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

5 2012 (142)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Филипович О.В., Копп В.Я., Гарматюк М.И. Имитационная модель процесса однопараметрической селективной сборки . . . 3

Технологичность конструкции

Кашуба Л.А. Геометрия сборки недеформируемых деталей . . . 7

Современные технологии сборки

Широкий А.В., Кристаль М.Г. Моделирование процесса пассивного ориентирования деталей в вибрационных бункерных загрузочных устройствах . . . 12

Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Математическая модель процесса адаптации положения детали при автоматизированной сборке. . . . 15

Редин В.Н., Аббясов В.М. Разработка метода оценки нагруженности элементов технологических роботизированных комплексов . . . 21

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Шкурко Л.С., Смолов Ю.А., Вартанов М.В., Зинина И.Н. Автоматизированный стенд для испытаний уплотнений автомобильных агрегатов . . . 25

Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров . . . 31

В помощь конструктору, технологу

Васильев А.С., Грязев В.М., Ямников А.С. Функционально связанные сборочные размерные цепи, обеспечивающие нормированный контакт поверхностей . . . 36

Экология и безопасность сборочных работ

Микаева С.А., Микаева А.С. Установки для обеззараживания воздуха и воды . . 41

Информация

Промышленные достижения на Петербургской технической ярмарке 2012 . . . 47

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу “Роспечать” – **79748**, Объединенному каталогу “Пресса России” – **84967**, каталогу "Почта России" – **60257**) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
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.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
А.А. ГУСЕВ
М.В. ВАРТАНОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО
БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО
ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО
ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК
В.М. ТРУХАНОВ
ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ
КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ
КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ
КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН
В.И. ШПОРТ
А.М. ШПИЛЕВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ
НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ
ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ
ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ
ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ
РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.Н. СЕМЕНОВ
САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ
ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
ТУЛА
В.В. ПРЕЙС
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
М.Л. ХЕЙФЕЦ
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

© Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2012

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

5 2012 (142)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Filipovich O.V., Kopp V.Ya., Garmatyuk M.I. Simulation model of process of the one-parameter selective assembly . . . 3

Manufacturability of a construction

Kashuba L.A. Geometry assembly undeformed details . . . 7

Modern technologies in assembly

Shirokij A.V., Kristal M.G. The simulation of passive orientation in the vibratory feeding devices . . . 12

Kyznecova S.V., Simakov A.L. The mathematical model of the process of adaptation of the detail's position at the automated assembly . . . 15

Redin V.N., Abbjasov V.M. Working out of a method of an estimation loading elements of the technological robotized complexes . . . 21

Quality assurance. Testing. Monitoring

Shkurko L.S., Smolov U.A., Vartanov M.V., Zinina I.N. Automated test stand for automotive sealing units . . . 25

Sorokin M.N., Anurov Yu.N. Definition of probability of reception of the rejected interfaces at selective assemblage of products of type "shaft-plug" on the valid values of interfaced parameters . . . 31

Industrial and design engineer's aid

Vasiliyev A.S., Gryasev W.M., Yamnikov A.S. Functionally connected assembly dimensional chains that provide normalized surface contact . . . 36

Ecology and safety in assembly

Mikaeva S.A., Mikaeva A.S. Uv systems for water and air disifection . . . 41

Information

Industrial achievements at the Petersburg technical fair 2012 . . . 47

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" – **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" – **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
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
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW
A.S. VASIL'EV (Chief editor)
M.V. VARTANOV
A.M. DALSKY
A.A. GUSEV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

Regional editors

BELGOROD
N.A. PELIPENKO
BRIANSK
O.A. GORLENKO
VLADIVOSTOK
Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
V.M. KORNIENKO
VOLGOGRAD
M.G. KRISTAL
V.G. KARABAN'
V.I. LYSAK
V.M. TRUKHANOV
IZHEVSK
I.V. ABRAMOV
B.A. YAKIMOVICH
V.G. OSETROV
KAZAN
R.I. ADGAMOV
KOVROV
Yu.Z. ZHITNIKOV
KOLOMNA
Yu.D. AMIROV
KOMSOMOLSK-ON-AMUR
B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV
NABEREZHNYE CHELNY
S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV
NIZHNY NOVGOROD
S.V. GOLUBEV
OMSK
V.N. KOSTIUKOV
OREL
Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV
ORENBURG
A.N. POLYAKOV
A.I. SERDUK
A.P. FOT
RYBINSK
V.F. BEZIAZYSHNY
V.V. NEPOMILUEV
A.N. SEMENOV
SAMARA
M.A. EVDOKIMOV
Yu.A. VASHUKOV
G.A. KULAKOV
V.A. NIKOLAEV
ST.-PETERSBURG
V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV
TULA
V.V. PREYS
TOLIATI
A.I. RYZHKOV
KHABAROVSK
V.A. LASHKO

Ukraine
KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO
DONETSK
A.N. MIKHAILOV
SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA

Belarus
MINSK
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ
GOMEL
V.E. STARZHINSKI

Executive editors of current issue:
Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-radio Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2012

УДК 621.75

О.В. Филипович, *канд. техн. наук,* **В.Я. Копп,** *д-р техн. наук,* **М.И. Гарматюк,** *аспирант*
(Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина)
E-mail: phiol@ukr.net

Имитационная модель процесса однопараметрической селективной сборки

Показана имитационная модель процессов селективного комплектования и сборки двух однопараметрических деталей для определения показателей сборочного процесса. Приведен пример моделирования.

The simulation model of processes of selective acquisition and assembly of two one-parameter details for determination of quality characteristics of assembling process is shown. The modeling example is resulted.

Ключевые слова: имитационная модель, однопараметрическая селективная сборка.

Keywords: simulation model, one-parameter selective assembly.

Имитационные модели (ИМ) широко используют для анализа поведения сложных реальных систем, состоящих из большого количества взаимодействующих элементов и процессов, которые в основном являются случайными. Целью данной работы является построение ИМ процесса селективной сборки двух деталей, осуществляемой по одному параметру I (рис. 1). Условно такой процесс называется однопараметрической селективной сборкой двух деталей (*1* и *2*). Указанный процесс условно характеризуется схемой, показанной на рис. 1, обозначения на которой соответствуют принятым в работе [2].

Селекция, комплектование и сборка деталей происходят по параметрам, обозначаемым x_i (i = 1, 2). Примем, что данные параметры являются независимыми случайными величинами (СВ), имеющими плотности распределения $f_i(x)$ (i = 1, 2), конечные математические ожидания и дисперсии. Выходной параметр изделия связан с входными параметрами зависимостью,

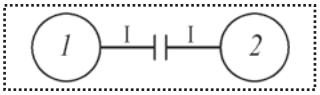

Рис. 1. Схема комплектования

которая предполагается известной. Строится ИМ для определения показателей качества процесса сборки, таких как количество изделий незавершенного производства, предварительного брака и собранных годных комплектов. Исходными данными для построения ИМ являются указанные плотности распределения, величины расширенных допусков X_i (i = 1, 2) на изготовление партий деталей равных объемов $Q_1 = Q_2 = Q$, число групп сортировки l_i (i = 1, 2). В качестве допущения принималось равенство расширенных допусков и числа сортировочных групп у деталей обоих типов.

Рассматриваемый процесс в поточном производстве обеспечивается специальными устройствами, называемыми контрольно-сортировочными автоматами (КСА), которые предназначены для автоматического 100 %-ного контроля параметров (размеров, отклонений формы и расположения) сопрягаемых деталей и последующей их сортировкой на размерные группы. В некоторых случаях КСА выполняют функции одновременного контроля и сортировки нескольких сопрягаемых деталей по определенным параметрам (например, диаметрам), а также их последующую сборку по заданным алгоритмам. В данной работе рассмотрен именно последний вариант указанного устройства. Несмотря на значительные конструктивные разновидности, КСА можно охарактеризовать общей схемой, показанной на рис. 2 [3, 4].

Загрузочно-транспортирующий орган 1 служит для отделения деталей друг от друга, установки их в опре-

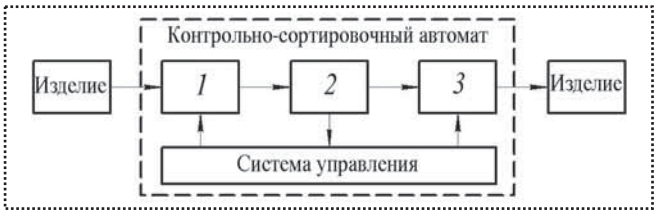

Рис. 2. Обобщенная структура КСА:
1 – загрузочно-транспортирующий орган; *2* – измерительный орган; *3* – исполнительный орган

деленное положение и перемещения их внутри системы. *Измерительный орган 2* определяет принадлежность деталей к той или иной группе путем сопоставления действительного значения измеряемого параметра с известными границами селективных групп. Основная задача *исполнительного органа 3* – направить деталь в отсек, соответствующий принимаемой селективной группе. Взаимосвязь между указанными элементами, воздействие на исполнительные органы, хранение, обработка и передача измерительной информации осуществляются системой управления. Факторами, определяющими компоновку КСА, являются форма, размеры и масса контролируемой детали, количество, точность и характер контролируемых параметров, требования к сортировке, производительность и степень универсальности [4].

Модель сортировочного и сборочного процессов, имитирующая функционирование КСА с возможностью сборки, построена в среде GPSS World Student Version [1]. Модель состоит из нескольких основных сегментов:

1) задания исходных данных;
2) имитации присвоения значений размеров;
3) сортировки на селективные группы и их накопления;
4) имитации сборочного процесса;
5) определения показателей сборки.

В первом сегменте определяются исходные данные, указанные ранее. Здесь также задаются математические ожидания и среднеквадратические отклонения случайных величин, таблицы, необходимые для сбора статистических данных, рассчитываются предельные значения размеров и величины групповых допусков $X_i^{k_i}$.

Реализацией каждой отдельно взятой детали в модели является ее динамический объект – транзакт. Во втором сегменте производится генерация серии транзактов, при этом размер серии определяется величиной Q. Каждому транзакту в первый параметр записывается значение случайной величины x_i, распределенное по заданному закону. Для определения закона используются встроенные в GPSS World библиотечные генераторы случайных чисел.

Процесс сортировки на заданное количество селективных групп осуществляется с помощью двух подпрограмм, выполненных на языке программирования низкого уровня PLUS, встроенного в GPSS [1]. Каждая подпрограмма представляет из себя PLUS-процедуру. Для детали i-го типа сначала рассчитываются границы k_i-й селективной группы $\{a_i^{k_i}, a_i^{k_i+1}\}$ в пределах допуска X_i, а затем определяется принадлежность величины x_i интервалам $[a_i^{k_i}, a_i^{k_i+1}]$. В случае, если

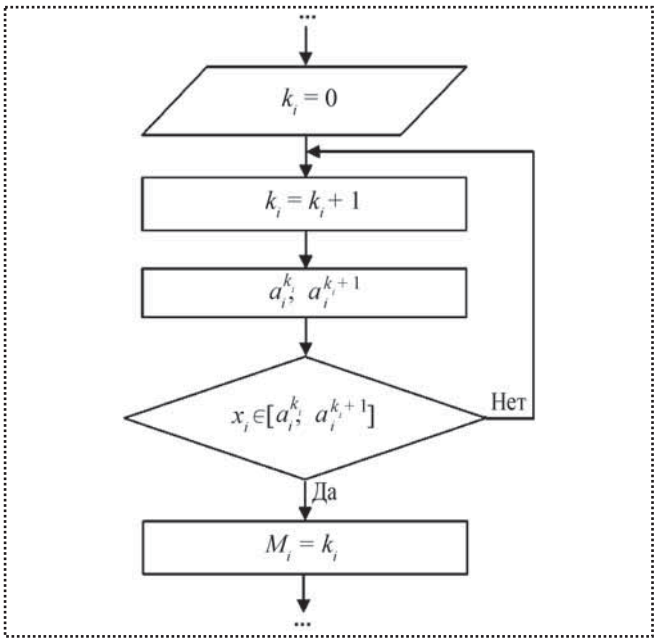

Рис. 3. Блок-схема фрагмента PLUS-процедуры для сортировки деталей на группы

$$x_i \in [a_i^{k_i}, a_i^{k_i+1}],$$

то процедура прекращается и результат ее выполнения возвращается в виде переменной M_i, численное значение которой равно

$$M_i = k_i .$$

Если этого не происходит, то процесс циклически повторяется до тех пор, пока не будет найдена принадлежность x_i одной из селективных групп – $k_i = \overline{1, l_i}$ (рис. 3).

Переменные M_i определяют группы сортировки для деталей и используются в дальнейшем в качестве номеров списков пользователя, в которые попадают транзакты в порядке их поступления (FIFO). Списки пользователя используются в модели в качестве накопительных устройств, число списков соответствует числу селективных групп. Накопление транзактов производится до тех пор, пока не будут превышены заданные размеры серий Q_i.

В следующем сегменте имитируется сборочный процесс по одновариантному правилу комплектования, т.е. каждый сборочный комплект k формируется только из одноименных k_i-х селективных групп [2]. Для этого дополнительно генерируется транзакт, выводящий уже имеющиеся транзакты из списков поль-

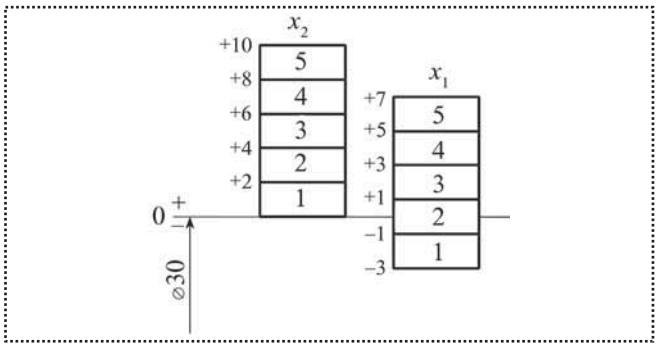

Рис. 4. Схемы расположения полей допусков собираемых деталей по параметрам x_1 и x_2

зователя. Процесс вывода производится циклически, при этом каждый раз двум параметрам выводящего транзакта присваиваются системные числовые атрибуты максимальных чисел транзактов в каждой паре списков пользователя, соответствующих собираемым селективным группам. Число выводимых из совокупности двух списков транзактов определяется минимальным значением числа транзактов, находящихся в данный момент времени в любом из списков пары. Поиск минимума осуществляется с помощью третьей PLUS-процедуры. Число оставшихся в каждом списке пользователя транзактов, представляющих собой незавершенное производство, записывается в текстовый файл.

После прогона модели в отчете будут представлены следующие данные, необходимые для дальнейшего анализа:

1) информация о статистических плотностях распределения, средних значениях и стандартных отклонениях размеров деталей в партии, собранная с помощью статистических таблиц;

2) максимальное число транзактов, вошедших в каждый из списков пользователя (количество деталей в каждом накопительном устройстве перед сборкой);

3) общее число несобранных деталей каждого типа.

Приведем пример моделирования процесса селективного комплектования и сборки по построенной ИМ. Пусть изготовляются партии деталей двух типов с одинаковым объемом $Q = 500$ шт, допусками $X_1 = X_2 = 0{,}01$ мм, числом групп сортировки $l_1 = l_2 = 5$, имеющие схемы расположения полей допусков сопрягаемых параметров, показанные на рис. 4.

На этом же рисунке приведены групповые отклонения для каждой из пяти селективных групп (в микрометрах), координаты середин полей расширенных допусков на изготовление параметров деталей соответственно равны 30,002 и 30,005 мм.

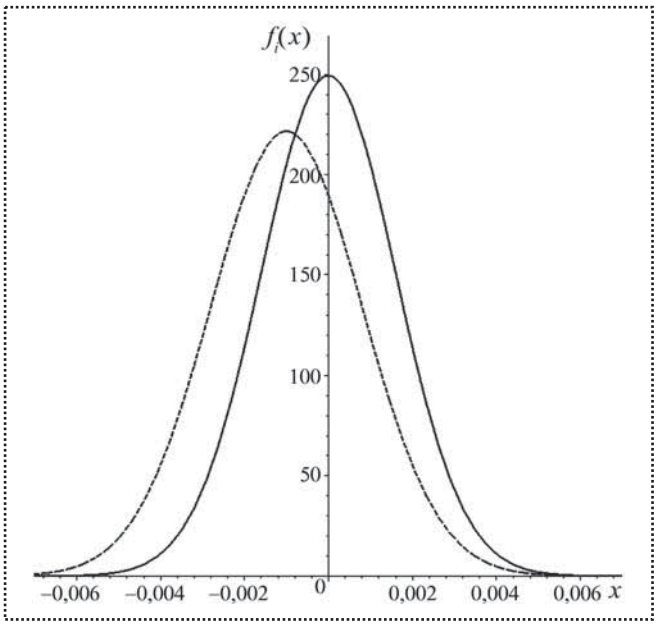

Рис. 5. Распределение параметров деталей:
—— – $f_1(x)$; **– – –** – $f_2(x)$

Предположим, что распределения размеров деталей в соответствующих партиях – нормальные, имеющие плотности

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \quad i = 1, 2,$$

где σ_i и m_i – среднеквадратическое отклонение и математическое ожидание случайной величины x_i. Для рассматриваемого примера примем: $m_1 = 30{,}002$ мм; $\sigma_1 = 0{,}0016$ мм; $m_2 = 30{,}004$ мм; $\sigma_2 = 0{,}0018$ мм. Плотности распределений с указанными параметрами, совмещенные по координатам середин расширенных полей допусков на изготовление, имеют вид, показанный на рис. 5.

После прогона модели с использованием одного генератора случайных чисел по накопленным статистическим данным можно получить гистограммы, показывающие распределения случайных величин x_1 и x_2 (рис. 6 и 7).

Данные по числу деталей в каждой из селективных групп, числу деталей, размеры которых выходят за предельные, а также по незавершенному производству (НП) сведены в таблицу.

Общее число незавершенного производства при принятых исходных данных составило 2277 деталей, из них 1166 деталей первого типа и 1111 – второго. Число деталей, не участвующих в сборочном процессе ввиду того, что их размеры выходят за предельные

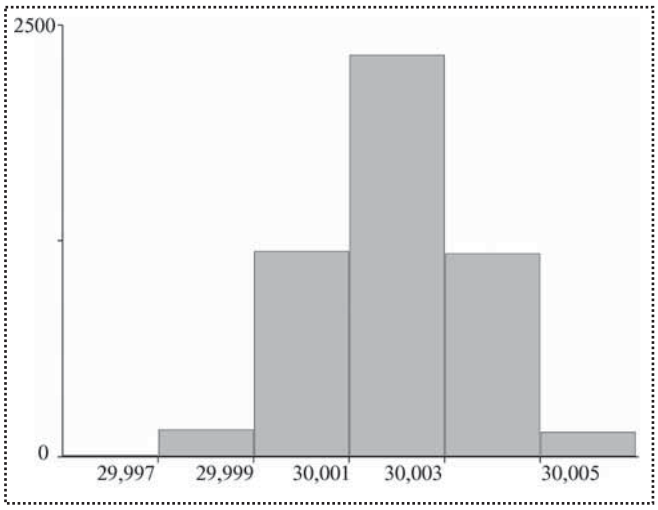

Рис. 6. Статистическое распределение значений случайной величины x_1

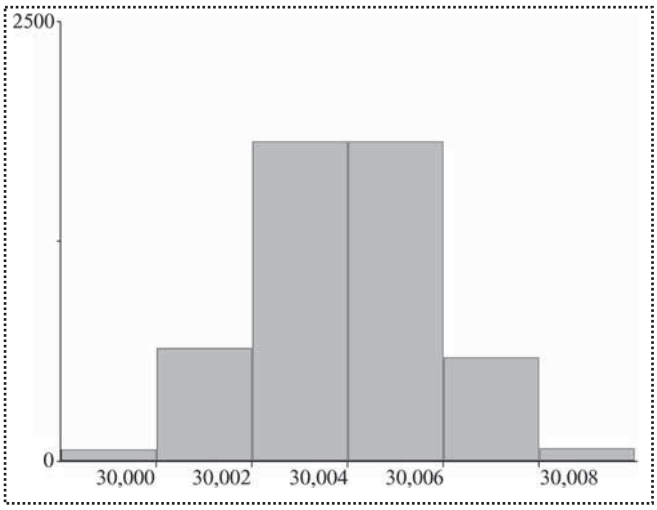

Рис. 7. Статистическое распределение значений случайной величины x_2

Выходные данные, полученные в результате прогона модели

Тип детали		Количество деталей, шт						
		Менее $x_{i\,\min}$	Селективная группа					Более $x_{i\,\max}$
			1	2	3	4	5	
1	До сборки	5	156	1191	2327	1179	137	5
	После сборки	5	0	0	512	589	65	5
2	До сборки	65	644	1814	1815	590	72	0
	После сборки	65	488	623	0	0	0	0
НП		–	488	623	512	589	65	–

(предварительный брак): 10 – первого типа, 65 – второго. Вероятность получения годного сборочного комплекта составляет 0,765.

