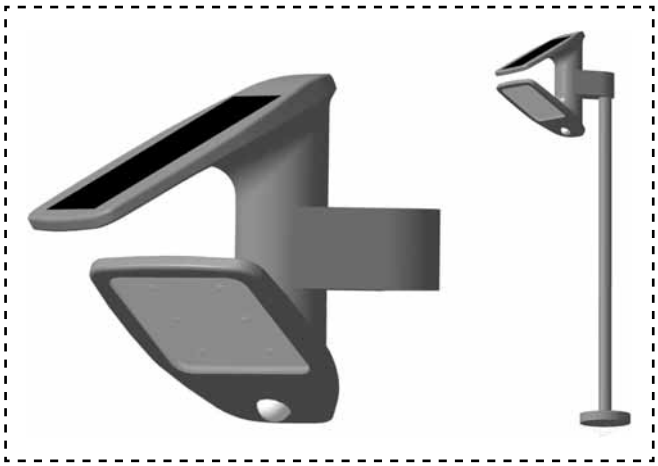


Рис. 3. 3D-модель светильника

В среде TracePro заданы оптические свойства материалов — отражателя светодиодного модуля, защитного стекла из полиметилметакрилата (рис. 4) и источника излучения (6 светодиодов со световым потоком по 150 лм).

После задания свойств материалов и источников света осуществили трассировку лучей (рис. 5 на стр. 3 обложки). Получены диаграммы светораспределения и КСС в полярной и прямоугольной системах координат (рис. 6, 7 на стр. 3

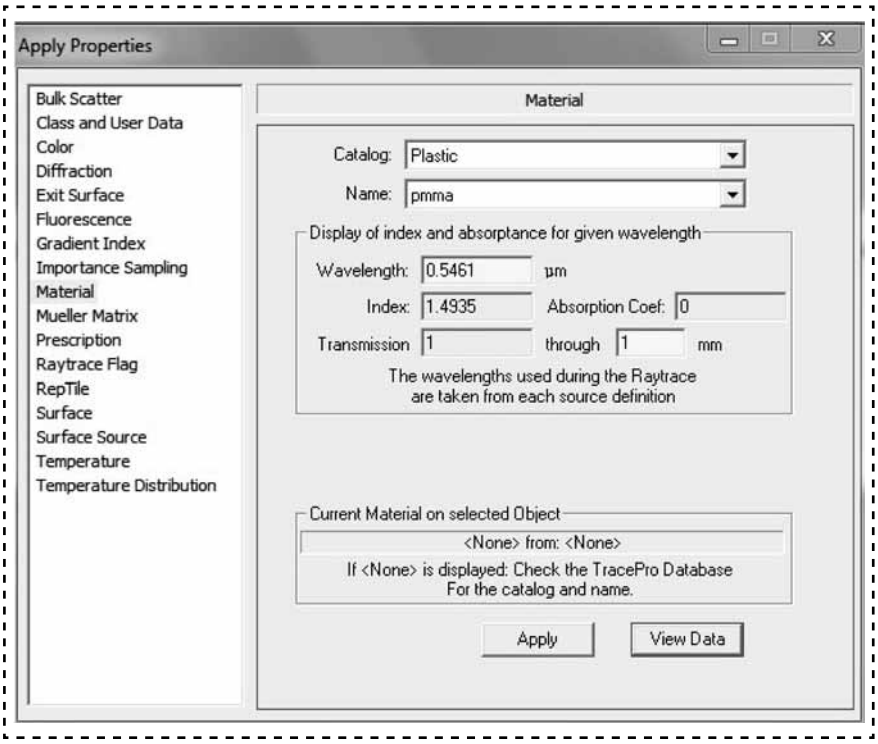


Рис. 4. Оптические свойства защитного стекла

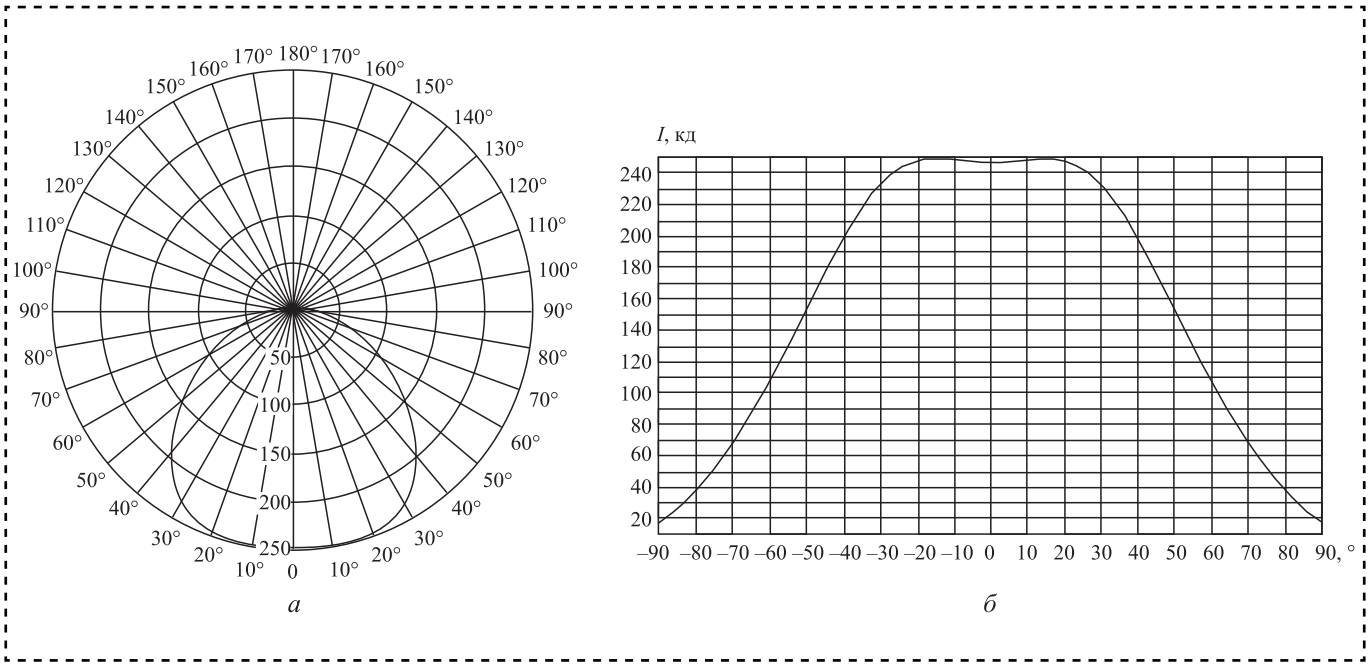


Рис. 7. КСС в полярной (*а*) и прямоугольной (*б*) системах координат

обложки). КСС — косинусная, что вполне соответствует заданным условиям освещения.

Планирование размещения светильников для необходимой интенсивности света, а также определение их числа проводят исходя из результатов расчета освещенности. Современные технологии значительно облегчают процедуру сложных расчетов, поскольку предлагают широкий выбор средств для решения любой задачи. Программа расчета искусственного освещения DIALux — одно из лучших программных обеспечений для точного расчета искусственного освещения, поскольку полностью учитывает все существующие в настоящее время требования по расчету искусственного освещения.

В результате выполнения светотехнического проекта ландшафтного освещения с использованием разработанного СП получена 3D-визуализация освещения и уровни распределения освещенности на отдельных объектах. На рис. 8, *а* на стр. 3 обложки представлена 3D-визуализация освещения. Отображение сцены в фиктивных цветах — один из эффективных приемов оценки качества освещения, позволяющего точно определить недосвеченные или пересвеченные области (рис. 8, *б*).

Разрабатываемый СП также подходит для акцентной, точечной подсветки отдельно стоящих кустарников и небольших клумб (рис. 9 на стр. 4 обложки). Нормирование освещенности для огороженных частных приусадебных участков не проводится. Но для безопасного передвижения человека по пешеходным дорожкам и скверам минимальная горизонтальная освещенность должна соответствовать 2 лк [1].

На рис. 10, *а* на стр. 4 обложки представлена 3D-визуализация функционального освещения дорожки вдоль бассейна. Из распределения освещенности в фиктивных цветах (рис. 10, *б*) видно, что освещенность пешеходной дорожки соответствует значению в 5...10 лк, что обеспечивает безопасность передвижения по ним в темное время суток. Нормирование освещенности террасы также отсутствует и принимается в соответствии с требованиями заказчика в зависимости от вида деятельности, для которой она предназначена. На рис. 11, *а* на стр. 4 обложки представлена 3D-визуализация функционального освещения террасы. Из распределения освещенности (рис. 11, *б*) видно, что средняя горизонтальная освещенность террасы — 15...20 лк.

Заключение

Спроектирован световой прибор на солнечных батареях для функционального и декоративного освещения с использованием средств современной компьютерной техники — системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, оптического моделирования TracePro, моделирования освещения DIALux. Разработанный све-

тильник с энергоэффективными светодиодами может служить альтернативной более экономичной и экологичной заменой световым приборам с традиционными источниками света.