Построенная ИМ может использоваться в дальнейшем для моделирования процесса селективной сборки двух деталей, расчета соответствующих показателей, анализа и управления данным процессом.

Перспективами дальнейших исследований в этой области является модернизация построенной ИМ с учетом влияния погрешностей средств измерения на распределение деталей по селективным группам, а также определение распределения величины выходного параметра собранного узла, вычисляемой по заданной зависимости.

Библиографический список

1. **Боев В.Д.** Моделирование систем, инструментальные средства GPSS World. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 454 с.

2. **Катковник В.Я., Савченко А.И.** Основы теории селективной сборки. Л.: Политехника. 1991. 303 с.

3. **Контрольно-измерительные** автоматы и приборы для автоматических линий / Под ред. М.И. Коченова. М.: Машиностроение, 1965. 372 с.

4. **Теория** и проектирование контрольных автоматов: учеб. пособие для вузов / Л.Н. Воронцов, С.Ф. Корндорф, В.А. Трутень и др. М.: Высшая школа, 1980. 560 с.

УДК 514.851

Л.А. Кашуба, *канд. техн. наук, доцент (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*
E-mail: leonid-ak@mail.ru

Геометрия сборки недеформируемых деталей

Рассмотрены детерминированные модели сопряжения двух реальных поверхностей и двух цилиндрических деталей с реальными поверхностями, сопрягающихся по реальной поверхности торцов. Разработанные модели обобщены на неограниченное число деталей. Предложенная детерминированная модель может быть использована для оценки параметров геометрии масс собранного изделия.

The paper deals with deterministic models of conjugation of two real surfaces and the two cylindrical parts with real surfaces, the mating of the real surface of the ends. The models are generalized to an unlimited number of parts. The proposed deterministic model can be used to estimate the parameters of the geometry of the mass of collected articles.

Ключевые слова: сопряжение реальных поверхностей, неподвижная и подвижная системы координат сопрягаемых поверхностей, точка контакта, расположение точек контакта относительно неподвижной системы координат, погрешность сопряжения недеформируемых поверхностей, пространственных размерных цепей недеформируемых изделий с реальными сопрягаемыми поверхностями.

Keywords: pairing of real surfaces, the fixed and movable coordinate system of mating surfaces, the contact point, the location of contact points with respect to the fixed coordinate system, the error conjugation deformable surfaces, spatial dimensional chains deformable products with actual mating surfaces.

Ознакомившись с работой [1], связанной с геометрией детали, можно перейти к описанию геометрии сборки деталей по сопрягаемым поверхностям. Формы сопрягаемых поверхностей разделяют на плоские, цилиндрические, конические, сферические, винтовые и профильные[1].

Рассмотрим сначала сопряжение двух наиболее широко используемых и простых из сопрягаемых поверхностей, имеющих *номинальную плоскую форму*. Конечно, даже такие простые номинальные формы поверхностей имеют отклонения формы.

Заметим, что при соблюдении правил привязки номинальной системы координат номинальных поверхностей к системе координат системы измерения через элемент, эквидистантный номинальному, ***система координат реального элемента может быть отождествлена с системой координат эквидистантного элемента, прилегающего к реальному элементу.***

После определения геометрии сопряжения сопрягаемых поверхностей детали можно представить геометрию собранного из двух деталей изделия – сборочной единицы, привязав к каждой сопрягаемой поверхности остальные поверхности детали, а затем, продолжив присоединение к полученной сборочной единице других деталей по сопрягаемым поверхностям, получить полное и точное описание геометрии сборочной единицы любой сложности.

1. Геометрия сопряжения реальных элементов

Рассмотрим модель сопряжения реальных плоских поверхностей двух деталей.

Сопряжение реальных поверхностей двух недеформируемых деталей происходит по ограниченному числу точек. Определенность пространственного расположения системы координат реальной сопрягаемой поверхности одной детали относительно системы координат реальной поверхности другой детали обеспечивается тремя точками контакта. На этих трех точках можно построить систему координат соприкосновения, относительно которой могут быть определены системы координат любых реальных поверхностей сопрягаемых элементов. Каждая реальная поверхность имеет свою систему координат, к которой привязаны узлы сетки компьютерной графики *u*v, представляющие реальную поверхность в параметрической форме набором узлов и кубических граничных кривых.

Пусть системы координат каждой из реальных поверхностей параллельны (рис. 1).

Систему координат одной из поверхностей $O_0X_0Y_0Z_0$ будем считать *неподвижной*, а другую – поверхности $O_1\,X_1\,Y_1\,Z_1$ – *подвижной*. Начала координат расположены на одной оси и отстоят на некотором расстоянии друг от друга. Подвижную систему коор-

[1] Профильное соединение – соединение, у которого сопрягаемые поверхности составных частей изделия имеют форму определенного профиля (кулачков, зубчатых колес и т.п.).

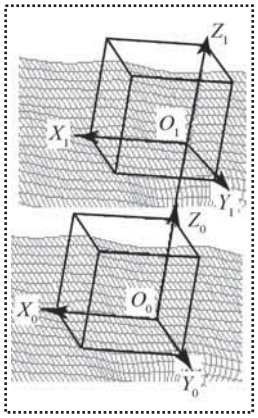

Рис. 1. Схема расположения сопрягаемых поверхностей до сопряжения

динат вместе с привязанными к ней точками реальной поверхности будем параллельно перемещать относительно неподвижной от O_1 к O_0 вдоль оси Z_0.

Точки подвижной реальной поверхности в этом случае проецируются на точки неподвижной реальной поверхности.

Если теперь сближать эти поверхности (например, приближать подвижную с индексами 1 к неподвижной с индексами 0), то можно определить точку первого контакта. Она будет там, где расстояние между точками (например, узловыми) минимально. Перенесем одну из сопрягаемых реальных поверхностей (подвижную), не меняя ориентации в пространстве ее системы координат в точку контакта (соприкосновения). Между всеми остальными узловыми точками расстояния (зазоры) будут разной величины.

В системе координат O_0, X_0, Y_0, Z_0 (рис. 2, *а*) представлена точка первого контакта реальных поверхностей.

Определение второй точки контакта можно сделать после поворота подвижной поверхности вокруг некоторой оси, проходящей через точку первого контакта. Для этого необходимо определить *правило поворота*.

Пусть таким правилом будет поворот подвижной системы координат в сторону начала координат неподвижной поверхности вокруг оси, проходящей через первую точку контакта и перпендикулярной направлению от точки контакта до начала координат первой плоскости (см. рис. 2, *а*). Поворот вокруг этой оси будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет соприкосновения во второй точке контакта (рис. 2, *б*). Угол поворота соответствует минимальному углу между одноименными точками реальных поверхностей относительно оси поворота. После поворота система координат подвижной поверхности займет новое положение относительно первой.

Нахождение третьей точки контакта можно осуществить поворотом системы координат второй поверхности относительно оси, проходящей через две точки контакта (см. рис. 2, *б*). Для этого необходимо прежде всего определить положение точек второй реальной поверхности в системе координат первой после первого поворота, затем угол между одноименными точками относительно новой оси поворота и, наконец, по минимальному углу – точку третьего кон-

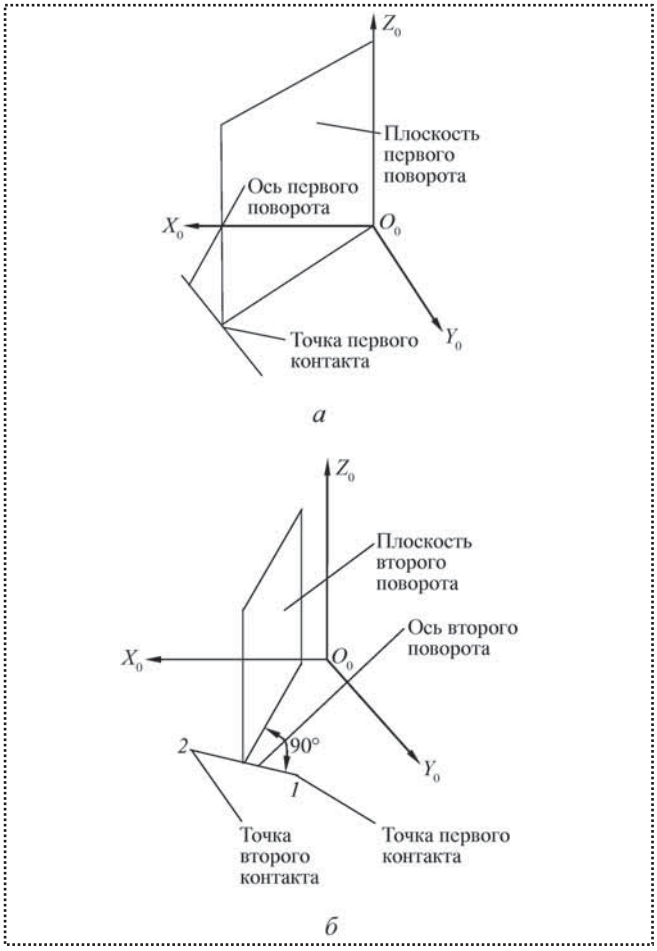

Рис. 2. Точки контакта поверхностей и направления осей поворота:
а – первого контакта; *б* – второго контакта

такта. После этого система координат второй поверхности займет новое положение относительно первой. Три точки контакта образуют плоскость соприкосновения сопрягаемых поверхностей. Они могут быть расположены в системе координат первой поверхности произвольным образом (рис. 3, *а* на с. 3 обложки).

Как видно из рис. 3, *а*, треугольник контакта не охватывает начало системы координат неподвижной поверхности. Следующим шагом будет еще один поворот системы координат второй поверхности относительно оси, проходящей через две точки контакта *1* и *3* в сторону неподвижной системы координат. Будет найдена четвертая точка контакта (на рисунке не показана). Если треугольник точек контакта *1*, *3*, и *4* не охватывает начало неподвижной системы координат, то проводится следующий поворот вокруг оси, проходящей через точки первую и четвертую и т.д., до тех пор, пока начало системы координат неподвижной

поверхности не окажется внутри точек контакта (рис. 3, *б* на с. 3 обложки).

Расположение системы координат подвижной реальной поверхности относительно первой (неподвижной) будет определяться вектором R_{10} и матрицей направляющих косинусов A_{10} (рис. 4 на с. 3 обложки). Они же будут характеризовать погрешность сопряжения реальных недеформируемых поверхностей.

Для исключения неоднозначности решения при завершении поворотов подвижного элемента необходимо установление ***правила прекращения поиска координат точки последнего контакта***.

По изложенной схеме могут быть осуществлены сопряжения поверхностей, имеющих другие формы.

2. Модель формирования геометрических параметров сборочной единицы

Перейдем к описанию геометрии сборки сборочной единицы, состоящей из двух одинаковых цилиндрических валов одинаковой длины и диаметра.

Изображение номинальной геометрии такой сборочной единицы на плоскости и в пространстве представлено на рис. 5.

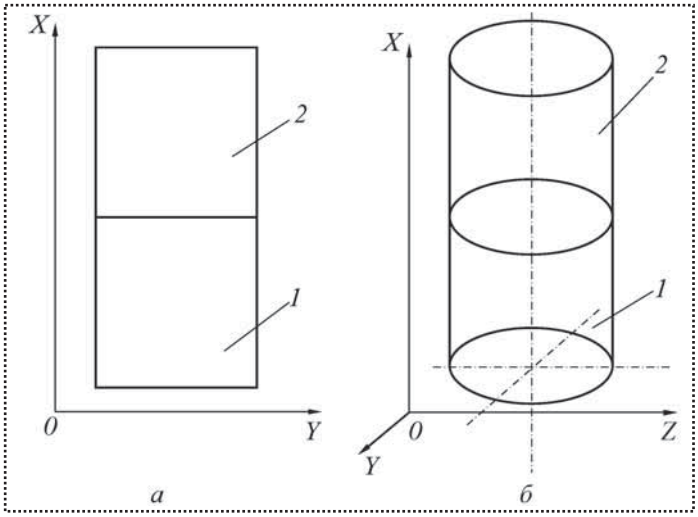

Рис. 5. Номинальная геометрия сборочной единицы:
а – на плоском чертеже; *б* – в пространстве; 1, 2 – детали

А как будет выглядеть рисунок, если поверхности, ограничивающие объем деталей, будут реальными?

Ограничимся на первом этапе только описанием геометрии изделия, когда цилиндрические поверхности двух деталей сборочной единицы представлены *прилегающими эквидистантными поверхностями*, а торцовые поверхности – реальными поверхностями (рис. 6, *а* на с. 3 обложки) [1]. Цифрами *1*, *2*, *3* обозначены соответственно боковая реальная поверхность, похожая на цилиндр, и две реальные торцовые поверхности, похожие на плоскости. В системе координат системы измерений $O_0X_0Y_0Z_0$ можно представить системы координат каждой реальной поверхности $O_{пi}X_{пi}Y_{пi}Z_{пi}$, где i – номер поверхности, индексом I обозначены реперные знаки, необходимые для привязки систем координат реальных поверхностей с центральной или осевой симметрией.

Пусть торец *3* является основной базовой поверхностью. Систему координат каждой последующей торцевой поверхности (вспомогательной базы) задают в системе координат основной базовой поверхности (основной базы) вектором R_{10} и матрицей направляющих косинусов A_{10} (рис. 6, *б* на с. 3 обложки). Индекс при R и A означает, что каждая последующая система координат (1) задана в предыдущей (0).

В собранной сборочной единице (см. рис. 5, *б*), состоящей из двух цилиндрических деталей, сопрягаемыми поверхностями являются верхний торец первой детали и нижний торец второй.

Проиндексируем торцовые поверхности деталей. Нижнему торцу первой детали присвоим индекс 0, верхнему – индекс 1, нижнему торцу второй детали присвоим индекс 2, а верхнему – индекс 3. Сопряжение деталей происходит по торцам 1 и 2.

В сопряжении первой и второй деталей положение системы координат нижнего торца второй детали 2 по отношению к положению системы координат верхнего торца первой детали 1 в соответствии с рис. 4 будет определяться вектором R_{21} и матрицей A_{21}.

Построение детерминированной[2] модели сборки двух цилиндрических деталей по реальным сопрягаемым поверхностям связано с ее представлением системами координат основных и вспомогательных поверхностей деталей и системами координат сопрягаемых поверхностей в стыках объекта производства (рис. 7 на с. 3 обложки).

На рис. 7, *а* представлен ожидаемый детерминированный результат сборки двух цилиндрических деталей с реальными поверхностями в системе координат реальной поверхности нижнего торца первой детали. Вычислив положение каждой системы координат каждой реальной поверхности недеформируемых деталей после сборки, можно определить координаты всех точек реальных поверхностей деталей, участвующих в сборке, и определить все требования к геометрии собранного изделия как по погрешностям взаимного расположения реальных поверхностей деталей после сборки, так и по отклонениям формы собранного изделия. Геометрия сборки двух деталей строго и однозначно описывается аппаратом линейной алгебры.

На основе геометрической модели сборки можно построить модель геометрии масс собранного изделия с вычислением координат центра масс и направления главных центральных моментов инерции, которые необходимы для определения траектории движения РКС при действующих внешних силах и силах,

[2] Детерминированный (от лат. determine – определяю) – обусловленный необходимой причинной связью.

обусловленных ускорениями при движении по траектории.

Если в системах координат каждой сопрягаемой поверхности задать положение центра масс вектором $R_i^{цм}$, массу каждого элемента конструкции m_i, главные центральные моменты инерции $J_{1глi}$, $J_{2глi}$ и $J_{3глi}$, направление главных центральных моментов матрицей $A_i^{гц}$, то по известным соотношениям теоретической механики [3, 4] можно определить массу сборочной единицы m_Σ, положение центра масс $R_\Sigma^{цм}$, величину $J_{1глΣ}$, $J_{2глΣ}$ и $J_{3глΣ}$ и направление главных центральных моментов инерции сборочной единицы в выбранной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$.

На основе математической модели геометрических параметров сборочной единицы можно построить математическую модель ее геометрии масс (рис. 7, *б*).

Возникает вопрос: как быть, если деталей больше, чем две и их форма не такая простая?

Детерминированную геометрическую модель сборки недеформируемых элементов конструкции по сопрягаемым поверхностям можно представить в виде пространственной цепи систем координат сопрягаемых поверхностей стыков элементов конструкции, где каждая последующая система координат задана в предыдущей.

Составляющими звеньями пространственной цепи являются радиусы-векторы положения центров и матрицы направляющих косинусов систем координат сопрягаемых поверхностей и связанных с ними точек и других поверхностей деталей, расположение которых необходимо определить после сборки. Замыкающие звенья этой цепи – выходные геометрические параметры, являющиеся следствием сборки. Эти параметры характеризуют относительное положение элементов (поверхностей и принадлежащих им характерных точек, линий) объекта производства. К их числу относятся, например, смещение центров контролируемых сечений от базовой оси, погрешность расположения одной из поверхностей одного из элементов конструкции по отношению к системе координат собранного изделия и т.п.

Рассмотрим формирование детерминированной геометрической модели сборки в следующей постановке.

Пусть в выбранной исходной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$ (рис. 8 на с. 3 обложки) заданы k систем координат, каждая из которых задана в последующей.

Пусть каждая последующая система координат задана в предыдущей параметрами $R_{1,0}$, $A_{1,0}$; $R_{2,1}$, $A_{2,1}$; ..., $R_{k,k-1}$, $A_{k,k-1}$.

В последней системе координат задана точка M вектором R_{mk} и вектор a_k.

Требуется найти в выбранной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$:

- положение начала k-й системы координат;
- матрицу направляющих косинусов k-й системы координат;
- координаты точки M;
- направляющие косинусы вектора a.

Воспользуемся методом математической индукции.

Положим $k = 3$. Искомые параметры определим последовательным переходом от 3-й системы координат к выбранной $O_0X_0Y_0Z_0$.

Матрица направляющих косинусов 3-й системы координат в выбранной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$:

$$A_{32} = A_{32};$$
$$A_{31} = A_{21}A_{32};$$
$$A_{30} = A_{10}A_{21}A_{32}.$$

Положение начала 3-й системы координат в выбранной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$:

$$R_{32} = R_{32};$$
$$R_{31} = R_{21} + A_{21}R_{32};$$
$$R_{30} = R_{10} + A_{10}R_{21} + A_{10}A_{21}R_{32}.$$

Положение точки M в выбранной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$:

$$R_{m2} = R_{32} + A_{32}R_{m3};$$
$$R_{m1} = R_{21} + A_{21}R_{m2} =$$
$$= R_{21} + A_{21}R_{32} + A_{21}A_{32}R_{m3};$$
$$R_{m0} = R_{10} + A_{10}R_{m1} =$$
$$= R_{10} + A_{10}R_{21} + A_{10}A_{21}R_{32} + A_{10}A_{21}A_{32}R_{m3}.$$

Обобщая полученный результат на k звеньев, получаем:

$$A_{k0} = \prod_{i=1}^{k} A_{i,i-1}; \quad (7)$$

$$R_{k0} = \sum_{i=1}^{k}\left(\prod_{j=1}^{k-j} A_j\right)R_{k,i-1}. \quad (8)$$

Если в k-й системе координат задана точка M вектором R_{mk}, то ее координаты в выбранной системе координат будут

$$R_{m0} = A_{k0}R_{mk} + R_{k0}. \quad (9)$$

Если в k-й системе координат задано направление единичного вектора a_k, то этому направлению в выбранной системе координат соответствует единичный вектор a_0:

$$a_0 = A_{k0}a_k. \quad (10)$$

В рассмотренной ранее модели сборки двух цилиндрических деталей предполагалось, что выбранной системой координат была система координат основной базовой поверхности (ОБП) торцовой первого элемента конструкции. Выбор в качестве системы координат является частным случаем. Такой выбор неудобен тем, что порядковый номер поверхности не совпадает с номером системы координат. Более общим случаем является перенос ОБП первого элемента в точку с координатами R_{10}, и матрицей направляющих косинусов A_{10}.

Для разработанной детерминированной модели геометрии сборки может быть применено вероятностное моделирование, как и в работе [2], позволяющее моделировать как геометрию сборки, так и геометрию масс недеформируемых изделий любой сложности.

Выводы

1. Разработаны детерминированные модели сопряжения реальных сопрягаемых поверхностей, имеющих номинальную форму плоскости и сборки деталей по реальным сопрягаемым поверхностям.

2. Получено адекватное детерминированное описание геометрии пространственных размерных цепей недеформируемых изделий с реальными поверхностями и геометрии масс собранных изделий.

3. Применяя к детерминированной модели сборки стохастическое моделирование, можно адекватно определить как геометрию сборки, так и геометрию масс недеформируемых изделий любой сложности.

Библиографический список

1. **Кашуба Л.А.** Реальная геометрия детали // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2011. № 10; 2012. № 1.

2. **Кашуба Л.А.** Алгоритмы моделирования геометрии реальной детали // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2012. № 4.

3. **Курс** теоретической механики: учеб. для вузов / В.И. Дронг, В.В. Дубинин, М.М. Ильин и др.; под общ. ред. К.С. Колесникова. Изд. 2, стер. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 736 с.

4. **Основной** курс теоретической механики: учеб. для вузов / Н.Н. Бухгольц. Ч. II. Динамика системы материальных точек.; в переработке и с дополнениями С.М. Тарга. 5-е изд., стер. М.: Наука, 1969. 332 с.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас принять участие в работе Международной научно-технической конференции "Наукоемкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении" (ТМ–2012), которая состоится **3–5 сентября 2012 г.** в ФГБОУ ВПО "Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьёва".

Конференция посвящена 75-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, д-ра техн. наук, профессора Вячеслава Феоктистовича Безъязычного.

Международная научно-техническая конференция ТМ–2012 проводится с целью обмена опытом в решении актуальных проблем инженерных наук, в области разработки инновационных технологий в машиностроении и авиадвигателестроении, повышения конкурентоспособности выпускаемых изделий, а также установления деловых контактов представителей промышленности, технических вузов и научно-исследовательских учреждений регионов России, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Адрес оргкомитета конференции:

152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53, РГАТУ им. П.А. Соловьёва.

Начальник информационного отдела управления НИИР Гуляева Т.В.

Тел. (4855) 21-00-10, факс (4855) 21-39-64, e-mail: info@rgata.ru

УДК 621.867.067

А.В. Широкий, *канд. техн. наук,* **М.Г. Кристаль,** *д-р техн. наук*
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Моделирование процесса пассивного ориентирования деталей в вибрационных бункерных загрузочных устройствах

На основании модели потока Эрланга с гамма-распределением величины интервала времени между деталями, движущимися в вибрационном загрузочном устройстве, выполнено моделирование процесса пассивного ориентирования деталей. Установлены соотношения между параметрами потоков деталей до и после их ориентирования. Принята модель гипергеометрического распределения случайной величины положения детали при ее захвате.

Based on the data stream Erlang model with Gamma distribution of the variable time interval between the parts, the driving in vibratory feeding device, made modeled the passive orientation of parts process. Be received relations between parameters of the stream of parts before and after their orientation. Model hypergeometric random distribution of capturing the parts approved.

Ключевые слова: моделирование, случайная величина, поток деталей, степень последействия, интенсивность, вибрационное загрузочное устройство.

Keywords: simulation, random distribution, the stream of parts, the extent of the aftereffect, the intensity, vibratory feeding device.

Для достижения заданной производительности питания технологического оборудования автоматическими вибрационными бункерными загрузочными устройствами (АВБЗУ) деталей необходимо на стадии проектирования оценить параметры потока деталей, выходящего из загрузочного устройства. Экспериментальный метод такой оценки неприемлем из-за большого разнообразия загружаемых деталей и высокой его трудоемкости. Поэтому предложено компьютерное имитационное моделирование процесса ориентирования деталей.

Смоделирован процесс пассивного ориентирования деталей в АВБЗУ, при котором детали, имеющие отличную от требуемой пространственную ориентацию, удаляются из потока ориентирующими устройствами.

При проведении моделирования приняты следующие допущения:

1. Интервалы между деталями в исходном потоке до ориентирования (в потоке, который формирует АВБЗУ) ***подчиняются гамма-распределению*** с параметрами $\lambda_{исх}$ и $k_{исх}$, где $\lambda_{исх}$ и $k_{исх}$ – соответственно, интенсивность и степень последействия потока [1].

2. Пространственное положение детали в потоке относительно ориентирующих органов АВБЗУ является случайным, деталь имеет конечное число q таких различимых пространственных положений, каждому из i-го различимого положения детали соответствует вероятность $p_i \left(\sum_{i=1}^{q} p_i = 1 \right)$ [3]. Все возможные пространственные положения детали разделены на две группы. Первая группа представлена тем положением детали, которое она должна принять после ориентирования. Этому положению соответствует вероятность $p_{треб}$. Во вторую группу входят такие пространственные положения детали, при которых она удаляется ориентирующими органами АВБЗУ из потока. Такому положению соответствует вероятность $1 - p_{треб}$. При пассивном ориентировании удаляется доля $s = 1 - p_{треб}$ деталей исходного потока. Пространственное положение детали в потоке рассматривается как ***дискретная случайная величина*** **(СВ)** X, принимающая значение 1, когда деталь находится в требуемом пространственном положении и значение 0 – во всех остальных случаях.

3. При работе АВБЗУ процесс захвата деталей носит случайный характер и детали приобретают случайное пространственное положение, характеризуемое значением СВ X. Принято, что геометрические и физические параметры детали позволяют заранее определить как значения вероятностей $p_{треб}$ и $s = 1 - p_{треб}$, так и соотношение между числом a деталей, захваченных в требуемом пространственном положении ($X = 1$) и числом b деталей, захваченных в положении, отличном от требуемого ($X = 0$) из их общего числа $a + b$.

4. Процесс захвата деталей рассматривается как поштучная случайная выборка деталей из их совокупности, загруженной в АВБЗУ в двух пространственных положениях, характеризуемых значением СВ X, что приводит к статистической схеме урны, в которой имеется a белых и b черных шаров. Из урны вынимается n шаров, а указанная величина X принимает возможные значения из ряда 0,1 и имеет гипергеометрическое распределение с параметрами n, a, b [1]. Захват деталей в АВБЗУ выполняется поштучно, следовательно, параметр n гипергеометрического распределения $n = 1$. Тогда вероятность захвата детали в том или ином положении в общем случае

$$P_m = \{X = m\} = C_a^m C_b^{n-m} / C_{a+b}^n, \text{ где } m \in [0, 1].$$

5. При работе АВБЗУ величина вероятности P_m не является постоянной, так как непостоянны значения параметров a и b гипергеометрического распределения: в момент первоначальной загрузки деталями АВБЗУ в его донной части находится $a + b$ деталей, далее в зависимости от того, в каком пространственном положении была захвачена деталь, имеет место уменьшение на единицу параметра a или b вплоть до захвата последней детали или до снижения их общего числа до минимально допустимого при обеспечении непрерывности их подачи. После чего АВБЗУ вновь пополняется деталями и параметры a и b приобретают новые значения, являющиеся начальными условиями моделирования. Таким образом, процесс поштучной выборки деталей оказывает влияние на величину вероятности захвата деталей, оставшихся в донной части загрузочного устройства.

Моделирование пассивного ориентирования деталей в соответствии с принятыми допущениями выполнено в среде математического пакета "Mathcad 13 Rus" [4]. В каждом опыте был имитирован процесс пассивного ориентирования 5000 деталей. Установлено, что величина случайного интервала времени между деталями в потоке после пассивного ориентирования подчинена гамма-распределению с параметрами $\lambda_{\text{пас.ор}}$ и $k_{\text{пас.ор}}$, где $\lambda_{\text{пас.ор}}$ и $k_{\text{пас.ор}}$ – соответственно интенсивность и степень последействия потока деталей после ориентирования. Проверка согласия опытного и теоретического распределений выполнена по критерию согласия χ^2.

Установлено, что интенсивность $\lambda_{\text{пас.ор}}$ потока деталей после проведения пассивного ориентирования уменьшается пропорционально доле s удаляемых из потока деталей (рис. 1), в соответствии с выражением:

$$\lambda_{\text{пас.ор}} = \lambda_{\text{исх}}(1 - s). \quad (1)$$

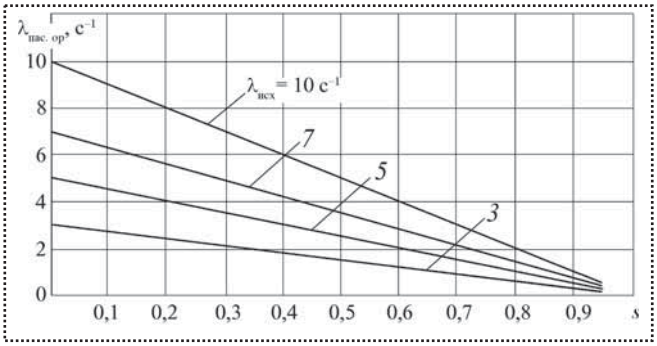

Рис. 1. Влияние доли s удаляемых деталей на величину интенсивности $\lambda_{\text{пас.ор}}$ потока после проведения пассивного ориентирования (при $\lambda_{\text{исх}}$ = 3, 5, 7 и 10 с$^{-1}$)

Величина степени последействия $k_{\text{исх}}$ исходного потока не оказывает влияния на вид характеристики $\lambda_{\text{пас.ор}} = f(\lambda_{\text{исх}}, s)$.

На рис. 2 показано влияние доли s удаляемых деталей на степень $k_{\text{пас.ор}}$ последействия в потоке после проведения пассивного ориентирования. Из рис. 2 следует, что с увеличением s степень последействия $k_{\text{пас.ор}}$ уменьшается. Удаление в ходе ориентирования более 70 % деталей (когда $s \geq 0{,}7$) приближает поток к простейшему, для которого $k \approx 1$. Проведение пассивного ориентирования деталей в простейшем потоке не изменяет его характер, для такого потока степень последействия $k = 1 = \text{const}$. В случае, если степень последействия $k_{\text{исх}} < 1$, то проведение пассивного ориентирования увеличивает степень последействия в потоке вплоть до значения $k_{\text{пас.ор}} \approx 1$, приближая его к простейшему (рис. 3).

Величина интенсивности $\lambda_{\text{исх}}$ потока деталей до пассивного ориентирования не оказывает влияния на вид характеристики $k_{\text{пас.ор}} = f(k_{\text{исх}} s)$. Случай $s = 0$ со-

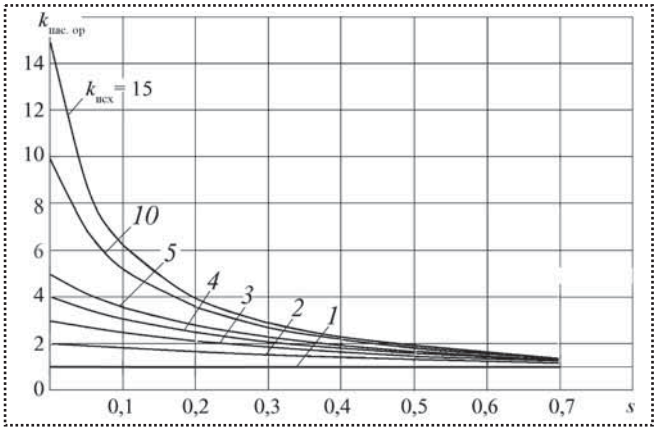

Рис. 2. Влияние доли s удаляемых деталей на величину степени $k_{\text{пас.ор}}$ последействия в потоке после проведения пассивного ориентирования ($k_{\text{исх}} \geq 1{,}0$, $k_{\text{исх}}$ = 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15)

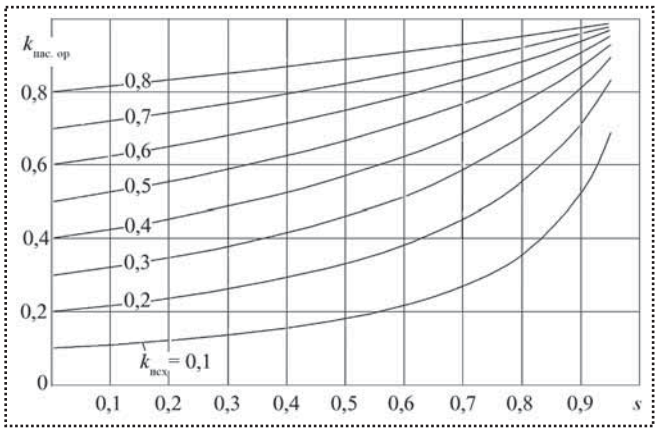

Рис. 3. Влияние доли *s* удаляемых деталей на величину степени $k_{пас.ор}$ последействия в потоке после проведения пассивного ориентирования ($0{,}1 \le k_{исх} \le 1{,}0$)

ответствует активному ориентированию деталей, когда сохраняется исходная интенсивность $\lambda_{исх}$ потока деталей и степень $k_{исх}$ последействия в нем. Полученные в ходе имитационного моделирования зависимости по рис. 2 и 3 могут быть аппроксимированы с достоверностью $R^2 \ge 0{,}95$ (при $0{,}1 \le k_{исх} \le 20$) выражением вида:

$$k_{пас.ор} = (cs + d)^{-1}. \qquad (2)$$

Значения коэффициентов c и d в выражении (2) определены исходя из следующих начальных условий имитационного моделирования: при $s = 0$ (при активном ориентировании деталей) сохраняется исходная степень последействия в потоке, т.е. $k_{пас.ор} = k_{исх}$ и коэффициент $d = 1/k_{исх}$, при s = 0,98–0,99 последействие в потоке отсутствует, т.е. $k_{пас.ор} \approx 1$ и коэффициент $c = (k_{исх} - 1)/k_{исх}$. После подстановки выражений для c и d в формулу (2) получим:

$$k_{пас.ор} = k_{исх} / [(k_{исх} - 1)s + 1]. \qquad (3)$$

Моделированием установлено, что замена статистической модели распределения СВ X по сравнению с принятым в п. 4 допущением, на биномиальную модель распределения СВ X или модель равномерно распределенной СВ X не приводит к изменению вида зависимостей по рис. 1–4 и выражений (1)–(3). Вместе с тем, принятая модель гипергеометрического распределения СВ X в наиболее полной мере отражает суть физического процесса поштучного захвата деталей начальным участком спирального лотка АВБЗУ и изменения вероятности захвата каждой последующей детали в зависимости от того, в каком пространственном положении была захвачена предыдущая деталь.

По выражениям (1) и (3) возможно определить параметры потока деталей, выдаваемого АВБЗУ после проведения пассивного ориентирования по исходным параметрам потока $\lambda_{исх}$ и $k_{исх}$, а также по значению $p_{треб}$ вероятности нахождения детали в требуемом пространственном положении.

Предлагаемый подход может быть использован и при многостадийном пассивном ориентировании деталей. В этом случае в каждой последующей стадии общее число деталей, участвующих в процессе ориентирования, уменьшается на число деталей сброшенных на предыдущем ориентирующем устройстве. А число деталей, поступающих на первое ориентирующее устройство, увеличивается на эту величину. Причем, их положение в пространстве изменяется случайным образом, пропорционально вероятности принятия того или иного пространственного положения.

Библиографический список

1. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.** Теория вероятностей и ее инженерные приложения.М.: Высшая школа, 2007. 491 с.

2. **Кристаль М.Г., Широкий А.В., Чувилин В.А.** Новый подход в определении объема накопителей деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 12. С. 6–9.

3. **Лебедовский М.С., Федотов А.И.** Автоматизация в промышленности: справочная книга. Л.: Лениздат, 1976. 254 с.

4. **Mathcad 13 Rus** // Mathcad 13 Russia – документ № Tr 005377 от 19.06.2006.

УДК 621.757

С.В. Кузнецова, А.Л. Симаков, *д-р техн. наук*
(Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)
E-mail: svkyznecova@gmail.com

Математическая модель процесса адаптации положения детали при автоматизированной сборке

Приведены зависимости, описывающие движение детали на этапе адаптации при автоматизированной сборке. Предложена математическая модель процесса адаптации положения детали. Представлены результаты математического моделирования процесса стабилизации движения детали относительно поисковой траектории совмещения.

The dependences describing the detail's movement on the adaptation stage at the automated assembly are adduced. The mathematical model of the process of adaptation of the detail's position is offered. The results of mathematical modeling of the process of the detail's movement stabilization regarding the search trajectory of overlapping are presented.

Ключевые слова: автоматизированная сборка, процесс адаптации положения детали, математическое моделирование, устройство захвата.

Keywords: automated assembly, process of adaptation of the detail's position, mathematical modeling, the capture device.

Автоматизация сборочных работ является эффективным направлением совершенствования машиностроительного производства. Наиболее сложная проблема этого направления – обеспечение автоматизированного совмещения соединяемых деталей, т.е. взаимная автоматическая адаптация их сопрягаемых поверхностей при подаче на сборочную позицию и перемещение деталей в ориентированном положении по координате совмещения. Математическое моделирование процесса управления ориентацией деталей, т.е. адаптацией положения деталей позволяет значительно расширить возможности проектирования автоматизированных сборочных устройств. Поэтому решение данной задачи является весьма актуальным.

В данной статье предложена математическая модель процесса инерционной адаптации [1] цилиндрических деталей, характерной для автоматизированной сборки с помощью сборочного робота с параллельными кинематическими цепями [2, 3].

Уравнения, описывающие процесс адаптации положения присоединяемой детали

Проведем анализ процесса инерционной адаптации, осуществляющей стабилизацию движения детали относительно поисковой траектории совмещения при ее захвате устройством призматического типа [1].

Рассмотрим движение детали при ее перемещении захватным устройством призматического типа, содержащем пару перемещающих элементов. Разделим этап движения на участки, соответствующие движению детали между моментами контактного взаимодействия с плоскими перемещающими элементами захватного устройства:

- 1-й участок – движение детали в результате контакта с одним перемещающим элементом;
- 2-й участок – движение детали в результате контакта с двумя перемещающими элементами.

Движение детали на 1-м участке иллюстрируется схемами сил, представленными на рис. 1. Захватное устройство *1* представляет собой устройство инерционной адаптации.

При контакте детали *2* с одним перемещающим элементом возникает нормальная сила реакции N_{12}^{1} и сила трения в зоне контакта детали с перемещающим элементом $F_{\text{тр}12}^{1}$, под действием которых возможно перемещение детали по координатам *x* и *y*. Проекция силы трения в точке контакта детали с перемещающим элементом на плоскость основания создает крутящий момент M_{12}^{1}, действующий на деталь. Поэтому возможно вращательное движение детали по координате φ. Моментами, препятствующими этому движению, являются момент трения трогания $M_{\text{тр}_{\text{трог}}}$ между деталью и перемещающим элементом и момент вязкого трения между деталью и основанием, определяемый скоростью перемещения по координате φ и коэффициентом вязкого трения μ_2. Кроме того, на деталь действуют: сила тяжести m_2g, нормальная сила реакции со стороны основания N_2 и сила трения между деталью и основанием $F_{\text{тр}2_{\text{сух}}}$. Также, процесс перемещения детали может сопровождаться изменением координаты *z* вследствие действия опрокидывающего момента $M_{\text{о}}$. Моментом, препятствующим это-

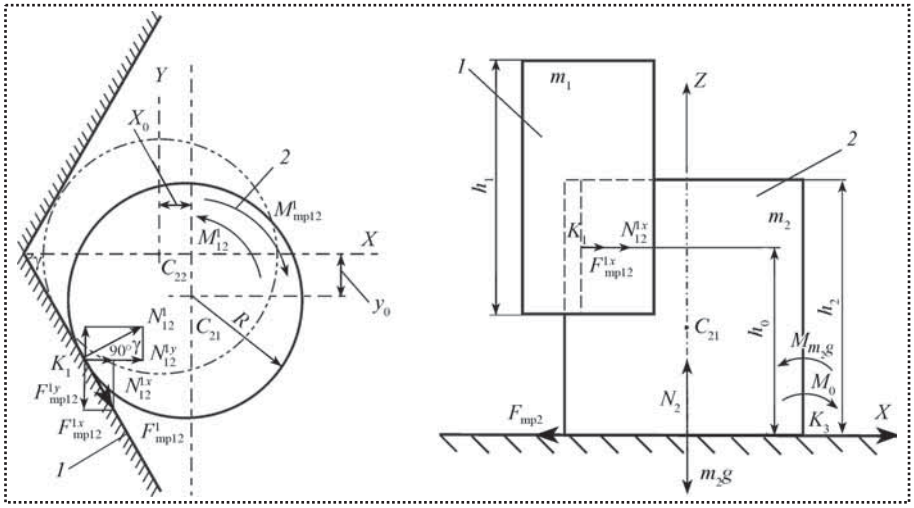

Рис. 1. Схема сил и моментов при движении детали в результате контакта с одним перемещающим элементом устройства захвата:
1 – захватное устройство призматического типа; *2* – цилиндрическая деталь

му движению, является момент силы тяжести M_{m_2g}. При этом возможно угловое перемещение детали по координате ψ. Параметры детали: h_2 – высота, R – радиус, m_2 – масса. На рис. 1 также обозначены: угол γ – конструктивный параметр захватного устройства, характеризующий ориентацию перемещающего элемента относительно оси x и составляющий 60°; C_{21} – центр ориентируемой детали с координатами (x_0; y_0) при ее первичном контакте с перемещающим элементом захватного устройства в точке K_1; C_{22} – центр ориентируемой детали при завершении этапа инерционной адаптации (контакт детали в двух точках с перемещающими элементами захватного устройства).

Запишем уравнения движения детали, характеризующие перемещения детали на 1-м участке.