Библиографический список

1. **СП 52.13330.2011.** Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05—95*.
2. **Bayneva I.I.** Concerns Of Design Of The Energy-Efficient Fixtures // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. N 3. P. 6479—6487.
3. **Bayneva I.I.** Study and review of optical systems for light emitting diodes // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. N 3. P. 15304—15309.
4. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Аспекты разработки энергоэффективных светотехнических изделий для решения задач повышения энергосбережения // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1—2. С. 76—80.
5. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Энергоэффективные источники света и световые приборы для решения задач повышения энергосбережения // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014, № 9 (206). С. 62—64.
6. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Современное светодиодное освещение: преимущества, энергоэффективность, оптические системы // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. № 1. Т. 5. 2016. С. 13—16.
7. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Оптические системы для светодиодов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. № 1 (238). С. 54—64.
8. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Применение программ оптического моделирования в учебной и научной деятельности // Информатизация образования и науки. 2015. № 4 (28). С. 53—62.
9. **Федосин С.А., Байнев В.В.** Геометрические модели и их программная реализация для компьютерного исследования и проектирования световых приборов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 6. С. 35—40.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С., Порватов А.Н.

ДИАГНОСТИКА И СЕРТИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

2017. 240 с.

Учебное пособие посвящено методам испытаний, диагностирования и сертификации металлорежущих станков и технологических процессов. На основе разработок МГТУ "СТАНКИН" дано представление о видах испытаний технологического оборудования, изложены основы измерения шума и вибраций, описаны основные методы виброакустической диагностики станочных узлов и процессов резания. Дано представление об экономической эффективности применения систем диагностирования.

Пособие предназначено для подготовки бакалавров технических университетов по направлениям 15.03.05 "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" и 15.03.04 "Автоматизация технологических процессов и производств". Может быть полезным для технологов машиностроения, конструкторов станков и инструмента.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:
по почте: 107076, г. Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2; по e-mail: realiz@mashin.ru.
Дополнительная информация по телефону: (495) 785-60-69 и на сайте www.mashin.ru

УДК 004.42

Ю.Н. Можегова, *канд. техн. наук,* **И.Н. Марихов**
(Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева)
E-mail: kandy2701@mail.ru

Программное обеспечение для автоматизированного проектирования пальцевой фасонной фрезы для эвольвентной винтовой шестерни

Представлено разработанное программное обеспечение для автоматизированного расчета конструктивных параметров и построения моделей и чертежей фасонных фрез.

The software developed for the automated calculation of design parameters and construction of models and drawings of shaped cutters is presented.

Ключевые слова: программное обеспечение, шестерня, модульная фреза.

Keywords: software, gear, milling cutter.

Современное машиностроение широко использует средства геометрического моделирования изделий машиностроения, режущего инструмента и оснастки [1, 2]. Для эффективного подбора режущего инструмента применяют средства автоматизированного проектирования инструмента и оснастки. Геометрическое моделирование используют при проектировании фасонного инструмента, к которому относят фасонные фрезы.

Наибольшее распространение получили фасонные фрезы при обработке винтовых и цилиндрических поверхностей (прямых фасонных канавок), при изготовлении прямых и винтовых стружечных канавок всевозможных инструментов.

Пальцевые зуборезные фрезы — это концевые фрезы с фасонным профилем режущих кромок. Они применяются в тяжелом машиностроении для нарезания крупномодульных колес (m = 10...100 мм) с прямыми, косыми и шевронными зубьями.

Пальцевые фрезы (рис. 1) крепят консольно с помощью резьбы с базированием по точно вы-