Движение детали в направлении оси x (см. рис. 1) описывается в линейном приближении уравнением:

$$m_2\ddot{x}+\mu_1\dot{x}=N^{1x}_{12}+F^{1x}_{тр12}-F_{тр2_{сух}}, \qquad (1)$$

где μ_1 – коэффициент вязкого трения между деталью и основанием при поступательном движении;

N^{1x}_{12} – проекция нормальной силы реакции N_{12} на ось x, которую можно выразить из основного уравнения теории удара:

$$m_2V_i-m_1\mathrm{v}_0=N_{12}\Delta t, \text{ откуда } N_{12}=\frac{m_2\mathrm{v}_t}{\Delta t}-\frac{m_1\mathrm{v}_0}{\Delta t};$$

$$\text{при } \mathrm{v}_0=0 \quad N_{12}=\frac{m_2\mathrm{v}_t}{\Delta t},$$

где v_t – скорость в конце удара;

v_0 – скорость в начале удара;

Δt – время удара,

проекция нормальной силы реакции на ось x:

$$N^{1x}_{12}=N^1_{12}\cos(90°-\gamma);$$

$F^{1x}_{тр12}$ – проекция силы трения в зоне контакта на ось x, $F^{1x}_{тр12}=F^1_{тр12}\cos\gamma$, причем $F_{тр12}=fN_{12}$, где f – коэффициент сухого трения между деталью и перемещающим элементом.

Аналогично запишется ***уравнение движения детали относительно оси y*** (см. рис. 1):

$$m_2\ddot{y}+\mu_1\dot{y}=N^{1y}_{12}+F^{1y}_{тр12}-F_{тр2_{сух}}, \qquad (2)$$

где N^{1y}_{12} – проекция нормальной силы реакции N_{12} на ось y; причем $N^{1y}_{12}=N^1_{12}\sin(90°-\gamma)$;

$F^{1y}_{тр12}$ – проекция силы трения в зоне контакта на ось y, причем, $F^{1y}_{тр12}=F^1_{тр12}\sin\gamma$.

Уравнение движения детали относительно оси z:

$$m_2g=N_2, \qquad (3)$$

где m_2 – масса детали;

g – ускорение свободного падения.

Уравнение движения по координате φ запишется в виде:

$$J^z_2\ddot{\varphi}+\mu_2\dot{\varphi}=M_{12}-M_{тр_{трог}}, \qquad (4)$$

где J^z_2 – момент инерции детали относительно оси z;

μ_2 – коэффициент вязкого трения между деталью и основанием при вращательном движении.

Момент M_{12} может быть вычислен по формуле

$$M_{12}=F_{тр12}R=fN_{12}R,$$

где R – радиус детали;

f – коэффициент сухого трения между деталью и перемещающим элементом.

Момент $M_{\text{тр}_{\text{трог}}}$ рассчитывается следующим образом:

$$M_{\text{тр}_{\text{трог}}} = f_0 N_{12} R,$$

где f_0 – коэффициент трения трогания между деталью и перемещающим элементом.

Уравнение движения по координате ψ запишется в виде:

$$J_2^{k_3} \ddot{\psi} + \mu_3 \dot{\psi} = M_{\text{о}} - M_{m_2 g}, \quad (5)$$

где $J_2^{k_3}$ – момент инерции детали относительно точки K_3;

μ_3 – коэффициент вязкого трения.

При разработке математической модели захвата детали принято допущение, что $M_{\text{о}} = M_{m_2 g}$. В этом случае при моделировании движения детали можно пренебречь перемещением по координате ψ.

Таким образом, движение детали на первом участке пути может быть описано системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x} + \mu_1 \dot{x} = N_{12}^{1x} + F_{\text{тр}12}^{1x} - F_{\text{тр}2_{\text{сух}}}; \\ m_2 \ddot{y} + \mu_1 \dot{y} = N_{12}^{1y} + F_{\text{тр}12}^{1y} - F_{\text{тр}2_{\text{сух}}}; \\ m_2 g = N_2; \\ J_2^z \ddot{\varphi} + \mu_2 \dot{\varphi} = M_{12} - M_{\text{тр}_{\text{трог}}}; \\ J_2^{k_3} \ddot{\psi} + \mu_2 \dot{\psi} = M_{\text{о}} - M_{\text{m}_2 g}. \end{cases} \quad (6)$$

Движение детали на втором участке пути может быть описано системой дифференциальных уравнений, составленных аналогично случаю одинарного контакта:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x} + \mu_1 \dot{x} = N_{12}^{1x} + F_{\text{тр}12}^{1x} + N_{12}^{2x} + F_{\text{тр}12}^{2x} - F_{\text{тр}_{\text{сух}}}; \\ m_2 \ddot{y} + \mu_1 \dot{y} = N_{12}^{1y} - F_{\text{тр}12}^{1y} + F_{\text{тр}12}^{2y} - N_{12}^{2y} - F_{\text{тр}_{\text{сух}}}; \\ m_2 g = N_2; \\ J_2^z \ddot{\varphi} + \mu_2 \dot{\varphi} = M_{12}^1 - M_{12}^2 - M_{\text{тр}_{\text{сух}}}^1 + M_{\text{тр}_{\text{сух}}}^2. \end{cases} \quad (7)$$

Анализ геометрических связей, характерных для этапа адаптации положения детали

Анализ геометрических связей может быть осуществлен на основании схемы, представленной на рис. 2. Захватное устройство *1* имеет перемещающий элемент длиной h и угол между перемещающими элементами – γ. Захватываемая деталь *2* имеет радиус R.

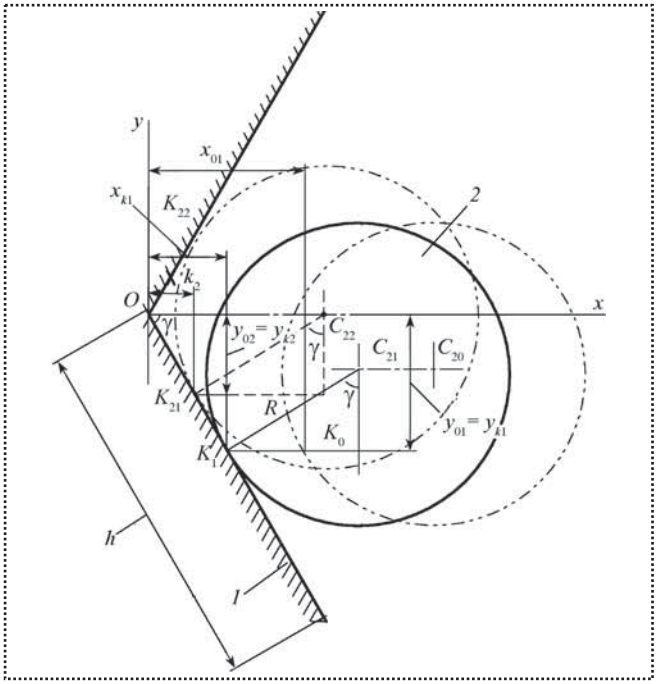

Рис. 2. Схема, поясняющая анализ геометрических связей, возникающих в процессе адаптации положения детали

Рассмотрим 1-й этап движения, соответствующий взаимодействию 1-го перемещающего элемента с деталью в точке K_1. В исходном положении детали на сборочной позиции точка K_0 имеет координаты (x_{01}; y_{01}) относительно системы координат XOY, связанной с точкой схождения перемещающих элементов захватного устройства (см. рис. 2). При перемещении захватного устройства из начального положения вдоль оси x со скоростью v через промежуток времени t происходит соударение с расположенной на позиции деталью с центром в точке C_{20}. Точка K_1, в которой происходит контактное соударение, имеет координаты (x_{k1}; y_{k1}), причем

$$y_{k1} = y_{01}; \; x_{k1} = y_{01} \frac{\cos\gamma}{\sin\gamma} = y_{01} \operatorname{ctg}\gamma,$$

а координаты центра детали C_{21} при одиночном контакте

$$x_{C_{21}} = x_{k1} + R\sin\gamma = y_{01} \operatorname{ctg}\gamma + R\sin\gamma;$$
$$y_{C_{21}} = y_{k1} - R\cos\gamma = y_{01} - R\cos\gamma.$$

Рассмотрим 2-й этап движения, соответствующий взаимодействию двух перемещающих элементов с деталью в точках K_{21} и K_{22}. Точки K_2 и K_{22}, в которых происходит контактное соударение, имеют координаты:

$$y_{k21} = -y_{k22} = y_{02};\ x_{k21} = x_{k22} = y_{02}\frac{\cos\gamma}{\sin\gamma} = y_{02}\,\mathrm{ctg}\gamma.$$

Центр детали C_{22} соответственно имеет координаты при двойном контакте:

$$x_{C_{22}} = x_{k2} + R\sin\gamma = y_{02}\,\mathrm{ctg}\gamma + R\sin\gamma;$$
$$y_{C_{22}} = y_{k2} - R\cos\gamma = y_{02} - R\cos\gamma,$$

причем $y_{C_{22}} = 0$, следовательно, $y_{02} = R\cos\gamma$.

Таким образом, имеются следующие геометрические связи, позволяющие при моделировании распознавать контактные ситуации, возможные при захвате детали. Условия существования соответствующих этапов следующие:

$$\begin{cases} y_0 > h\sin\gamma - \text{контакт не произойдет;} \\ y_0 < h\sin\gamma - \text{возможны два варианта:} \\ y_0 = R\cos\gamma;\ y_0 = y_{02} - \text{контакт центральный} \\ \text{в двух точках:} \\ R\cos\gamma < y_0 < h\sin\gamma;\ y_0 = y_{01} - \text{контакт в одной} \\ \text{точке.} \end{cases} \quad (8)$$

Математическая модель процесса адаптации положения детали

Математическая модель процесса адаптации положения присоединяемой детали захватным устройством может быть реализована на базе уравнений движения детали при ее взаимодействии с захватным устройством: системы уравнений (6) – для случая одинарного контакта, (7) – при взаимодействии с двумя перемещающими элементами, а также на базе уравнений геометрических связей (8). Геометрические связи введены в виде управляемых ключей с целью объединения 1-го и 2-го этапов движения в модели, что позволяет автоматически в процессе моделирования осуществить переход между этапами движения, а также вычислить зависимости изменения координат от времени как для точек контакта ориентируемой детали, так и для центра детали и центра захватного устройства, что позволяет продемонстрировать процесс относительной адаптации при совмещении осей соединяемых деталей при сборке.

На основании уравнений движения получены передаточные функции, характеризующие динамические свойства детали при ее движении по соответствующей координате:

$$W_x(p) = \frac{X(p)}{F_x(p)} = \frac{1}{p(m_2 p + \mu_1)};$$
$$W_y(p) = \frac{Y(p)}{F_y(p)} = \frac{1}{p(m_2 p + \mu_1)};$$
$$W_\varphi(p) = \frac{\psi(p)}{M_\varphi(p)} = \frac{1}{p(J_2^z p + \mu_2)}.$$

Входными воздействиями в модели являются:

– для $W_x(p)$ – совокупность сил N_{12}^{1x}, $F_{\text{тр}12}^{1x}$, $F_{\text{тр}2_{\text{сух}}}$ при одиночном контакте и N_{12}^{1x}, $F_{\text{тр}12}^{1x}$, N_{12}^{2x}, $F_{\text{тр}12}^{2x}$,

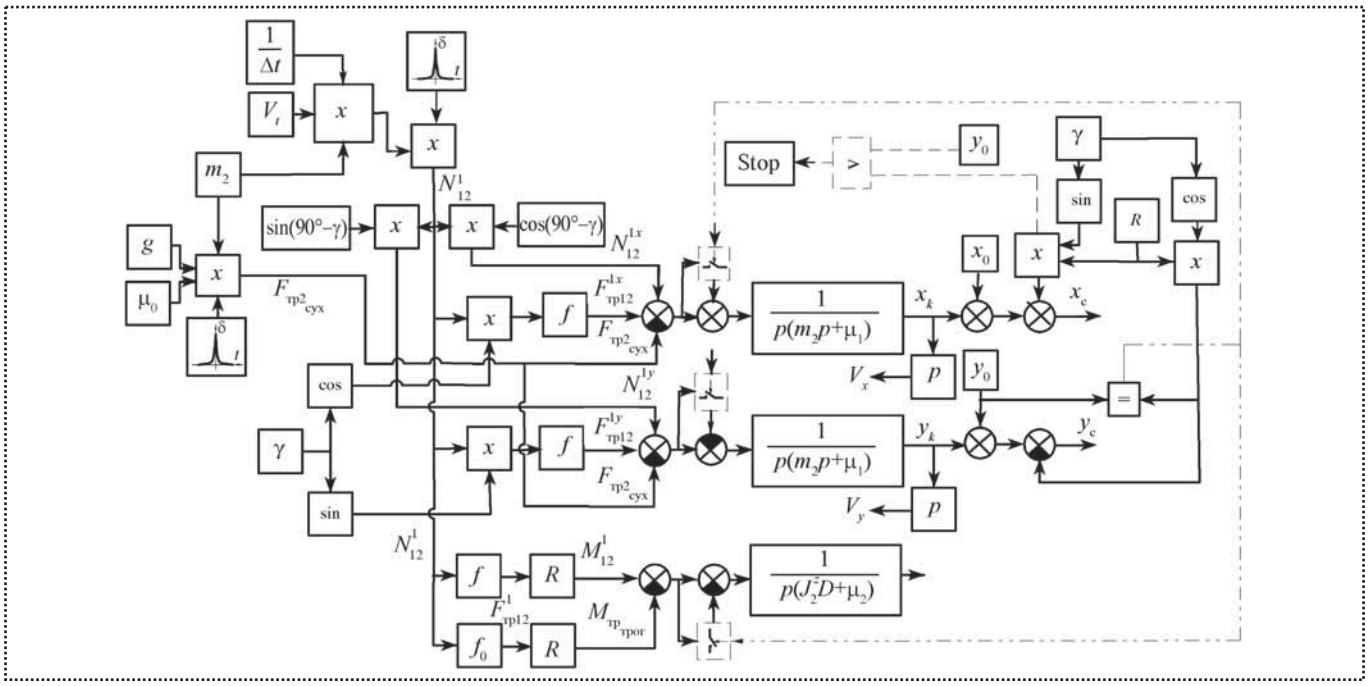

Рис. 3. Математическая модель процесса адаптации положения детали

$F_{\text{тр}_{\text{сух}}}$ – при двойном контакте, под действием которых детали сообщается перемещение по координате x;

– для $W_y(p)$ – совокупность сил N_{12}^{1y}, $F_{\text{тр}12}^{1y}$, $F_{\text{тр}2_{\text{сух}}}$ при одиночном контакте и N_{12}^{1y}, $F_{\text{тр}12}^{1y}$, N_{12}^{2y}, $F_{\text{тр}12}^{2y}$, $F_{\text{тр}_{\text{сух}}}$ – при двойном контакте, под действием которых детали сообщается перемещение по координате y;

– для $W_\varphi(p)$ – совокупность моментов M_{12}, $M_{\text{тр}_{\text{трог}}}$ при одиночном контакте и M_{12}^1, M_{12}^2, $M_{\text{тр}_{\text{сух}}}^1$, $M_{\text{тр}_{\text{сух}}}^2$ – при двойном контакте, под действием которых детали сообщается перемещение по координате φ.

Выходными параметрами в модели являются: линейные перемещения контактирующих с захватным устройством точек детали по координатам x и y, и угловое перемещение по координате φ, а также координаты центра детали и скорости соответствующих перемещений.

Структурная схема математической модели процесса адаптации положения детали приведена на рис. 3.

Результаты математического моделирования процесса адаптации, осуществляющего стабилизацию движения детали относительно поисковой траектории совмещения

Целью математического моделирования является исследование динамических процессов, протекающих при захвате детали и ее адаптации. Процесс адаптации представляет собой стабилизацию движения детали относительно поисковой траектории совмещения.

Исходными данными к расчету являются:

• параметры захватываемой детали: масса m_2 = = 0,15 кг; радиус R = 0,1 м; момент инерции относительно оси z J_2^z = 0,05 кг·м^2;

• конструктивные параметры захватного устройства: угол $\gamma = 60°$; длина перемещающего элемента h = 0,06 м; скорость перемещения v = 0,02 м/с вдоль оси x;

• параметры, характеризующие процесс взаимодействия объектов: время удара Δt, коэффициенты сухого трения f = 0,15; коэффициенты вязкого трения $\mu_1 = 0{,}05\frac{\text{с}\cdot\text{Н}}{\text{м}}$, $\mu_2 = 0{,}07\frac{\text{с}\cdot\text{Н}}{\text{рад}}$, коэффициент трогания сухого трения f_0= 0,8; коэффициент трогания вязкого трения $\mu_0 = 0{,}2\frac{\text{с}\cdot\text{Н}}{\text{рад}}$.

Моделирование проводилось с помощью средств программного комплекса Matlab.

На рис. 4 представлены результаты моделирования процесса захвата детали и адаптации ее положения в процессе транспортировки по сборочной позиции. На рис. 4, *а* изображены графики изменения от времени координат x, y точек контакта детали и захватного устройства, и соответствующие им скорости v_x, v_y; цифрами *1* и *2* обозначены зависимости, характеризующие соответственно процесс движения захват-

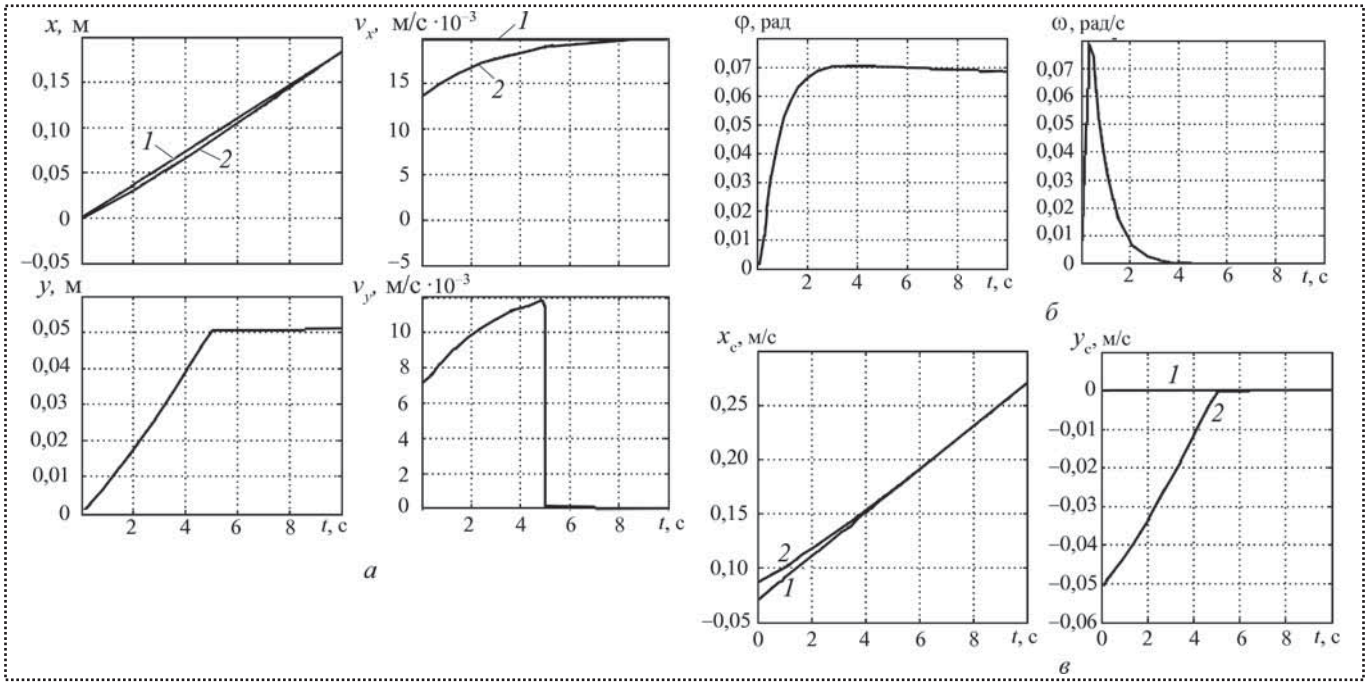

Рис. 4. Результаты математического моделирования процесса адаптации положения детали

ного устройства и захватываемой детали. На рис. 4, *б* иллюстрируются характеристики вращательного движения детали в процессе адаптации ее положения и транспортировки, а именно, зависимость угла поворота φ, и угловой скорости ω от времени. На рис. 4, *в* сопоставлены зависимости изменения координат x_c, y_c во времени: для центра захватного устройства (кривые *1*) и центра захватываемой детали (кривые *2*).

Полученные результаты свидетельствуют о возможности реализации этапа адаптации положения детали, для которой координаты *x* и *y*, характеризующие положение ее центра на сборочной позиции, должны удовлетворять следующим неравенствам:

$$\begin{cases} h\cos\gamma < x < h\cos\gamma + 2(R+\Delta) + \delta; \\ -h\sin\gamma < y < h\sin\gamma, \end{cases}$$

где Δ – параметр, характеризующий погрешности изготовления детали радиусом *R*;

δ – параметр, учитывающий погрешности исходной ориентации детали на сборочной позиции по координате *x*, определяемые точностными характеристиками устройства, осуществляющего подачу деталей на сборочную позицию;

h, γ – конструктивные параметры захватного устройства.

Вывод

Базируясь на уравнениях движения осесимметричных деталей при контакте с перемещающими элементами захватного устройства, а также на анализе геометрических связей, возникающих в процессе адаптации положения соединяемой детали, разработана математической модель процесса адаптации положения детали захватным устройством. Математическая модель процесса адаптации положения детали при автоматизированной сборке наглядно отображает динамику протекающих процессов, позволяет рассчитать траекторию движения детали, скорости перемещений детали, длительность этапа адаптации. При моделировании предоставляется возможность изменять параметры захватываемой детали и параметры, характеризующие процесс взаимодействия объектов, что позволяет учитывать влияние таких факторов, как изменение номенклатуры собираемых деталей, изменение условий, в которых функционирует сборочная система. Модель также весьма полезна при подборе конструктивных параметров захватного устройства, а также при расчете протяженности траекторий транспортировки сборочных компонент и соответственно границ сборочной позиции. Результаты математического моделирования подтвердили способность захватного устройства осуществить адаптацию положения соединяемой детали.

Библиографический список

1. **Кузнецова С.В.** Устройство захвата, реализующее локальное инерционное ориентирование деталей // Наука. Промышленность. Оборона: труды XII Всероссийской науч.-техн. конф. "Наука. Промышленность. Оборона". Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 348–352.

2. **Кузнецова С.В., Симаков А.Л.** Устройство для сборки осесимметричных деталей на базе манипулятора с параллельной кинематикой // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 8.

3. **Кузнецова С.В.** Моделирование движения дельта-робота по программной траектории // Автоматизация в промышленности. 2011. № 3. С. 17–21.

УДК 621.7

В.Н. Редин, В.М. Аббясов, *канд-ты техн. наук (МГТУ "МАМИ")*
E-mail: zin_ina@mail.ru

Разработка метода оценки нагруженности элементов технологических роботизированных комплексов

Рассмотрена методика составления программы ресурсных испытаний промышленного робота.

In article the technique of an estimation of drawing up of the program of resourse tests of the industrial robot is considered.

Ключевые слова: промышленный робот, нагруженность, корреляционная функция, ресурсные испытания.

Keywords: industrial, robot, loading, correlation function, endurance tests.

Промышленный робот (ПР) с числовым программным управлением модели МЮП.01 предназначен для автоматизации загрузки-выгрузки деталей и смены инструмента.

Цель данной статьи – определение эксплуатационных характеристик надежности исследуемых механизмов и узлов ПР. Исследование было выполнено при условии проведения ресурсных испытаний и наличия эксплуатационных наблюдений, представляющих характер дрейфа и статистический материал об отказах ПР по критерию точности позиционирования. Режим ресурсных испытаний ПР в максимальной степени отражал элементы эксплуатационных режимов и был эквивалентен им по разрушающему воздействию, чтобы обеспечить точность и достоверность искомых характеристик надежности. В качестве характеристики нагруженности рассматривали момент сопротивления на валу двигателя $T_{дв}$ в процессе работы ПР.

Для изделий, эксплуатируемых в стабильных условиях и при постоянных или изменяющихся в узких пределах нагрузках (транспортирующие машины, грузоподъемные механизмы и др.), выбор условий испытаний обычно не вызывает затруднений. Наоборот, для изделий, эксплуатируемых в различных условиях, что характерно для изучаемого ПР, исследователь сталкивается с большим разнообразием режимов эксплуатации. В этом случае выбор адекватных режимов испытаний является непростой задачей.

Нагруженность ПР определяется совокупностью эксплутационных факторов, являющихся случайными величинами. К ним относятся вид и характер выполняемой операции, масса переносимого груза и скорость перемещения, форма и размер захватываемой детали, вид захвата и способ захватывания. Многообразие факторов, влияющих на нагруженность ПР, исключает возможность аналитического расчета реального нагружения, о величине и характере которого можно судить только в результате обработки опытных данных тензометрирования. Для этого необходимо предварительно классифицировать условия эксплуатации ПР, а отбор статистических данных тензометрирования и хронометрирования производить дифференцированно установленным категориям.

При проведении тензометрических работ удобно использовать в качестве датчика нагруженности электродвигатели постоянного тока, которые использованы в механизмах поворота и перемещения руки. Для этого необходимо предварительно провести тарировку электродвигателя (рис. 1).

После установки двигателей на робот были проведены испытания нагруженности, которые заключались в выполнении рабочих операций по перемещению грузов по осям *A* и *B* на максимально возможный угол поворота (ось *A* – 90°, ось *B* – 180°). Испытания проводили с грузами массой 3, 5, 7, 10 кг в диапазоне рабочих скоростей 10...60 %, при наличии и отсутствии удлинителя. Значение момента на электродвигателе записывали на фотобумажную ленту, при этом фиксировали время всей рабочей операции (рис. 2).

Расшифровку "реализаций нагрузки" проводили в соответствии с результатами тарировки с учетом направления вращения. Поэтому положительное значение момента соответствует правому вращению ротора электродвигателя, отрицательное – левому. При расшифровке реализаций определяли истинное значе-

Рис. 1. Схема включения тарируемого электродвигателя

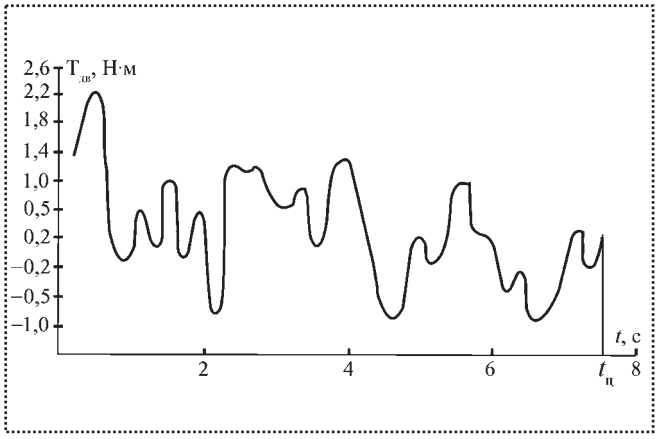

Рис. 2. Оценка нагруженности по одной реализации

ние момента, взятое с определенным шагом (шаг определяли из условия разбиения реализации на 26 интервалов). Таким образом, в каждой конкретной реализации 26 значений нагруженности.

При дальнейшей статистической обработке на основании литературных данных из работ [2, 4] предполагается, что значения действующего момента, полученные с одной конкретной реализации, подчиняются нормальному закону распределения, плотность вероятности которого имеет вид

$$f(T_{дв}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(T_{дв})} e^{\frac{(T_{дв}-\overline{T}_{дв})^2}{2[\sigma(T_{дв})]^2}}. \quad (1)$$

Численные значения $T_{дв}$ определяли как статические среднее и среднеквадратическое отклонения:

$$T_{дв} = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_{дв_i}}{n}, \; n = 26;$$
$$\sigma^2(T_{дв}) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(T_{дв_i} - \overline{T}_{дв})^2}{n-1}. \quad (2)$$

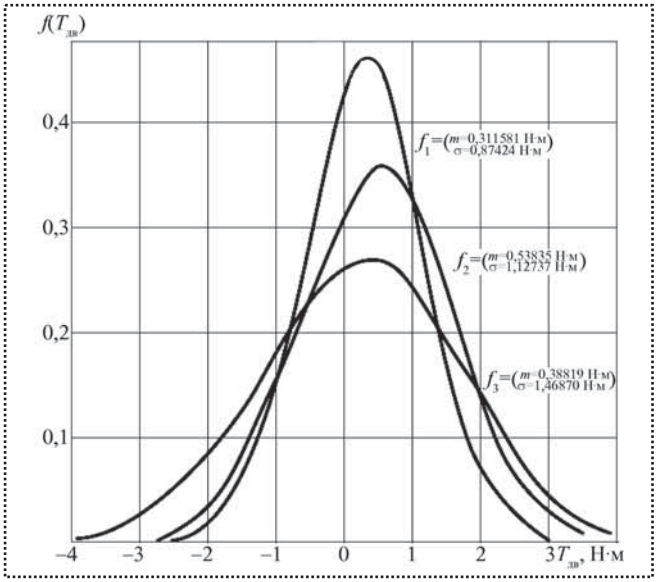

Рис. 3. Плотность вероятности нагруженности ПР:
f_1 – плотность вероятности нагруженности ПР по оси A с грузом m = 5 кг для скорости 10 %; f_2 – плотность вероятности нагруженности ПР по оси A с грузом m = 5 кг для скорости 30 %; f_3 – плотность вероятности нагруженности ПР по оси A с грузом m = 5 кг для скорости 60 %;

После вычисления $T_{дв}$ и $\sigma(T_{дв})$ для каждого из установленных условий эксплуатации (рабочий или холостой ход, масса трансформируемого груза, значение скорости, наличие удлинителя), рассчитывали значения плотности вероятности $f(T_{дв})$ в интервале от – 3 до 3 Н·м с шагом 0,2 Н·м. Вид полученных функций и их сравнительная оценка для определения условий приведены на рис. 3 и в таблице.

Данная методика предполагает в каждом конкретном случае нагруженности наличие только одной достаточно представительной реализации. Если случайный процесс нагружения представлен семейством реализаций (n), то последнее можно охарактеризовать усредненной плотностью вероятности $f(T_{дв}, t)n$.

Результаты вычислений значений плотности вероятности нагруженности ПР для груза массой 5 кг

Плотность вероятности	$T_{дв}$, Н·м														
	– 2,6	– 2,2	– 1,8	– 1,4	– 1,0	– 0,6	– 0,2	0,0	0,2	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6
f_1	0,00	0,00	0,02	0,06	0,14	0,26	0,38	0,42	0,45	0,43	0,33	0,21	0,10	0,04	0,01
f_2	0,00	0,01	0,04	0,08	0,13	0,21	0,28	0,31	0,33	0,35	0,32	0,46	0,18	0,11	0,06
f_3	0,03	0,05	0,08	0,12	0,17	0,21	0,25	0,26	0,26	0,26	0,24	0,21	0,17	0,12	0,08

Процесс дальнейшей статистической обработки полученных данных сводится к определению статистических характеристик и построению гистограммы в рассматриваемом сечении, дающих наглядное представление об абсолютных значениях нагрузок и их повторяемости.

Комплексной характеристикой нагруженности ПР является обобщенная плотность вероятности $f_о(T_{дв})$, которая может быть получена суммированием идентичных ординат всех плотностей, отражающих спектр реальных нагрузок, взятых с соответствующим весом. Вес определяется долей времени работы в соответствующих условиях.

Обобщенная плотность вероятности момента сопротивлению находится по соотношению:

$$f_о(T_{дв}) = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{k} f_{ji}(T_{дв})A_{ji}\,, \qquad (3)$$

где n – число реализаций (эксплуатационных категорий, отличающихся массой перемещаемой детали);

k – число скоростей ПР на рабочем и холостом ходу;

A_{ji} – доля времени работы на скорости в j-х условиях или при i-й операции.

Ось C в соответствии с циклом работы работает незначительно и оценку нагруженности этого узла проводить не имеет смысла.

На следующем этапе исследования случайного процесса нагружения были проведены построение и анализ корреляционной функции [1, 3]. Построение последней по семейству реализаций были произведено путем определения значений корреляционных моментов:

$$K(t_1, t_j) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i(t_1)x_i(t_j)}{n} - \overline{m}(t_1)m(t_j)\right]\frac{n}{n-1}, \qquad (4)$$

где $l = 1, 2, 3,..., m$;

m – число равноотстоящих сечений временного интервала, по которому производится построение корреляционной функции;

n – число обрабатываемых реализаций.

После деления полученных значений корреляционных моментов на произведения соответствующих средних квадратических отклонений (σ_1, σ) были получены значения нормированной корреляционной функции $\rho(t, t')$, представленные в виде прямоугольной матрицы:

$$\left\|\rho(t, t')\right\| = \begin{Vmatrix} 1 & \rho_{1,2} & \rho_{1,2} & \dots & \rho_{1,m} \\ & 1 & \rho_{2,3} & \dots & \rho_{2,m} \\ & & 1 & \dots & \rho_{3,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & & \rho_{n,m} \end{Vmatrix}. \qquad (5)$$

Для стационарного процесса нагружения функции $\rho(t, t')$ зависят только от величины временного интервала τ. В прямоугольной матрице постоянному τ соответствует главная диагональ и параллель этой диагонали. Если данные результаты не имеют существенных отличий, то точечные значения корреляционной функции принято определять, усредняя оценки корреляционных моментов вдоль параллельной главной диагонали.

Построение корреляционной функции по одной реализации для эргодичного процесса нагружения можно производить по следующему соотношению:

$$K(\tau) = \frac{1}{n-m}\sum_{i=1}^{i=n-m}[x(t_i)\overline{m}x][x(t_i t_k) - \overline{m}_x]\,, \qquad (6)$$

где $t = m\Delta t$.

При проведении ресурсных испытаний часто возникает необходимость представить непрерывно меняющиеся функции ($T_{дв}$) и типовой режим нагружения дискретными ступенчатыми. Это достигается интервальной заменой переменного момента $T_{дв}$ его постоянным значением. Число временных интервалов, для которых $T_{дв}$ = const, выбирается из условия приемлемого числа переналадок стендового оборудования, однако дискретный режим испытаний должен быть по возможности максимально приближен к непрерывному. При этом необходимо соблюдение условия:

$$F(T_{дв} = \infty) = \int_0^{\infty} f_0(T_{дв})dT_{дв}\int_0^{\infty} f_г(T_{дв})dT_{дв} = 1. \qquad (7)$$

Заключение

Отработана методика оценки нагруженности и составления программы ресурсных испытаний ПР по одному параметру, максимально соответствующая натурным условиям эксплуатации. Ее основные этапы следующие:

1) предварительно проведена классификация условий эксплуатации и разработка их характеристик, что по-

зволяет производить тензометрирование и хронометрирование соответственно установленным условиям;

2) проведение статистической оценки нагруженности, которая должна производиться для всех установленных категорий, что позволило объективно проанализировать полученные характеристики нагрузочных режимов, представленные в виде одномерной плотности вероятности случайного процесса нагружения и при необходимости – корреляционной функции;

3) характеристики типового режима нагружения были определены в результате обобщения полученных характеристик нагрузочных режимов, выполненных с учетом вероятности их появления в реальной эксплуатации. В итоге выполненных преобразований были получены обобщенная плотность вероятности случайной величины момента на валу двигателя и корреляционная функция, а также типовой режим нагруженности.

Были сформулированы количественные оценки замены непрерывных характеристик нагруженности ступенчатыми дискретными. Это является необходимым условием для проведения ресурсных испытаний ПР при отсутствии управляющих систем.

Данная методика проиллюстрирована на примере оценки нагруженности исследуемого ПР. Полученные результаты могут быть использованы при проведении ресурсных испытаний, ускоренных испытаний, а также при расчетах на прочность и долговечность деталей ПР.

Библиографический список

1. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.
2. **ГОСТ 27.503–81 (СТСЭВ 2836).** Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценки показателей надежности.
3. **Ревков Г.А.** Основы надежности и долговечности машин. М.: МАМИ, 1975.
4. **Фишбейн Ф.И.** Графические методы в планировании и обработке результатов испытаний на надежность. М.: Знание, 1979.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

учебное пособие в 4 кн. Под ред. **Д.В. Чернилевского**

Кн. 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА. Н.В. Ладогубец, Э.В. Лузик

Содержит основные положения, формулы и законы, используемые при изучении курса "Теоретическая механика", включая динамику материальной точки и динамику материальной системы и твердого тела. Даны алгоритмы решения задач, вопросы для самоконтроля и тестовые задания.

Кн. 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ. В.В. Астанин

Изложены основные вопросы расчетов на прочность элементов машин и сооружений Приведены примеры решения типовых задач на растяжение и сжатие, сдвиг, кручение, изгиб, сложное сопротивление, повторно-переменные и динамические нагрузки.

Кн. 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН. Я.Т. Киницкий

Изложены основные понятия и определения курса, структура и классификация механизмов и машин, общие методы кинематического и динамического исследования механизмов, приведены некоторые сведения из теории регулирования движения машин и уравновешивания механизмов.

Кн. 4. ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. Д.В. Чернилевский

Изложены основные сведения о технологических функциях механизмов, их кинематических и силовых возможностях, достоинствах и недостатках, позволяющих технологу производственных процессов провести анализ и синтез при принятии решения в процессе разработки технического задания на совершенствование существующих конструкций машин или вновь проектируемых машинных комплексов.

Для студентов высших технических учебных заведений, изучающих курсы "Сопротивление материалов" и "Техническая и прикладная механика".

2012 г.
Формат 60x88 1/16
ISBN 978-5-94275-602-4
Цена за комплект из 4 книг 1000 р.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 629.331-762.018.2

Л.С. Шкурко, *канд. техн. наук,* **Ю.А. Смолов,** *инженер (АМО ЗиЛ),*
М.В. Вартанов, *д-р техн. наук,* **И.Н. Зинина,** *канд. техн. наук (МГТУ "МАМИ")*
E-mail: zin_nina@mail.ru

Автоматизированный стенд для испытаний уплотнений автомобильных агрегатов*

Представлены конструкция разрабатываемого стенда и его основных систем, возможности применения стенда для оценки герметичности агрегатов автомобилей.

Presents the design developed by the booth and its major systems, the possibility of using the stand to assess the tightness of units of the automobile.

Ключевые слова: герметичность изделий, автоматизированный стенд, датчик утечки.

Keywords: seal products, automated booth; leak detection.

В технической литературе изложены методы и устройства, применяемые для герметизации соединений, оценки ее качества. Тем не менее, недостаточно разработаны конструкции оборудования и методики, позволяющие вести научно-исследовательские и доводочные работы по совершенствованию уплотнений узлов различного назначения, работающих в жидкостях и газах, особенно с учетом эксплуатационных факторов.

К таким факторам можно отнести переменные нагрузки, высокие температуры, снижение упругих свойств материалов в процессе эксплуатации, уменьшение сил затяжки крепежных соединений и т.д.

Герметичность оценивают при статических или динамических условиях работы стыка, но, как правило, не учитывают физико-химических процессов изменения свойств материалов.

Производственный опыт выявил целесообразность нагружения стыка переменным избыточным давлением внутри уплотняемой полости. Переменное избыточное давление и знакопеременные нагрузки с повышенной температурой уплотняемой среды могут привести к возникновению значительных утечек, которые недопустимы.

Развитие технологической базы машиностроения требует более интенсивного использования новых физических принципов построения приборов для измерения утечки.

В работе [5] рассмотрен первый этап создания автоматизированного стенда для испытаний уплотнений неподвижных разъемных соединений транспортных средств. Отмечена необходимость использования новых методов нагружения стыка и измерения утечки уплотняемой среды [3].

В рекламных и исследовательских материалах фирм-производителей, как правило, даются сведения о статических характеристиках материалов [4].

Автоматизированный стенд для испытания уплотнений, разрабатываемый в МГТУ "МАМИ" совместно с АМО ЗиЛ, позволяет ускорить процесс нагружения стыка и более точно определить место, где может появиться утечка. При появлении утечки стенд обеспечивает возможность ее количественного измерения, а также регистрации времени и места ее появления.

Проведенные патентные исследования показали, что для испытания уплотнений в основном применяют манометрические методы и устройства контроля герметичности жидких и газообразных сред, включая перетекание исследуемых и эталонных сред, используемых в различных отраслях машиностроения [1, 2]. Динамические нагружения стыка поверхности применяют в недостаточном объеме.

Создаваемый автоматизированный стенд состоит из станины, в которую входят детали *21* и *22* (рис. 1). В верхней части стенда размещена плита, имитирующая плоскость прилегания корпусных деталей, на которой размещаются и крепятся термопара ХК *7* и датчик утечки *8*, а также модельные устройства *6* для изучения процессов герметизации стыка.

К деталям и моделям с помощью шлангов подается под переменным давлением уплотняемая среда (моторное или трансмиссионное масло). Масло поступает из нагревательного бака *19* при помощи гидронасоса *18* (плунжерного или роторного) через золотниковое устройство *16* с электроприводом *9* и *15*.

* Работа подготовлена в рамках выполнения государственного контракта №16.740.11.0556 от 23.05.2011 г.