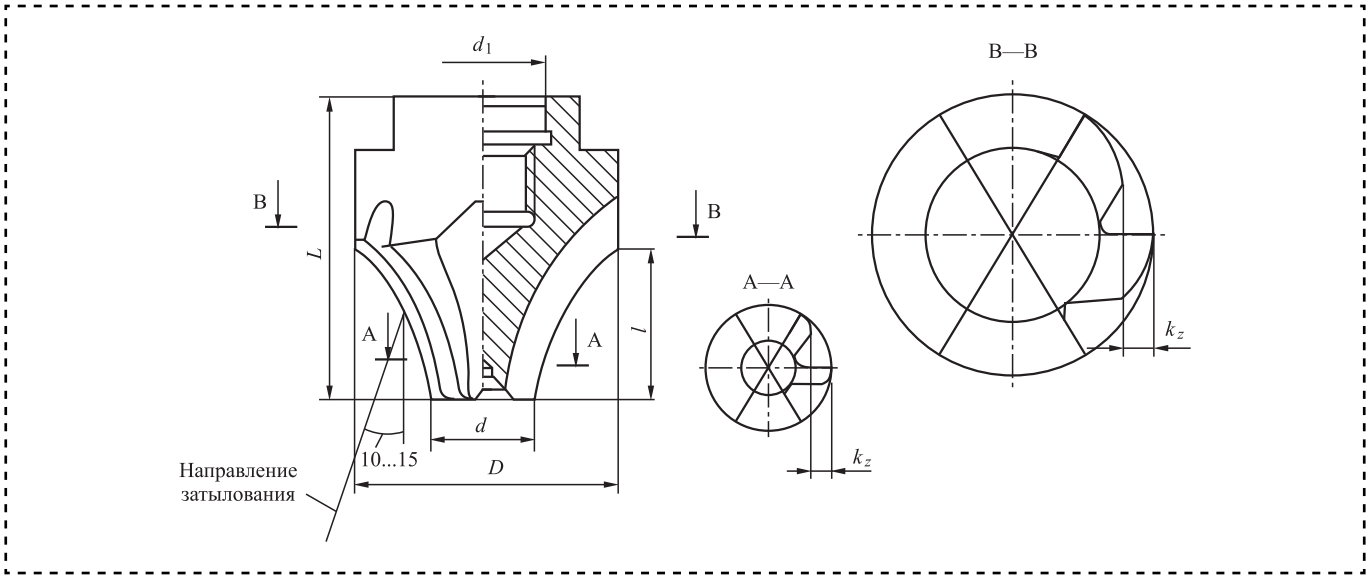


Рис. 1. Пальцевая зуборезная фреза

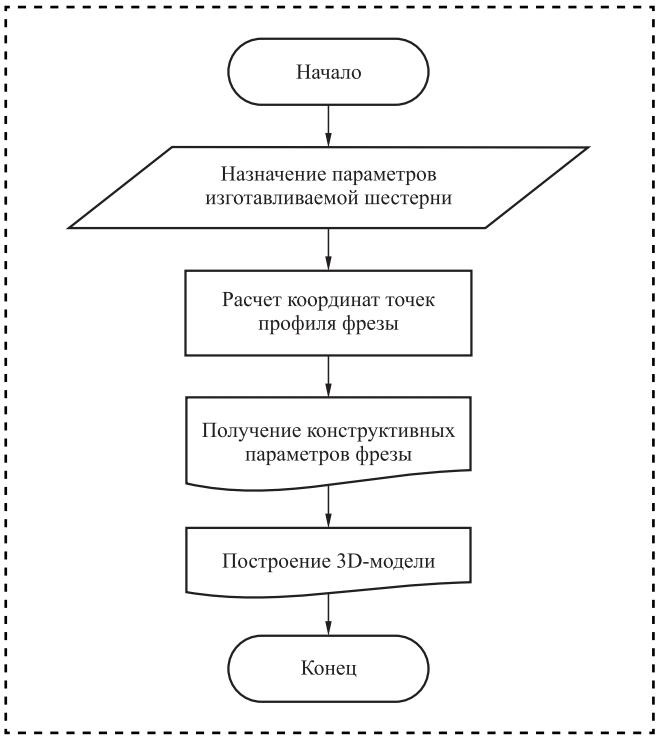


Рис. 2. Алгоритм программного обеспечения

полненному цилиндрическому пояску на посадочной части шпинделя станка.

В процессе работы ось фрезы, совпадающая с осью шпинделя, совмещена с линией симметрии впадины между зубьями нарезаемого колеса. Фреза, вращаясь, перемещается вдоль зуба колеса. При этом движение подачи задается либо фрезе, либо заготовке.

Диаметральные размеры их рабочей части определяются размерами впадины между зубьями колеса. Обычно фрезы изготавливают диаметром от 40 до 220 мм с четным числом зубьев от 2 до 8. Зубья пальцевых фрез затылованы, поэтому проектирование данного инструмента достаточно трудоемко и требует автоматизации.

Цель работы — разработка программы автоматизированного проектирования 3D-модели пальцевой фасонной фрезы для эвольвентной винтовой шестерни в графической системе SolidWorks.

Построение профиля фрезы осуществляют двумя способами:

— заданием координат точек профиля эвольвенты;

— заданием заменяющей эвольвентный профиль окружности.

Первый способ более сложный, но и более точный.

На основе методик проектирования пальцевых фасонных фрез [3] разработан алгоритм программного обеспечения для автоматизированного проектирования пальцевой фасонной фрезы для эвольвентной винтовой шестерни (рис. 2).