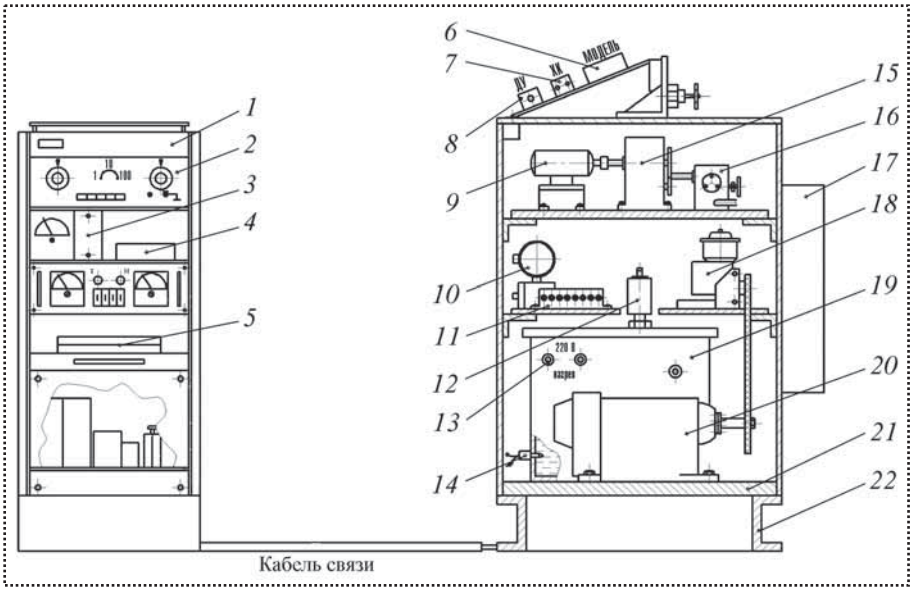

Рис. 1. Общая компоновка стенда

В нагревательном баке *19* смонтированы трубчатые электронагреватели *13*.

В состав оборудования входят также система пуска и остановки стенда *17*, средства регулирования и контроля температуры *14* и уровня масла в баке *12*, изменения амплитуды и частоты пульсаций *2*, *3*, *4*, *5* и *10* уплотняемой среды (моторного масла). Приборы и средства управления размещены в отдельной приборной стойке *1* рядом со стендом.

На испытуемых деталях, моделях или на столе рядом с ними монтируют датчики обнаружения и контроля утечки *8* уплотняемой среды, вторичные приборы измерения утечки *11*, контроля ее показателей и систематизируемой информации (по контуру уплотняемого стыка и скорости утечки), включая компьютер *5*, встроенный в приборную стойку.

Испытания деталей проводят следующим образом. На смазанную тонким слоем смазки поверхность стола стенда устанавливают испытуемые детали с уплотнениями (твердыми, полимерными или комбинированными прокладками) и подсоединяют шланги. Заливают в бак моторное масло (или уплотняемую среду). При комнатной температуре в течение 5...10 мин масло прокачивают через деталь в целях определения и устранения дефектов сборки.

Настраивают систему обнаружения и контроля утечки. Включают нагружающее золотниковое устройство *16* и задают пределы изменения амплитуды и частоты пульсаций уплотняемой среды. Осматривают стыки поверхностей герметизируемых изделий, подводящие трубопроводы стенда.

Контроль всех параметров испытаний производится автоматически по разработанной программе. В случае превышения заданной нормы утечек или достижения заданного ресурса работы (в циклах или часах) стенд автоматически останавливается для осмотра и анализа полученной информации.

Стенд позволяет проводить следующие операции:

• исследовать различные материалы уплотнений;

• выбирать оптимальные режимы нагружения для форсирования испытаний и их соответствия результатам эксплуатационных испытаний на автомобилях;

• получать данные для расчета прочностных и физико-химических характеристик уплотняющих материалов;

• исследовать статистику показателей, характеризующих однородность и качество материалов;

• исследовать влияние на герметичность геометрических показателей поверхностей, сопрягаемых с уплотнением;

• уточнять необходимые усилия затяжки крепежных деталей при сборке автомобиля;

• проводить выборочные контрольные испытания деталей и уплотнений при серийном производстве автомобилей и другой продукции машиностроения.

Функциональная схема стенда включает (рис. 2):

• систему регулирования температуры и уровня масла в баке;

• электропривод;

• систему нагружения стенда (гидронасос и золотниковое устройство);

• систему сбора и обработки информации.

Система регулирования температуры и уровня масла в баке включает:

• бак с нагреваемым маслом;

• нагревательный элемент (ТЭН-8А);

• устройство для контроля уровня масла в баке (BQ.2, GA.3, P1, GA.5);

• устройство для регулирования температуры масла в баке (BQ.1, GA.1, GA.2, P2, П1).

Устройство для контроля уровня масла необходимо для предотвращения перегрева и выхода из строя нагревательного элемента, когда уровень масла в баке недостаточен для его нормальной работы. Оно рабо-

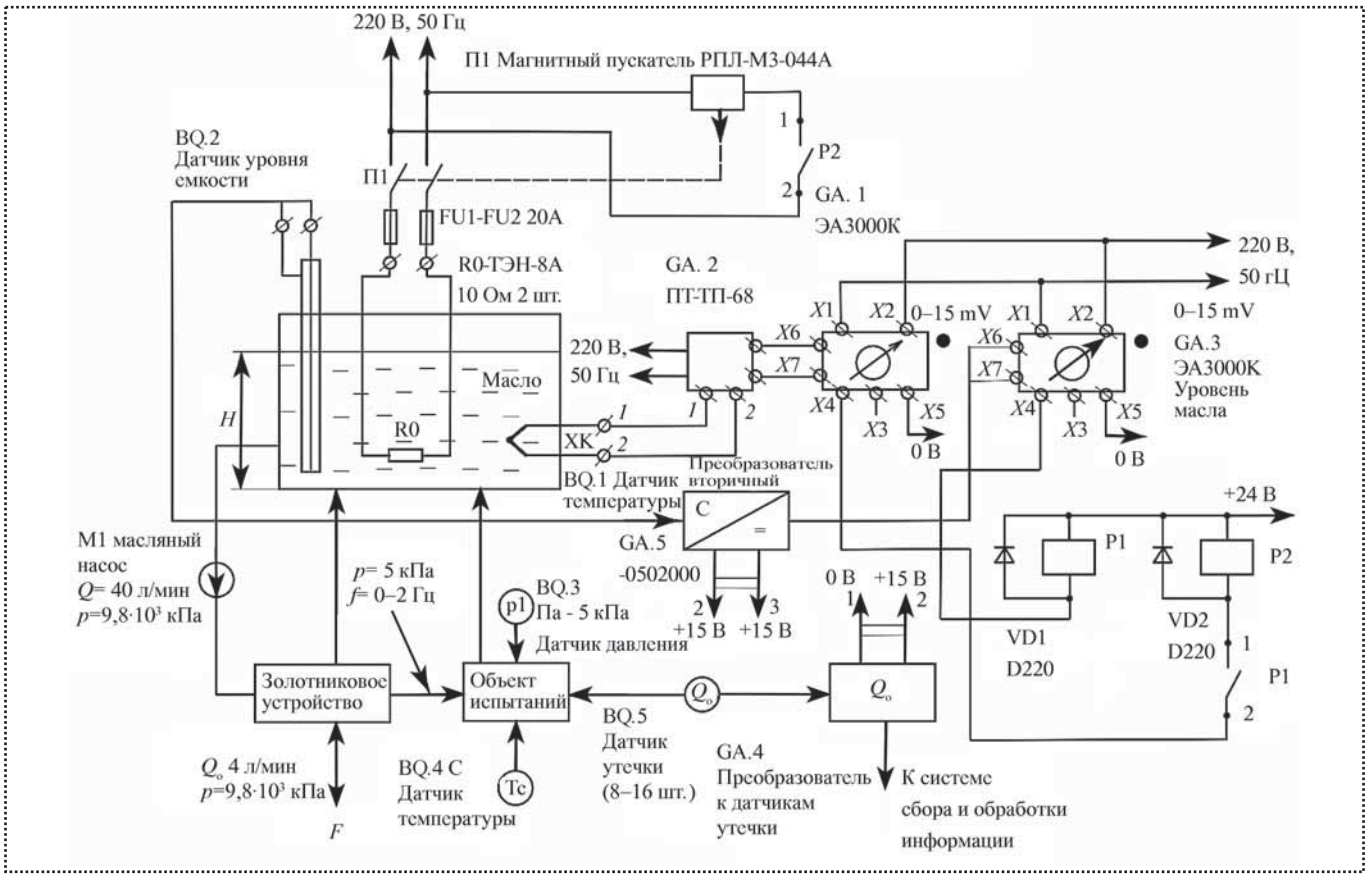

Рис. 2. Функциональная схема стенда

тает следующим образом. При отсутствии или превышении нормального уровня масла емкостной датчик BQ.2 изменяет свою емкость, что приводит к изменению напряжения на выходе преобразователя GA.5. Это напряжение поступает на вход прибора GA.3 (ЭА3000К), реле Р1 выключается, размыкаются его контакты, что приводит к выключению пускателя П1 и снятию напряжения нагревательного элемента. При нормальном уровне масла в баке контакты реле Р1 замкнуты.

Устройство для регулирования температуры масла работает следующим образом. При изменении температуры масла сигнал с датчика BQ.1 (термопара XK) поступает на вход прибора GA.1(ЭА3000К). При выходе сигнала за пределы зоны регулирования он вырабатывает сигнал на исполнительное устройство (реле Р2), контакты которого замыкаются или размыкаются в зависимости от того увеличивается или уменьшается температура масла, что приводит к включению или выключению нагревателя.

Схема электропривода включает типовой узел управления магнитными пускателями П1, П2, П3 (рис. 3). Кроме того, в схему входят типовые защитные устройства (тепловые реле РТ1, РТ2, РТ3). Для пуска приводного двигателя Д2 необходимо включить рубильник Р и затем нажать кнопку "Пуск" (К3, К4, в зависимости от частоты вращения). При этом пускатель (П3, П2) замыкает свои главные контакты и присоединяет статор приводного двигателя к сети. Замыкающий блок-контакт пускателя (П3, П2) блокирует кнопку "Пуск" (К3, К4) . Включение двигателя привода золотника Д1 осуществляется аналогично нажатием кнопки "Пуск" (К1). Отключение двигателей осуществляется нажатием кнопки "Стоп" (К5). При этом катушки пускателей П3, П2 теряют питание и их главные контакты отключают двигатель от сети. Остановка двигателя золотника осуществляется нажатием кнопки "Стоп" (К2). Тепловые реле РТ1, РТ2, РТ3 предназначены для предохранения двигателя от перегрева при длительной перегрузке. Нагревательные элементы реле включены в две фазы двигателя и предохраняют двигатели от перегрева. Кроме тепловой защиты реле РТ1, РТ2, РТ3 осуществляют также "нулевую" защиту и защиту от самозапуска. Важным свойством пускателя является дистанционное управление электродвигате-

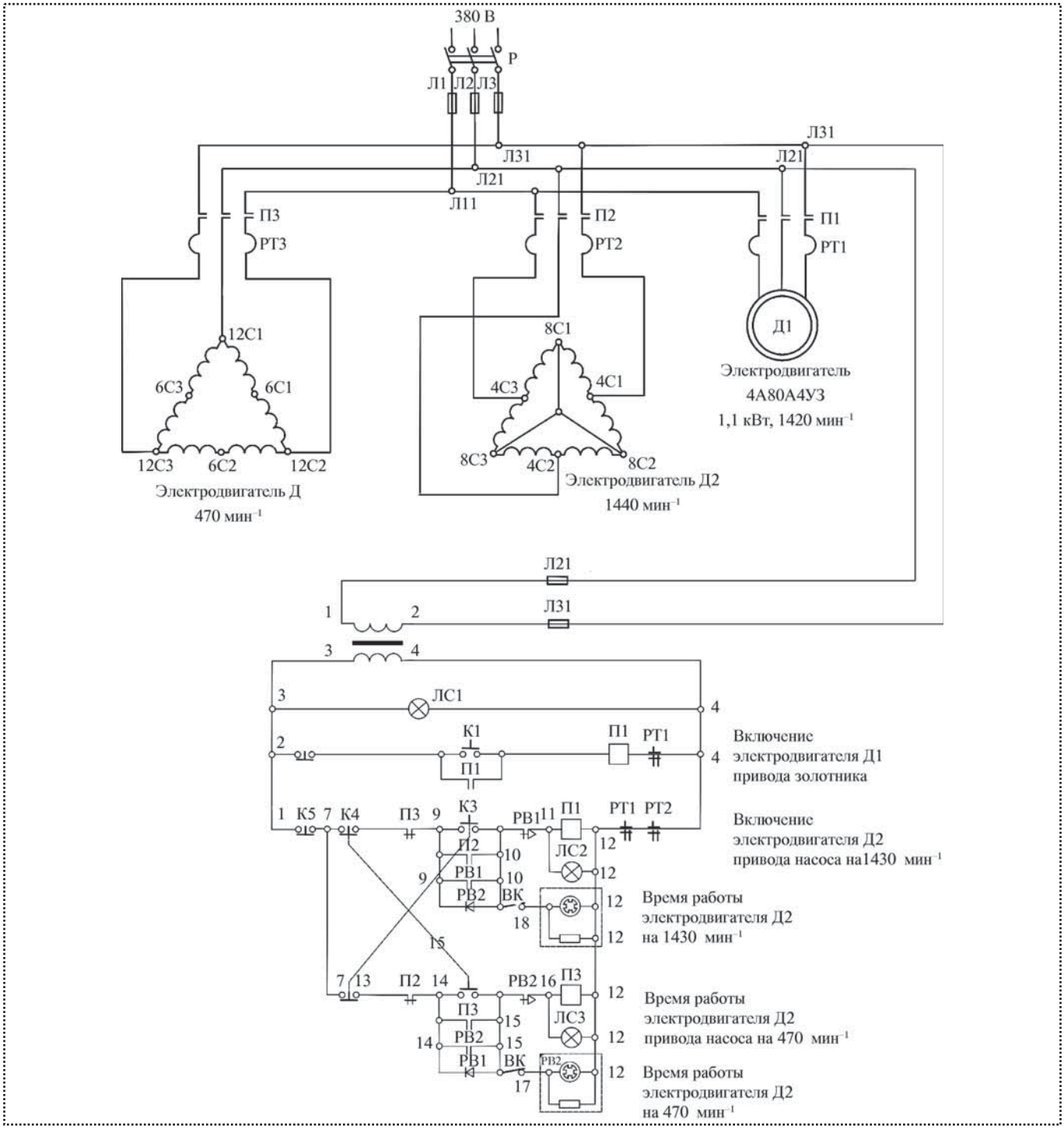

Рис. 3. Электропривод стенда

лем. Магнитные пускатели применяются для автоматического пуска и остановки двигателей.

Система нагружения стенда включает гидронасос М1 и золотниковое устройство, позволяющее создавать необходимое пульсирующее давление в объекте испытания.

Привод насоса М1 осуществляется от редуктора (1/10) с кулачковым механизмом, соединенным с асинхронным двигателем мощностью 1 кВт.

Система сбора и обработки информации (рис. 4) состоит из:

- модуля GA.5;

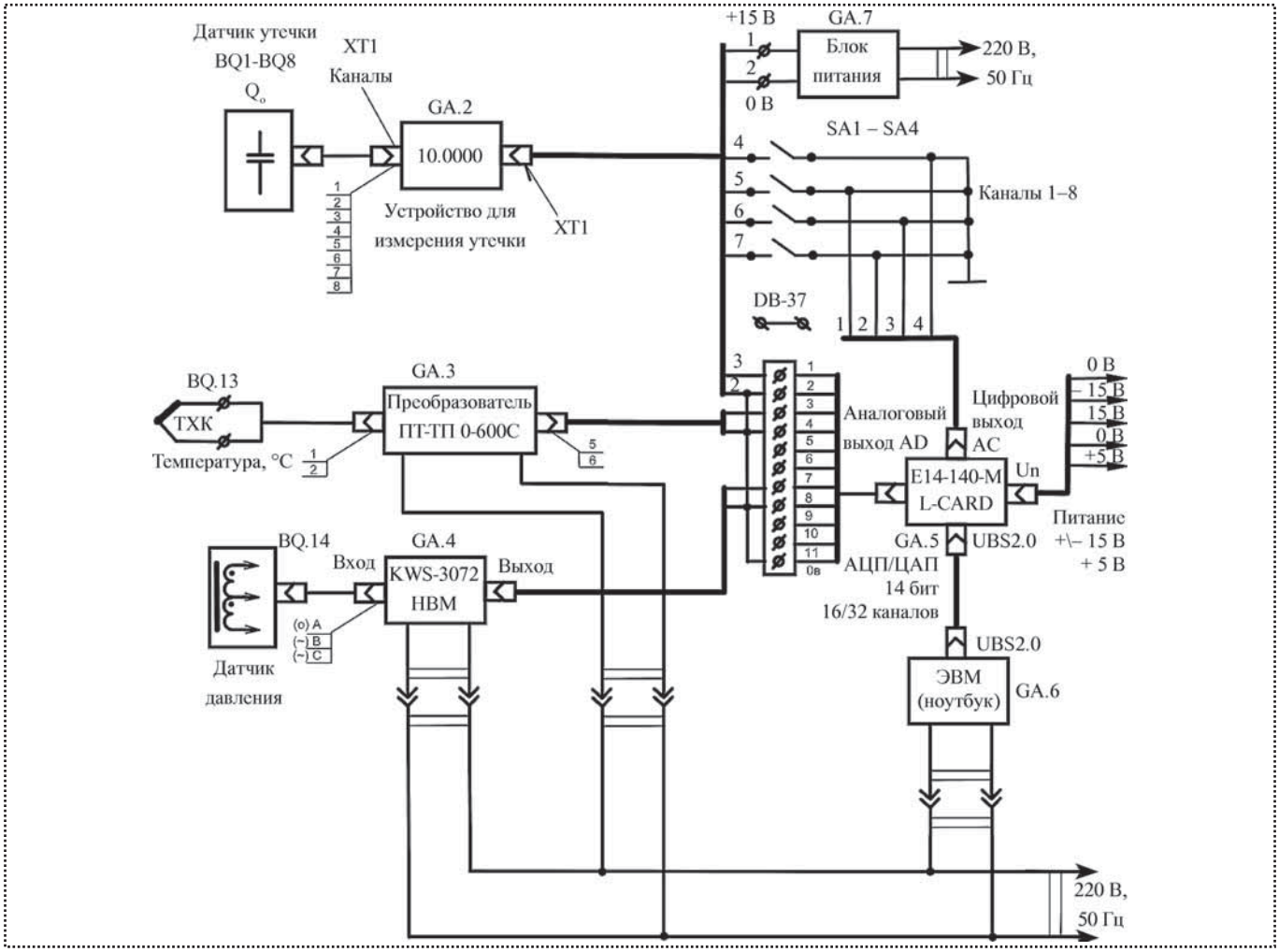

Рис. 4. Система сбора и обработки информации

• АЦП/ЦАП на шину USB 2.0 типа E14-140(E14-440) – 14 бит, 400 кГц; количество каналов – 16/32 фирмы L-CARD;

• ноутбука GA.6 фирмы "ASUS" или ему подобного;

• программного обеспечения ACTest – Lite;

• платы клеммников DB-37.

Платы клеммников размещены в приборной стойке и связаны кабелем с первичными преобразователями стенда, которые включают:

• датчик давления BQ.14 в полости герметизации 0...5 кПа;

• измерительный усилитель GA.4 фирмы HBM (KWS-3072);

• датчики утечки через уплотнение BQ.1...BQ.8;

• устройства для измерения утечки GA.2;

• датчик температуры в зоне уплотнения BQ.13 (термопара ХК);

• преобразователь к термопарам (ХК, ХА) GA.3 (ПТ-ТП);

• блок питания GA.7 (+15 В).

Структурная схема устройства для измерения утечки приведена на рис. 5. Устройство содержит два идентичных датчика утечки *1* и *2* (число датчиков может измеряться от 2 до 16), размещенных вблизи торцевой поверхности контролируемого образца.

Датчики *1* и *2* соединены с коммутаторами каналов *3* и *4*, а также с блоком преобразования емкости в напряжение *5*, выход которого подключается к аналого-цифровому преобразователю *6* и далее к решающему устройству *7*.

Устройство работает следующим образом. Датчики *1* и *2* размещают вблизи торцевой поверхности контролируемого образца с зазором 5...10 мкм. На электроды датчиков через коммутаторы каналов *3* и *4* подается переменное напряжение типа "меандр". Ме-

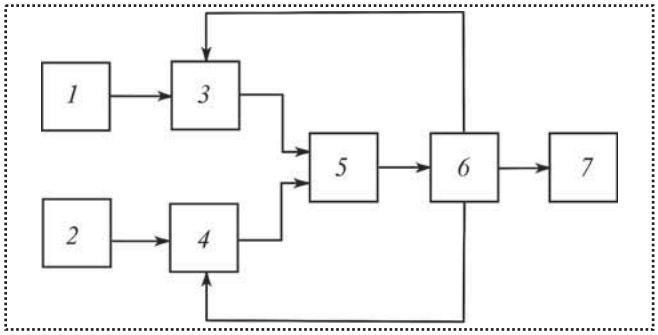

Рис. 5. Структурная схема устройства для измерения утечки

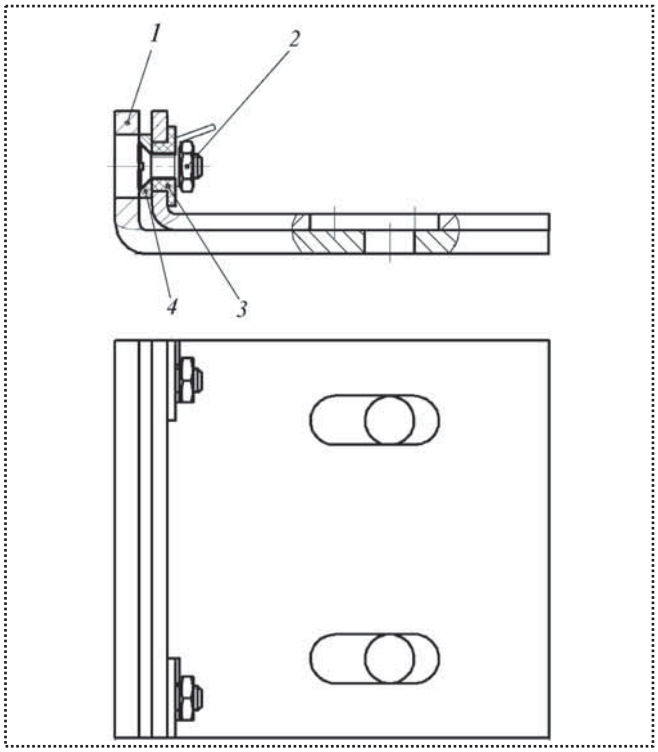

Рис. 6. Датчик утечки:
1 – уголок; *2* – винт; *3* – втулка; *4* – пластина

жду электродами датчиков *1* и *2* и корпусом испытуемой детали образуется переменное электрическое поле напряженностью $E = 10^5...10^6$ В/м. Напряженность электрического поля определяется величиной зазора между электродами датчиков *1* и *2* и корпусом испытуемого объекта (рис. 6).

При попадании жидкости на пористый слой диэлектрика датчиков *1* и *2* (см. рис. 5), в силу высокой напряженности электрического поля между электродами датчиков *1* и *2* и корпусом испытуемого объекта, происходит разрыв химических связей молекул жидкости. Как следствие этого, появляются свободные заряды (ионы), что приводит к резкому увеличению электрической емкости датчиков в 2–3 раза. Это служит признаком появления утечки в испытуемом объекте.

Напряжение с датчиков *1* и *2* через коммутаторы каналов *3* и *4* подается на блок *5* (преобразователь емкости в напряжение) и далее на аналого-цифровой преобразователь *6*, с которого оно поступает на решающее устройство *7* (ЭВМ).

В настоящее время осуществляется монтаж стенда и системы управления. Предполагается использовать создаваемый стенд для лабораторных и производственных испытаний на базе МГТУ "МАМИ".

Библиографический список

1. **Бондарева Г.И.** Герметизация неподвижных фланцевых соединений силиконовыми герметиками при ремонте сельскохозяйственной техники. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2000.

2. **Кононенко А.С.** Герметизация неподвижных фланцевых соединений анаэробными герметиками при ремонте сельскохозяйственной техники. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2001.

3. **Неразрушающий** контроль. Справочник в 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2. М., Машиностроение, 2003. 688 с.

4. **Петрова А.П.** Клеящие материалы. Справочник. Под ред. Е.Н. Каблова. М.: Редакция журнала "Каучук и резина", 2002. 196 с.

5. **Шкурко Л.С., Зинина И.Н., Корх Н.О.** Разработка автоматизированного стенда для испытаний уплотнений неподвижных разъемных соединений транспортных средств // Материалы семинара "Современные технологии сборки", М., 2011. С. 135–140.

УДК 621.717

М.Н. Сорокин, *д-р техн. наук, профессор,* **Ю.Н. Ануров,** *инженер*
(Московский государственный вечерний металлургический институт)
E-mail: ayn2001@mail.ru

Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров

Изложена методика определения вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров. Представлена зависимость вероятности получения бракованных сопряжений от величины допуска на параметр сопряжения. Получено условие бездефектной технологии селективной технологии типа "вал–втулка".

The technique of definition of probability of reception rejected interfaces is developed at selective assemblage of products of type "shaft–plug" on the valid values from parameters. Dependence of probability of the rejected interfaces on admission size on interface parameter is presented. The condition of faultless technology of selective technology of type "shaft–plug" is received.

Ключевые слова: селективная сборка, селективный интервал, задача комплектования, сопрягаемый параметр, параметр сопряжения, метод межгрупповой взаимозаменяемости, полная собираемость изделий, бездефектная технология, бракованное сопряжение, вероятность получения бракованных сопряжений, действительное значение сопрягаемого параметра, истинное значение сопрягаемого параметра, погрешность измерения сопрягаемого параметра.

Keywords: selective assembly, selective interval, acquisition problem, the interfaced parameter, interface parameter, method of intergroup interchangeability, full collecting of products, faultless technology, the rejected interface, probability of reception of the rejected interfaces, the valid value of the interfaced parameter, true value of the interfaced parameter, error of measurement of the interfaced parameter.

В работе [2] было показано, что максимальная собираемость изделий типа "вал–втулка" при селективной сборке по методу межгрупповой взаимозаменяемости обеспечивается при выборе минимальной длины селективных интервалов, а точнее, по действительным значениям сопрягаемых параметров. Поэтому вероятность получения бракованных сопряжений следует определять при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров.

Бракованные сопряжения при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" появляются вследствие ошибок измерения сопрягаемых параметров. Детали относятся к селективным группам в соответствии с действительными значениями сопрягаемых параметров. Однако среди этих деталей имеются те, которые в соответствии с истинными значениями сопрягаемых параметров относятся к другим селективным группам и для которых не существует допустимых путей комплектования. Поэтому при образовании сборочного комплекта получаются сопряжения, которые не удовлетворяют техническим требованиям на параметр сопряжения.

Рассмотрим решение задачи определения вероятности получения бракованных сопряжений.

Допуски сопрягаемых параметров будем рассматривать в относительной системе полей допусков [2].

Введем необходимые обозначения и определения.

Пусть x_i – сопрягаемый параметр вала и втулки, $i = \overline{1, 2}$. В дальнейшем индекс i будет принимать только эти два значения.

Пусть случайная величина ξ_i определяет действительное значение сопрягаемого параметра x_i, принимает значение x_i, определена на отрезке $[-1, +1]$ и имеет функцию распределения плотности вероятностей $f_i(x_i)$. Будем считать, что параметр x_1 определяет как сам сопрягаемый параметр детали, так и действительное его значение.

Пусть случайная величина ϑ_i определяет истинное значение сопрягаемого параметра x_i, принимает значение y_i, определена на отрезке $[-a, +a]$, $0 \le a \le 1$ и имеет функцию распределения плотности вероятностей $\varphi_i(y_i)$.

Пусть случайная величина ε_i определяет погрешность измерения сопрягаемого параметра x_i, принимает значение z_i, определена на отрезке $[-c, +c]$,

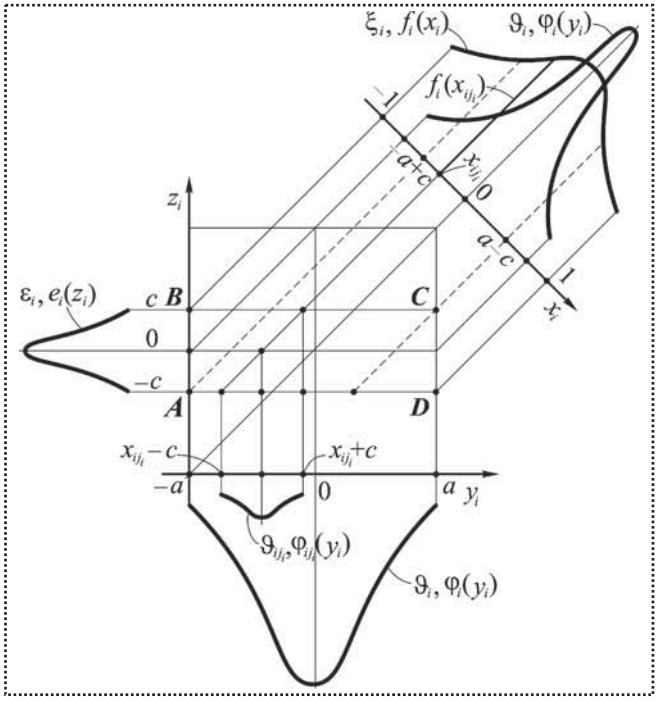

Рис. 1. Суммирование двух случайных величин

$0 \le c \le 1$, $a + c = 1$ и имеет функцию распределения плотности вероятностей $e_i(z_i)$ – рис. 1.

Считаем, что $\xi_i = \vartheta_i + \varepsilon_i$ и случайные величины ϑ_i и ε_i являются независимыми.

Пусть параметр сопряжения

$$R = x_1 - x_2$$

и ΔR определяет допуск на параметр сопряжения R.

Считаем, что параметр сопряжения R должен удовлетворять требованию

$$-\frac{\Delta R}{2} \le R \le \frac{\Delta R}{2}.$$

Рассмотрим задачу определения вероятности получения бракованных сопряжений. Пусть заданы функции распределения $f_i(x_i)$ и $e_i(z_i)$ случайных величин ξ_i и ε_i, которые удовлетворяют указанным условиям. Пусть детали, относительное число которых равно единице, рассортированы на селективные группы. Селективный интервал, определяющий селективную группу, равен дискретности последнего разряда действительных значений сопрягаемого параметра.

Решение задачи определения вероятности получения бракованных сопряжений можно рассматривать как результат последовательного решения следующих четырех задач:

- определение функции распределения $\varphi_i(y_i)$ случайной величины ϑ_i, если известны функции распределения $f_i(x_i)$ и $e_i(z_i)$ случайных величин ξ_i и ε_i;
- определение функции распределения истинных значений сопрягаемого параметра $f_i(x_i)$, если известно действительное значение x_i;
- определение решения задачи комплектования;
- определение вероятности получения бракованных сопряжений для найденного решения задачи комплектования.

Первая задача. Если функции распределения $f_i(x_i)$, $\varphi_i(y_i)$ и $e_i(z_i)$ случайных величин ξ_i, ϑ_i и ε_i были бы определены на промежутке $(-\infty, +\infty)$, $\xi_i = \vartheta_i + \varepsilon_i$ и случайные величины ϑ_i и ε_i были бы независимыми, то функции $f_i(x_i)$, $\varphi_i(y_i)$ и $e_i(z_i)$ были бы связаны между собой через интеграл свертки

$$f_i(x_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_i(y_i) e_i(y_i - x_i) dy_i \qquad (1)$$

и значения пределов интегрирования были бы равны $-\infty$ и $+\infty$. Для определения функции распределения $\varphi_i(y_i)$ необходимо решить интегральное уравнение (1). В практических приложениях случайные величины ξ_i, ϑ_i и ε_i определены соответственно на отрезках $[-1, +1]$, $[-a, +a]$ и $[-c, +c]$. В этом случае они также связаны между собой через интеграл свертки, однако пределы интегрирования необходимо дополнительно определить. Для этого построение суммы двух случайных величин рассмотрим подробнее.

Решение задачи нахождения суммы двух случайных величин можно свести к последовательному решению следующих двух задач.

Сначала необходимо решить задачу построения двумерной случайной величины $\lambda_i = (\vartheta_i, \varepsilon_i)$ – см. рис. 1.

Прямоугольник ***ABCD*** является областью определения случайной величины λ_i, которая принимает значение $y_i + z_i$. Функция распределения $v_i(z_i, y_i)$ случайной величины λ_i принимает значения $\varphi_i(y_i) \cdot e_i(z_i)$. Затем нужно найти маргинальное распределение случайной величины λ_i. Этим распределением будет проекция случайной величины λ_i на плоскость, перпендикулярную линии, каждая точка которой в области ***ABCD*** определяет одно и тоже значение суммы двух случайных величин ϑ_i и ε_i.

На отрезке $[-1, +1]$ оси x_i выделим точки $x_i = -a + c$ и $x_i = a - c$ (см. рис. 1). Тогда отрезок $[-1, +1]$, т.е. область определения функции распределения $f_i(x_i)$ случайной величины ξ_i разобьется на три отрезка: $[-1, -a + c]$, $[-a + c, a - c]$ и $[a - c, 1]$, для каждого из которых

мы можем найти пределы интегрирования и значения функции распределения $f_i(x_i)$ случайной величины ξ_i.

Значения функции распределения $f_i(x_i)$ для этих отрезков определяют из следующих выражений:

$$f_i(x_i)=\begin{cases}\int\limits_{-a}^{x_i-c}\varphi_i(y_i)e_i(y_i-x_i)dy_i,\ x_i\in[-1,\ -a+c],\\ \int\limits_{+c}^{-c}\varphi_i(y_i)e_i(y_i-x_i)dy_i,\ x_i\in[-a+c,\ a-c],\\ \int\limits_{x_i-c}^{a}\varphi_i(y_i)e_i(y_i-x_i)dy_i,\ x_i\in[a-c,\ 1].\end{cases}\quad(2)$$

Для определения функции распределения $\varphi_i(y_i)$ необходимо решить интегральные уравнения (2). Для решения интегральных уравнений (2) будем применять численные методы. Если провести дискретизацию случайных величин ξ_i, ϑ_i и ε_i, то задача определения дискретных значений случайной величины ϑ_i сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений, причем дискретные значения случайной величины ϑ_i будут определяться из рекуррентных соотношений. Решение дискретного интегрального уравнения в данной работе не приводится.

Вторая задача – определение функции распределения $\varphi_i^0(y_i)$ истинных значений сопрягаемого параметра x_i при условии, что действительное значение сопрягаемого параметра x_i известно и равно x_i^0.

Вне зависимости от того, какому отрезку [– 1, –a + + c], [– a + c, a – c] и [a – c, 1] принадлежит значение x_i^0, функция $\varphi_i^0(y_i)$ будет иметь один и тот же вид:

$$\varphi_i^0(y_i)=\varphi_i(y_i)e(y_i-x_i^0).$$

Однако область определения функции $\varphi_i^0(y_i)$ будет зависеть от того, какому отрезку принадлежит действительное значение x_i^0 сопрягаемого параметра x_i (см. рис. 1). В зависимости от этого аргумент функции $\varphi_i^0(y_i)$ будет принимать следующие значения:

$$y_i\in[a,\ x_i^0+c],\ \text{если}\ x_i^0\in[-1,\ -a+c],$$

$$y_i\in[x_i^0-c,\ x_i^0+c],\ \text{если}\ x_i^0\in[x_i^0-c,\ x_i^0+c],$$

$$y_i\in[x_i^0-c,\ a],\ \text{если}\ x_i^0\in[a-c,\ 1].$$

Третья задача – решение задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров. Селективная сборка по действительным значениям сопрягаемых параметров эквивалентна селективной сборке, когда селективные интервалы выбираются минимальными и равными дискретности последнего разряда действительных значений сопрягаемого параметра [1]. Пусть эта величина равна Δx_i, $\Delta x=\Delta x_i$.

Тогда поле допуска [– 1, + 1] сопрягаемого параметра x_i разобьется на $\frac{2}{\Delta x}$ число селективных интервалов и, следовательно, селективных групп. Значение x_{ij_i} определяет точку деления отрезка [– 1, + 1] на селективные интервалы. Индекс j_i определяет номер селективного интервала $j_i=\overline{1,\frac{2}{\Delta x}}$. В j_i-й селективной группе будет находиться $f_i(x_{ij_i})\Delta x$ относительное количество деталей.

Пусть совокупность $\{s_q,\ p_q\}$ определяет решение задачи комплектования [1], где s_q – допустимый путь комплектования, определяющий решение задачи комплектования; p_q – относительное число сборочных комплектов на этом пути комплектования. Считаем, что $s_q\in S$, где S – множество допустимых путей комплектования, определяющих решение задачи комплектования. Допустимый путь комплектования s_q можно представить в виде $a_q=s(j_1,\ j_2)$, где индексы j_1 и j_2 определяют номера селективных интервалов, образующих данный путь комплектования. Аналогично можно представить величину p_q, где $p_q=p(j_1,\ j_2)$. Тогда общая собираемость изделий

$$p_{\text{соб}}=\sum_{s(j_1,\ j_2)\in S}p(j_1,\ j_2),$$

где S – множество путей комплектования, определяющих решение задачи комплектования.

Четвертая задача – определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров.

Алгоритм решения задачи комплектования предусматривает получение на $s(j_1,\ j_2)$-м пути комплектования максимального числа сборочных комплектов, т.е.

$$p(j_1,\ j_2)=\min[f_1(x_{1_{j_1}})\Delta x,\ f_2(x_{2_{j_2}})\Delta x].$$

Пусть $p(j_1,\ j_2)=f_1(x_{1_{j_1}})\Delta x$. Если действительные значения сопрягаемых параметров равны $x_{1_{j_1}}$ и $x_{2_{j_2}}$, то функция распределения $\varphi_{i\,j_i}(y_i)$ истинных значений y_i сопрягаемых параметров x_i будет равна

$$\varphi_{ij_i}(y_i)=\varphi_i(y_i)e(y_i-x_{ij_i}).$$

Если значение $x_{1_{j_1}} \in [-a+c,\ a-c]$, $x_{2_{j_2}} \in [-a+c,\ a-c]$, то указанная функция будет определена на отрезке $y_i \in [x_{ij_i} - c,\ x_{ij_i} + c]$. Если значения $x_{1_{j_i}}$ принадлежат другим отрезкам, то и указанная функция будет определена на других отрезках.

Тогда функция $\Phi(R)$, равная интегралу свертки

$$\Phi(R) = \varphi_{1_{j_1}}(y_1)\frac{f_1(x_{1_{j_1}})}{f_2(x_{2_{j_2}})}\varphi_{2_{j_2}}(y_2),$$

определит функцию распределения истинных значений параметра сопряжения R при условии, что действительные значения сопрягаемых параметров x_1 и x_2 равны $x_{1_{j_1}}$ и $x_{2_{j_2}}$.

Коэффициент $\frac{f_1(x_{1_{j_1}})}{f_2(x_{2_{j_2}})}$ вводится для того, чтобы обеспечивалось равенство

$$p(j_1,\ j_2) = \int_{x_{1_{j_1}}-c}^{x_{1_{j_1}}+c} \varphi_{1_{j_1}}(y_1)dy_1 =$$

$$= \frac{f_1(x_{1_{j_1}})}{f_2(x_{2_{j_2}})}\int_{x_{1_{j_1}}-c}^{x_{2_{j_2}}+c} \varphi_{2_{j_2}}(y_2)dy_2 .$$

Это равенство показывает, что именно такое число сборочных комплектов выбирается на $s(j_1,\ j_2)$-м пути комплектования из деталей в j_1 и j_2-й селективных группах, т.е. $p(j_1,\ j_2)$.

Вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}(j_1,\ j_2)$ на $s(j_1,\ j_2)$-м пути комплектования определим как

$$p_{бр}(j_1,\ j_2) = p(j_1,\ j_2) - \int_{-\frac{\Delta R}{2}}^{+\frac{\Delta R}{2}} \Phi(R)dR .$$

Общая вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ при селективной сборке деталей типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров x_i будет равна:

$$p_{бр} = \sum_{s(j_1,\ j_2)\in S} p(j_1,\ j_2) . \qquad (3)$$

Значение $p_{бр}$ определяет вероятность получения бракованных сопряжений при условии, что общее число деталей для комплектования равно единице. Если собираемость изделий $p_{соб} = 1$, то $p_{бр}$ определяет и процент бракованных сопряжений в собранной партии – $p_{бр} \cdot 100$ %. Если собираемость изделий $p_{соб} < 1$, то доля бракованных сопряжений в собранной партии будет равна $\frac{p_{бр}}{p_{соб}} 100$ %.

Вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ определена при условиях, что случайная величина ξ_i является суммой случайных величин ϑ_i и ε_i, случайные величины ϑ_i и ε_i являются независимыми и определены на конечных отрезках. Только при этих допущениях можно определить функцию распределения истинных значений $\varphi_i(y_i)$ сопрягаемого параметра x_i и, следовательно, определить вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$. Однако в практических приложениях связь между случайными величинами ξ_i, ϑ_i и ε_i неизвестна и, следовательно, не предоставляется возможным определение функции распределения $\varphi_i(y_i)$ и, как следствие этого, определение вероятности бракованных сопряжений $p_{бр}$. Поэтому в статье даны подход и методика определения вероятности получения бракованных сопряжений. В рассмотренной постановке задачи определения вероятности получения бракованных сопряжений можно только определить качественный характер изменения вероятности получения бракованных сопряжений в зависимости от ряда факторов. Получить точные значения вероятности бракованных сопряжений можно, если знать реальную функцию совместного распределения случайных величин ϑ_i и ε_i.