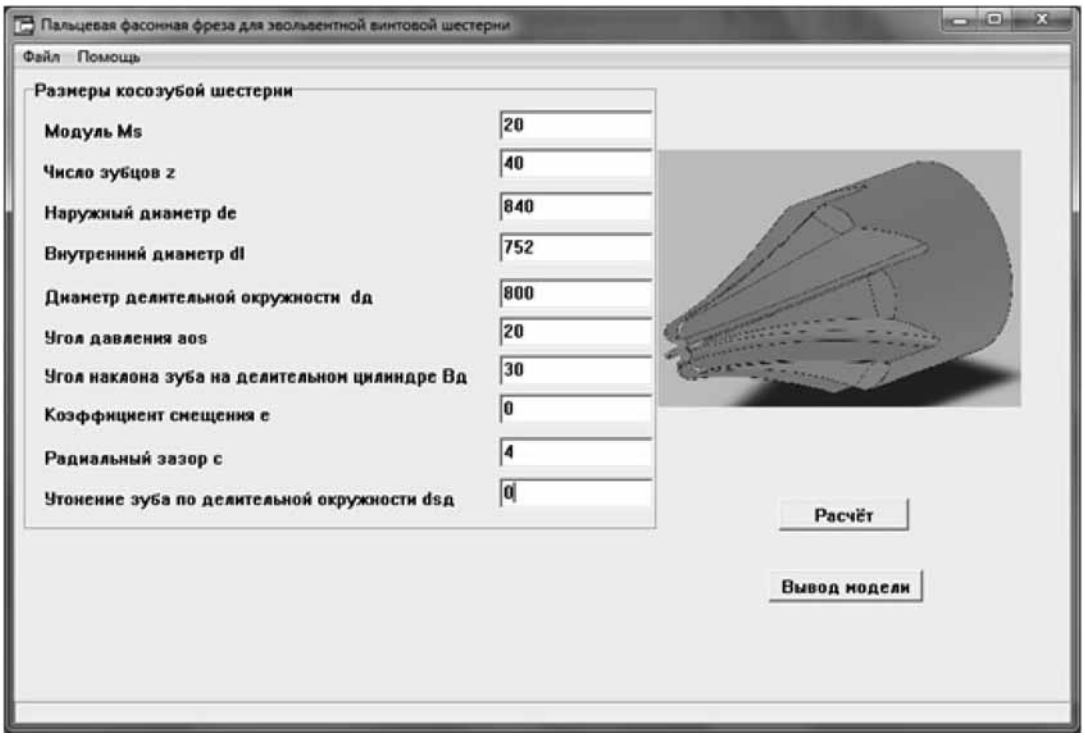


Рис. 3. Ввод исходных данных

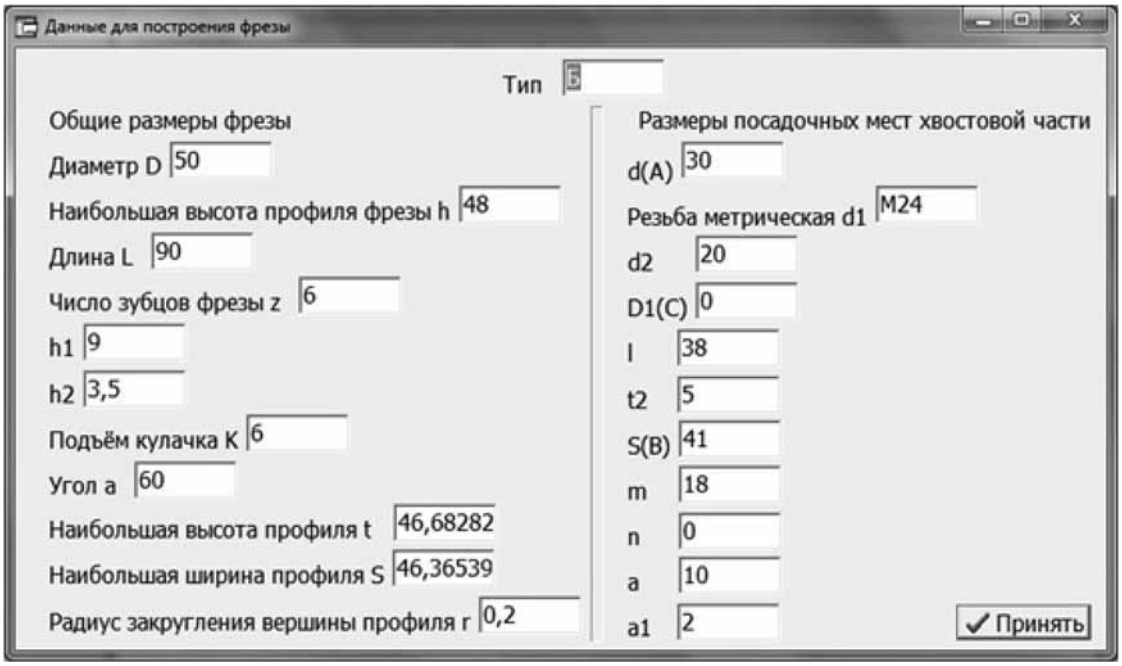


Рис. 4. Расчет параметров проектируемой пальцевой модульной фрезы

Автоматизировали расчет параметров, необходимых для проектирования, в среде Delphi, а твердотельную модель и чертеж выполняли в среде трехмерного моделирования Solid Works.

Для проектирования фрезы первоначально необходимо ввести информацию о шестерне, для обработки которой требуется спроектировать фрезу (рис. 3). На основе введенных данных при нажатии кнопки "Расчет" произойдет автоматический расчет параметров инструмента (рис. 4) по формализованной в программе методике, а затем и построение трехмерной модели инструмента в среде трехмерного моделирования Solid Works (рис. 5).

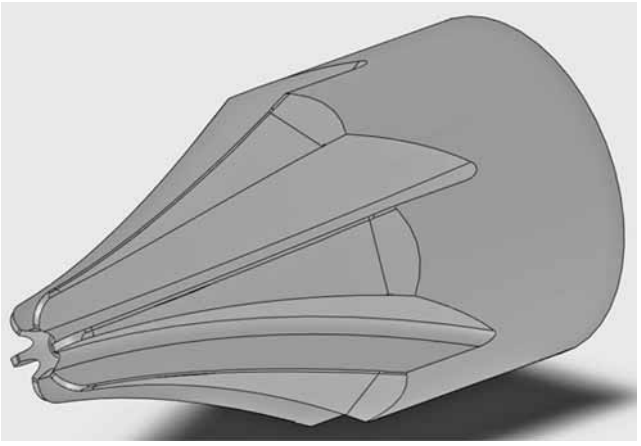


Рис. 5. Трехмерная модель пальцевой модульной фрезы в Solid Works

Предлагаемое программное обеспечение позволит в автоматизированном режиме провести расчет пальцевых модульных фрез и получить их трехмерное изображение в среде трехмерного моделирования Solid Works.

Библиографический список

1. **Матросова Ю.Н.** Программное обеспечение для автоматизированного проектирования фасонных фрез // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 8. С. 38—40.

2. **Матросова Ю.Н., Малова Е.С.** Программное обеспечение для автоматизированного проектирования фрез // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1. С. 44—46.

3. **Фрайфельд И.А.** Расчет и конструирование специального металлорежущего инструмента. М.-Л.: Машгиз. 1959. 196 с.

УДК 621.744.37

А.В. Матрёнин *(ООО ТД "Лаборатория импульсной техники", Москва),*
С.А. Микаева, *д-р техн. наук (Московский технологический университет)*
E-mail: mikaeva@npo.lit.ru

Повышение качества и техника безопасности производства установок обеззараживания воды

Рассмотрено производство установок ультрафиолетового обеззараживания воды, повышение качества и техника безопасности данного производства. Описаны этапы технологического процесса изготовления установок и процессы подбора материалов. Даны рекомендации по видам сварки и видам их работ.

Considered the production of plants for ultraviolet disinfection of water, improving the quality and safety of the production. Describes the stages of the technological process of manufacturing systems and process selection materials. Recommendations for types of welding and types of their work are given.

Ключевые слова: установка, корпус, сварка, швы, производство, процесс.

Keywords: installation, building, welding, welds, production, process.

В современном мире остро стоит проблема нехватки питьевой воды даже в такой богатой водными ресурсами стране, как Россия [1—4]. В этих условиях производство установок для ультрафиолетового (УФ) обеззараживания воды — один из инновационных способов решения задачи по обеспечению населения питьевой водой высокого качества [5]. Неоспоримый плюс использования таких установок — уход от традиционной технологии хлорирования воды и сохранение минерального и микроэлементного состава воды, так как отпадает необходимость использования фильтров многоступенчатой очистки [6—9].

В классическом варианте установка для обеззараживания УФ-излучением представляет собой камеру — сосуд с УФ-лампами, через который проходит поток воды. Вода очищается, подвергаясь УФ-излучению, и обеззараживается. Блок управления камерой — пульт или электрический шкаф. Технология изготовления таких изделий многоэтапна и представляет собой довольно сложный процесс:

1) изготовление корпуса установки;
2) сварка фланцев и проварка швов;
3) травление сварных швов;
4) внешняя обработка камеры (покраска, дробеструйная и пескоструйная обработка и т.п.);
5) сборка и гидравлические испытания камеры;
6) изготовление блока управления;
7) соединение камеры с блоком управления.

Процесс производства камеры установки начинается с подбора оптимального материала. На сегодняшний день это, как правило, различные марки коррозионно-стойкой стали, например, сталь марки AISI 304 (аналог стали марки 08Х18Н10Т) — аустенитная сталь с низким содержанием углерода. Широкое ее использование обусловлено оптимальным сочетанием физико-химических свойств: высокая степень сопротивления окислению, отличная свариваемость, стойкость к резкому перепаду температур и т.д., а также доступность на рынке в сочетании с адекватной ценой. Однако бывают случаи, когда установки работают в более жестких условиях (горячие сточные воды, растворы, содержащие кислоты или щелочи и т.п.). Для таких условий эксплуатации целесообразно использовать сталь с более высокими показателями. Как правило, в этом случае применяют сталь марки AISI 316. Это улучшенная версия стали марки AISI 304 с добавками молибдена и большим

содержанием никеля (российские аналоги — стали марок 10Х17Н13М2Т, 03Х17Н14М3). Ввиду того, что установки постоянно контактируют с водой, не допускается использование ферритных сталей. Также в настоящее время ведется поиск перспективных материалов, например коррозионно-стойких сталей, легированных азотом [10].

Изготовленная из выбранного материала заготовка корпуса камеры подвергается гибке, а затем сварке. На этом этапе осуществляется проварка швов корпуса и приваривание отдельных элементов камеры (патрубков, фланцев и пр.). При этом используют различные виды сварки (ручная дуговая плавящимся электродом, дуговая порошковой самозащитной проволокой, дуговая под флюсом, полуавтоматическая сварка проволокой в защитных газах, лазерная сварка и др.). Самый важный аспект на этом этапе — обеспечение высокого качества сварных швов. Достигается это за счет высококвалифицированного персонала, современного и исправного оборудования, использования различных приспособлений, а также соблюдения ТУ предприятия [11—13].

После проведения сварочных операций швы следует либо зачистить, либо подвергнуть травлению, чтобы исключить возникновение коррозионных процессов в области сварного шва, так как при интенсивном локальном нагреве (т.е. при сварке) металл может изменить свой фазовый состав, что приведет к нежелательной коррозии. В процессе механической зачистки или травления могут проявиться такие дефекты сварки, как раковины, непровар, кратеры, несплавления и др. [14—16]. Таким образом, появляется возможность исправления брака еще на ранних этапах производства.

Для придания эстетичного внешнего вида камеры подвергают поверхностной обработке — пескоструйной, дробеструйной, окраске и пр. Выбор обработки зависит в основном от условий, в которых работает камера.

После поверхностной обработки камеры на нее устанавливают необходимые компоненты (краны, фитинги, пробоотборники и пр.) и проводят гидравлические испытания. В камере создается избыточное давление воды (3...20 бар) и благодаря этому можно обнаружить негерметичность сварных швов, уплотнений, мест соединений деталей и пр. Номинал избыточного давления определяется исходя из будущих условий работы камеры с запасом прочности 25...300 %.

Если установка благополучно прошла гидравлические испытания, ее подключают к блоку управления и проводят финальные испытания, которые моделируют реальные режимы работы, а также аварийные ситуации.

Для обеспечения высокого качества установок следует руководствоваться пониманием технологических процессов и факторов, которые происходят на производстве при изготовлении изделий: квалификация рабочего персонала, наличие на производстве входного и выходного контроля, качество и количество оборудования, на котором изготавливают детали и комплектующие, а также качество изделий и полуфабрикатов, изготавливающихся по кооперации. Работа над постоянным улучшением всех производственных факторов обеспечивает непрерывный рост качества изделий.

Поскольку производство установок для обеззараживания воды связано с воздействием вредных факторов, их необходимо учитывать для организации безопасных работ. Выделим основные:

1) опасность поражения электрическим током;

2) опасность при работах на различных станках и оборудовании;

3) работа с УФ-лампами, содержащими амальгаму (сплавы ртути);

4) работа с сосудами под давлением;

5) транспортировка и перемещение тяжелых установок (весом более 1 т);

6) работа с пневмоинструментом;

7) специфические факторы производства.

При организации работ следует учитывать все вредные факторы, присутствующие на производстве, и осуществлять мероприятия по защите персонала от них. Рабочие и инженерно-технические работники должны проходить обязательные инструктажи по технике безопасности, а также быть обеспечены спецодеждой и средствами защиты от вредных воздействий [17, 18].

Библиографический список

1. **Некоторые** аспекты хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Казани / А.Б. Адельшин и др. // Журнал "Известия КГАСУ", 2013. № 1 (23). С. 168—173.

2. **Нуруллин Ж.С., Шешегова И.Г., Чиглакова Е.В.** О проблемах обеспечения населения качественной питьевой водой в республике Татарстан // Вестник научных конференций. 2015. № 1—5 (1). С. 97—98.

3. **Сизов М.А., Пичугина Н.Н.** К проблеме обеспечения населения питьевой водой // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2014. Т. 4. № 11. С. 1251—1252.

4. **Прохорова Н.Б.** На острие актуальных проблем развития водного хозяйства // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 2. С. 100—107.

5. **Кудрявцев Н.Н., Костюченко С.В., Волков С.В., Зайцева С.Г.** Опыт и перспективы практического применения обеззараживания сточных вод УФ-излучением // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 4—1. С. 39—42.

6. **Костюченко С.В.** Ультрафиолетовое облучение — современный метод обеззараживания воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 12-1. С. 21—22.

7. **Костюченко С.В.** УФ-технология в практике обеззараживания питьевых и сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 4. С. 33—37.

8. **Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е.** Системы обеззараживания ультрафиолетом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 2. С. 44—48.

9. **Микаева С.А., Микаева А.С., Бойчук М.И.** Сборка корпусных установок с амальгамными лампами типа УДВ-А для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 5. С. 28—32.

10. **Создание** перспективных принципиально новых коррозионно-стойких корпусных сталей, легированных азотом / И.В. Горынин и др. // Вопросы материаловедения. 2005. № 2. С. 40—54.

11. **ГОСТ 261—84.** Сварка металлов. Термины и определения основных понятий.

12. **Сварка** в машиностроении: справочник. В 4 т. М.: Машиностроение, 1979.

13. **ГОСТ Р ИСО 4063—2010.** Сварка и родственные процессы. Перечень и условные обозначения процессов.

14. **ГОСТ 30242—97.** Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения.

15. **Семенов В.В., Романенко С.Р., Грачева А.С.** Дефекты в сварных швах и способы их устранения // Молодежный вестник ИрГТУ. 2014. С. 2.

16. **Власов С., Халаим В., Волков А., Голушко С.** Дефекты в сварных швах // ТехНадзор. 2015. № 11 (108). С. 660—661.

17. **Кукин П.П.** Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. М.: Высшая школа, 2009. 336 с.

18. **Ефремова О.С.** Охрана труда в организациях в схемах и таблицах. М.: Изд-во Альфа-Пресс, 2012. 120 с.

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) 268-48-97.
Технический редактор *Патрушева Е.М.* Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 10.08.2017. Подписано в печать 02.10.2017. Формат 60 × 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.

80 лет

ВЯЧЕСЛАВУ ФЕОКТИСТОВИЧУ БЕЗЪЯЗЫЧНОМУ,

доктору технических наук, профессору

3 сентября 2017 года исполнилось 80 лет Вячеславу Феоктистовичу Безъязычному.

В.Ф. Безъязычным впервые разработаны принципы расчетного определения показателей качества поверхностного слоя деталей и точности при механической обработке с учетом одновременного воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали как тепловых, так и силовых факторов, обусловленных процессом резания.

В.Ф. Безъязычным опубликовано более 800 научных работ, в том числе свыше 40 в зарубежных изданиях, 10 патентов на изобретения и свидетельства об интеллектуальной собственности. Неоднократно выступал с научными докладами в Польше, Италии, Югославии, Чехии, Болгарии, Словакии и других странах. При консультации В.Ф. Безъязычного и под его научным руководством защищено 8 диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук и 55 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук. Исследования, выполненные В.Ф. Безъязычным и его учениками, широко используются в практике. Результаты научных работ В.Ф. Безъязычного отмечены тремя серебряными медалями ВДНХ.

В.Ф. Безъязычный является членом экспертного совета ВАК по машиностроению, членом трех диссертационных советов по защите диссертаций, членом редакционных советов журналов "Сборка в машиностроении, приборостроении", председателем редакционного совета журнала "Упрочняющие технологии и покрытия", членом редакционного совета журнала "Справочник. Инженерный журнал".

За трудовые успехи и многолетнюю добросовестную работу по подготовке инженерно-технических кадров, а также научную деятельность В.Ф. Безъязычный награжден медалью "За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина" (1970 г.), нагрудным знаком "Почетный работник высшего профессионального образования РФ" (1997 г.), орденом Почета (2003 г.), медалями К.Д. Ушинского, имени К.Э. Циолковского, имени М.В. Келдыша, Памятной медалью "300 лет Михаилу Васильевичу Ломоносову", орденом К.Э. Циолковского, Юбилейной медалью Национальной академии наук Беларуси, Международной медалью имени Сократа за личный вклад в развитие современной науки.

В.Ф. Безъязычный — почетный доктор Донского государственного технического университета, почетный профессор национальной академии прикладных наук Российской Федерации, Брянского государственного технического университета, Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева.

Издательство "Инновационное машиностроение", редакция и редакционный совет журнала "Сборка в машиностроении, приборостроении" от всей души поздравляют Вячеслава Феоктистовича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!