Авторами проведены расчеты в целях определения вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров. Значение $p_{бр}$ для модельного примера вычислялось по формуле (3) вне зависимости от значений $p_{соб}$.

В качестве исходных данных для модельного примера были приняты следующие. Случайная величина ϑ_1 получена из случайной величины $\overline{\vartheta}_1 = N(0,\ \sigma_1^2)$, $6\sigma_1 = 2$ путем выбора части ее распределения на отрезке [– 0,9, + 0,9] и ее нормирования. Случайная величина ϑ_2 получена из случайной величины $\overline{\vartheta}_2 = N(0,\ \sigma_2^0)$, $3\sigma_2 = 2$ путем выбора части ее распределения на отрезке [– 0,9, + 0,9] и ее нормирования. Случайная величина ε_i выбрана как $\varepsilon_i = N(0,\ \sigma_\varepsilon^2)$ на отрезке [– 0,1, + 0,1], $6\sigma_\varepsilon = 0{,}2$. Случайная величина ξ_i была вычислена как $\xi_i = \vartheta_i + \varepsilon_i$. Для количественной оценки вероятности получения бракованных сопряжений была проведена дискретизация данной задачи. Отрезок дискретизации был выбран равным 0,01. Значения величин $p_{бр}$, $p_{соб}$ и коэффициента запаса устойчивости $k_{уст}$ определялись по методике, предложенной в работе [1]. Результаты вычислений приведе-

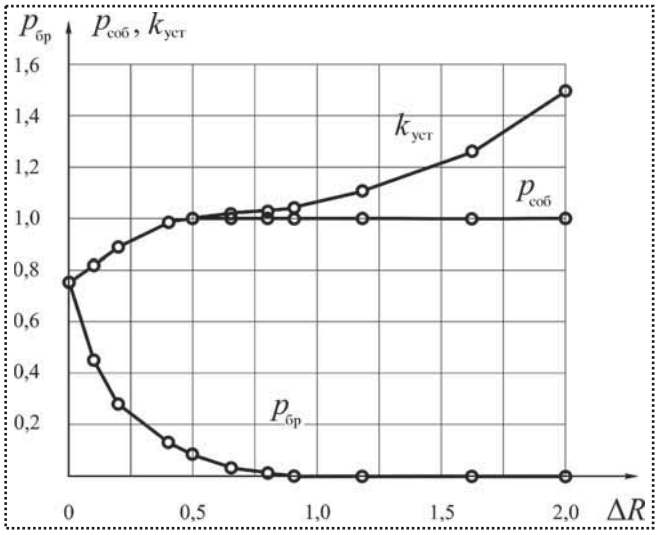

Рис. 2. Графики собираемости изделий и вероятности получения бракованных сопряжений

Зависимость $k_{уст}$, $p_{соб}$ и $p_{бр}$ от величины допуска на параметр сопряжения ΔR

Величина	ΔR										
	0,02	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,6	2,0
$k_{уст}$	0,776	0,823	0,880	0,978	1,000	1,016	1,034	1,047	1,112	1,270	1,500
$p_{соб}$	0,776	0,823	0,880	0,978	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$p_{бр}$	0,776	0,412	0,275	0,132	0,086	0,040	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000

ны в таблице и представлены в виде графиков на рис. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением допуска ΔR на параметр сопряжения R вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ уменьшается. При $\Delta R = 0$ вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ достигает своего максимального значения и равна собираемости изделий, т.е. каждое изделие будет бракованным. Обозначим через $\Delta R_{кр}$ минимальное значение допуска на параметр сопряжения ΔR, при котором обеспечивается полная собираемость изделий, т.е. $p_{соб} = 1$. Таким образом, если $\Delta R < \Delta R_{кр}$, то $p_{соб} < 1$ и если $\Delta R < \Delta R_{кр}$, то $p_{соб} = 1$. Тогда при $\Delta R \geq \Delta R_{кр} + 4c$ вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ становится равной нулю, т.е. найдено условие бездефектной технологии селективной сборки изделий.

Выводы

1. Разработана методика определения вероятности получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров.

2. Для модельного примера получены количественные значения вероятности получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ в зависимости от величины допуска ΔR на параметр сопряжения R.

3. Показано, что если величина допуска ΔR на параметр сопряжения R выбрана равной $\Delta R \geq p_{соб}^{кр} + 4c$, то вероятность получения бракованных сопряжений $p_{бр}$ равна нулю, т.е. найдено условие бездефектной технологии селективной сборки изделий.

Библиографический список

1. **Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Анализ собираемости изделий типа "вал–втулка" при селективной сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1.

2. **Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Формализация метода межгрупповой взаимозаменяемости при реализации селективной сборки изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 8. С.75–82.

УДК 621.(075.8)

А.С. Васильев, *д-р техн. наук*
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
В.М. Грязев, *инженер,* **А.С. Ямников,** *д-р техн. наук*
(Тульский государственный университет)
E-mail: tms@tsu.tula.ru

Функционально связанные сборочные размерные цепи, обеспечивающие нормированный контакт поверхностей

Рассмотрены вопросы обеспечения точности замыкающего размера цепи, заданного в виде относительной площади пятна контакта. Отмечено, что такое задание точности наблюдается в случае, когда на замыкающий размер влияет либо последовательно, либо параллельно большое число звеньев размерной цепи.

The paper considers closing dimension accuracy in a chain specified as a contact surface area. It has been found that such an accuracy specification occurs only when the closing dimension is affected with a large number of either parallel, or perpendicular dimensional chain segments.

Ключевые слова: размерная цепь, нормированное пятно контакта, замыкающий размер.

Keywords: dimensional chain, normalized contact pattern, closing dimension.

Общая теория размерных цепей разрабатывалась для назначения допусков, регламентирующих точность изготовления деталей, входящих в изделие, исходя из технических условий на его приемку. Использование теории размерных цепей для анализа конструкций изделий позволяет проверить правильность и рациональность назначения допусков, исходя из условий взаимозаменяемости деталей, а также осуществить технологический анализ конструкции изделия с целью выбора метода решения точностной задачи, поставленной конструктором. Такой размерно-технологический анализ сборочных размерных цепей изделия помогает найти технологу и конструктору наиболее рациональный метод совместного решения указанных задач.

Для проведения размерно-технологического анализа целесообразно рассмотреть понятие о функционально связанных сборочных размерных цепях. Понятие о связанных сборочных размерных цепях ввел Б.С. Балакшин [1], который выделил три вида связи размерных цепей: последовательный, параллельный и параллельно-последовательный, предопределяющие рациональную последовательность осуществления сборочного процесса. Выявление этих связей исключает чисто интуитивное назначение последовательности сборки, но не отражает содержание технологии проведения сборочных работ, связанных с достижением необходимой точности сборки.

Профессор И.А. Коганов ввел понятие "функционально связанная сборочная размерная цепь" [2]. Целесообразность выделения функционального вида связи размерных цепей имеет целью выявить класс размерно-точностных задач по сборке изделий, для решения которых наряду с традиционными необходимо разрабатывать специальные приемы и методы обработки соединений входящих в изделие деталей. Практически все размерные цепи по своему назначению являются функциональными. Принцип функциональности имеет примерно тот же смысл, который вкладывается в понятие функциональной взаимозаменяемости: назначение допусков на замыкающие звенья должно производиться с таким расчетом, чтобы соответствовать наилучшим образом эксплуатационным требованиям, предъявляемым к данному изделию, сборочной единице, комплекту деталей.

Итак, *функционально связанными сборочными размерными цепями называют такие цепи, которые в общей совокупности позволяют решать задачу выполнения данным изделием предписанного ему служебного назначения.*

Необходимо при этом учитывать весьма характерную особенность решения функционально связанных размерных цепей: при функциональном виде связей заданные эксплуатационные характеристики обеспечиваются только при совместном решении этих цепей. Характерными в этом отношении примерами являются размерные цепи, обеспечивающие в червячных и конических зубчатых передачах комплексные выходные эксплуатационные характеристики (нормированный контакт зубьев).

Рассматриваемый вид связи имеет место также в случаях, когда сопряжение деталей осуществляется

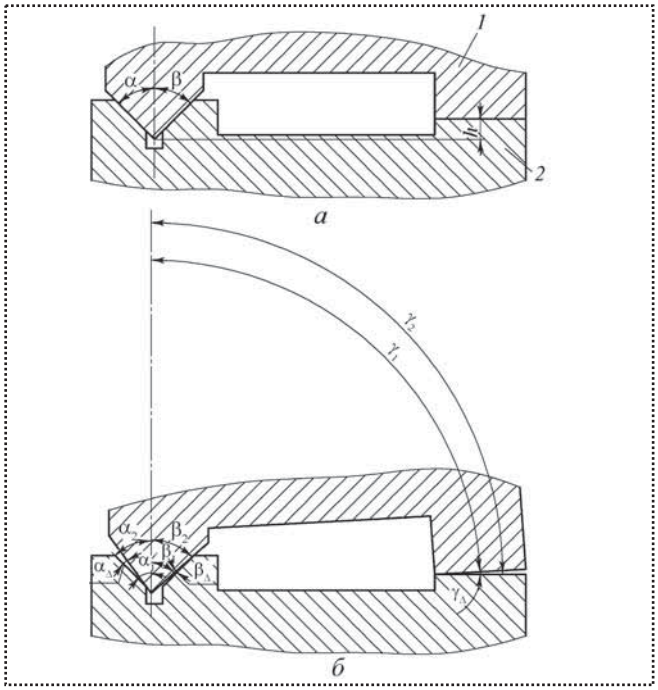

Рис. 1. Функционально связанные сборочные размерные цепи *α*, β, γ, *h*, обеспечивающие контакт поверхностей направляющих каретки *1* и стола *2*

одновременно по нескольким поверхностям, а сама точность их сопряжения определяется нормами контакта. Характерными примерами таких сопряжений являются сопряжения в подвижных узлах станков машин и приборов: каретки, столы, суппорты и др.

При объединении каретки со столом (рис. 1, *а*) необходимо обеспечить одновременный контакт (прилегание) поверхностей V-образных и плоских направляющих.

Задача решается с помощью размерных цепей α, β, γ, *h*. В этих цепях раскрытие стыка между контактирующими поверхностями определяется замыкающими звеньями α_Δ, β_Δ,γ_Δ (рис. 1, *б*).

Раздельное обеспечение точности каждой размерной цепи не имеет смысла. Следует заранее обе сопряженные детали изготовить очень точно в пределах жестко заданных допусков либо перейти на ручную пригонку шабрением. В процессе шабрения точность сопряжения поверхностей оценивается контактом по краске (по блеску точек). Контакт поверхностей может также проверяться по копоти (оружейное производство). Если чертежами предусмотрены нормы точности в виде норм контакта поверхностей, то это значит, что конструктором предлагается для достижения точности использовать ручную пригонку (шабрение, припиливание).

Если ставится задача механизировать пригонку, то в первую очередь необходимо перевести нормы контакта в допуски линейных и угловых величин, т.е. в традиционные нормы точности. Лишь после этого можно ставить вопрос о механизации пригоночных работ путем, например, сопряженной обработки.

В Тульском государственном университете разработана методика перевода норм контакта по копоти в допуски линейных и угловых величин [2, 3].

Основная идея методики перевода норм контакта по копоти в допуски линейных и угловых величин заключается во введении зависимости допустимого раскрытия стыка Δ от толщины красящего слоя $b_к$ и относительной площади пятна контакта Φ_0:

$$\Delta = \frac{100 b_к}{\Phi_0}.$$

Красящий слой для взаимно облегающих поверхностей, допускающих относительное скольжение друг по другу, наносят с помощью берлинской лазури, растертой с вазелином и машинным маслом.

Для поверхностей, только соприкасающихся друг с другом и не допускающих в силу конструктивных особенностей относительного скольжения, красящий слой наносят в виде копоти.

Первый способ используют, например, для проверки угла конуса инструмента. Угол конических поверхностей проверяют припасовкой детали конической пары по краске к калибру (тонкий слой краски наносят на коническую поверхность калибра или детали). Критерием годности детали является равномерное растирание всего слоя краски при тугих относительных поворотах калибра и детали («полная припасовка»), что будет иметь место в тех случаях, когда наносимый слой краски компенсирует разницу в углах конуса калибра и изделия, а также погрешности геометрической формы. Таким образом, точность контроля конусов по углу, а также по геометрической форме путем припасовки зависит от толщины наносимого слоя краски и ее постоянства. Толщина этого слоя не должна превышать 4 мкм при длине конуса до 100 мм и 6 мкм при длине конуса свыше 100 мм. Поскольку цветовой оттенок наносимой краски зависит от толщины ее слоя, то при известном навыке воспроизводить требуемую толщину слоя можно сравнительно легко и стабильно.

Для определения действительной толщины наносимого слоя краски ввиду невозможности непосредственной оценки этой величины В.Я. Эйдинов проделал следующий опыт [4].

Изготовили пять наружных конусов высотой 80 мм с конусностью, близкой к 0,05. Углы конуса отличаются друг от друга на 6″; если угол первого конуса

Таблица 1

Опытные данные разбраковки конусов по краске

Номер конуса	Разность углов втулки и конуса	Из каждых 100 проверенных	
		Годные	Негодные
1	δ	92	8
2	δ + 6″	51	49
3	δ + 12″	7	93
4	δ + 18″	3	97
5	δ + 24″	0	100

обозначить 2φ, то для остальных конусов углы будут соответственно: 2φ + 6″; 2φ + 12″; 2φ + 18″ и 2φ + 24″.

К конусу с углом 2φ тщательно припасовали коническую втулку; однако оказалось, что угол конуса втулки меньше 2φ. Обозначили этот угол $2\varphi_0$ и разность $2\varphi - 2\varphi_0$ обозначили δ.

Контролеру, занятому приемкой конических калибров, поочередно давали конусы (не в определенном порядке), предлагая определить проверкой по краске годность или негодность каждого конуса. Для припасовки у контролера имелась единственная втулка с углом $2\alpha_0$. Каждый из пяти конусов прошел 100 проверок, т.е. всего контролер провел 500 испытаний. Результаты опыта отражены в табл. 1.

Рассеивание результатов испытаний можно приписать непостоянству слоя краски, который наносит контролер. Измерили условно толщину слоя краски в величинах разности углов конусов и втулки, которые эквивалентны толщине слоя краски (т.е. слой краски, компенсирующий разность углов конуса, выражали условно в секундах).

Таблицу результатов испытаний можно трактовать следующим образом: в 92 случаях из 100 слой краски больше δ, в 51 случае из 100 — больше δ + 6″, в 7 случаях из 100 — больше δ + 12″ и т.д. Или вероятность того, что слой краски меньше δ + 12″, равна 0,93.

Можно предположить, что случайные значения толщины наносимого слоя краски подчиняются нормальному закону распределения, а номинальное значение толщины слоя краски соответствует 2,36 мкм.

Контроль пятна контакта по копоти является специфичным способом контроля точности сборки рабочих механизмов автоматических машин. Копоть как промежуточный красящий слой имеет собственную толщину почти на порядок выше, чем другие виды материалов аналогичного назначения. Это обстоятельство говорит о необходимости учета толщины слоя копоти как размерного фактора. Действительно, о достигнутой при сборке точности механизма (сборочной единицы) судят при наличии слоя копоти, являющегося в этот момент элементом размерного контура. В последующем состоянии механизма или изделия слой копоти как элемент размерного контура исчезает, и в сборочном соединении можно ожидать возникновения новых точностных характеристик. Насколько значительными окажутся такие изменения, можно судить по результатам дополнительного контроля, если таковой окажется возможным. Для оценки полноты контактного сопряжения деталей других способов контроля не предусмотрено, а проверка по другим параметрам данного размерного контура не гарантирует получение достоверной картины точностного состояния взаимодействующих деталей. По этой причине изучение разрешающей возможности контроля по копоти предусматривает определение ее фактических параметров, приемов и режимов выполнения контрольных операций.

Копоть представляет собой продукты сгорания смеси, в качестве которой могут быть использованы: керосин с добавкой машинного масла, очищенный керосин (без добавки масла) и т.п. Попытки отказаться от пламени при нанесении копоти и использовать для этой цели другие способы, например аэрозольное напыление, не привели к положительным результатам.

Копоть на контролируемую поверхность рекомендуется наносить при расположении ее на 20...30 мм над коптящим пламенем горелки. Для получения возможно более равномерного слоя деталь наклоняется под углом примерно 60° к пламени и ей сообщаются плавные возвратно-поступательные движения. Для получения сухой копоти важно расположить поверхность, на которую она наносится, именно над пламенем. Если же поверхность детали находится в зоне пламени, на ней осаждается жирная копоть, в которой вследствие неполного сгорания смеси содержится большое количество машинного масла. Такая копоть хорошо удерживается контролируемой поверхностью и, естественно, плохо облетает при сопряжении контролируемых поверхностей.

Определенные требования предъявляются и к состоянию поверхности, на которую наносится копоть. Она должна быть протерта сухой неворсистой тканью с целью удаления остатков металла после обработки и жировых остатков. Поверхность, подготовленную под нанесение копоти, нельзя трогать руками, так как мельчайшие капельки влаги и жира, имеющиеся на пальцах рук, образуют на поверхности детали своеобразный слой подложки. Наличие этого слоя способствует облетанию копоти при сопряжении поверхно-

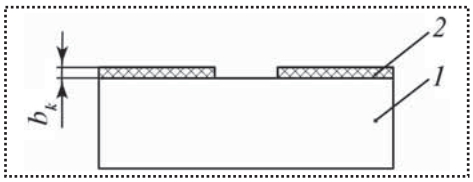

Рис. 2. Определение толщины слоя копоти непосредственным измерением

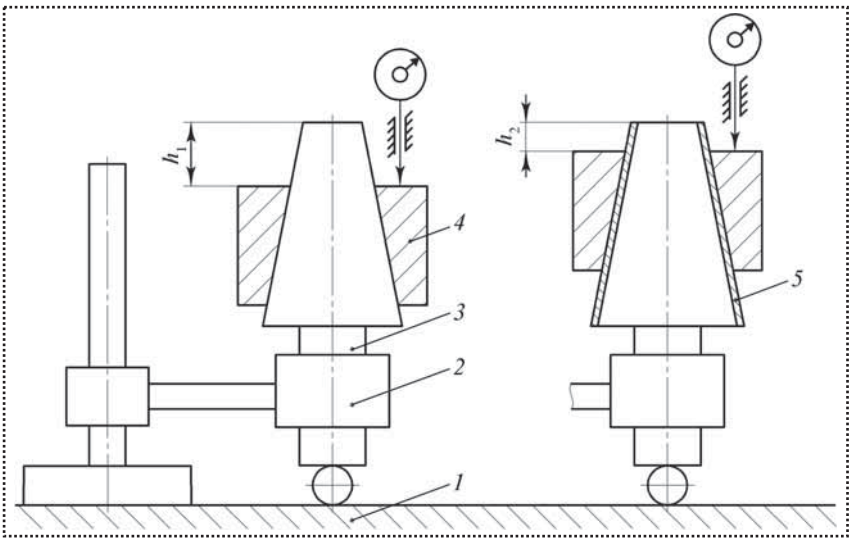

Рис. 3. Определение толщины слоя копоти по разнице заглублений конической втулки

стей даже с весьма отдаленных друг от друга участков поверхностей, создавая видимость хорошего контакта. На качество нанесения копоти существенное влияние оказывает и температура окружающей среды. Она должна быть не ниже 10 °С. При нанесении копоти в помещениях с температурой воздуха ниже 10 °С на контролируемой поверхности конденсируется влага, образующая слой подложки.

Толщина промежуточного красящего слоя (краски или копоти) определяет в то же время и точность, которая может быть достигнута в результате пригонки. Авторами был поставлен специальный эксперимент. В опытах применялась горючая смесь из технического керосина и масла, составленная в соотношении 1:15... 1:20. В этом случае получался слой копоти с максимальной толщиной 0,018...0,027 мм. Несколько меньшую толщину слоя копоти, равную 0,014...0,020 мм, можно было получить при использовании уайтспирита. Соблюдались выработанные практикой приемы нанесения копоти на поверхность деталей. Эти приемы, как показали опыты, оказались оптимальными.

В экспериментах толщина слоя копоти измерялась двумя способами:

1) непосредственным измерением на универсальном микроскопе;

2) с помощью спаренных калибров в виде пробки и втулки, применяемых для контроля конусов.

При реализации первого способа на поверхность мерной плитки *1* наносился слой копоти *2* (рис. 2), а затем часть его аккуратно счищалась лекальной линейкой, что давало возможность измерить толщину слоя копоти с помощью универсального микроскопа.

При реализации второго способа на столике *1* (рис. 3) универсального длинномера размещалась стойка *2* с закрепленной на ней конической пробкой *3*, с помощью которой измерялось положение торца надетой на нее втулки *4* (размер h_1).

Затем втулку снимали и на пробку наносили слой копоти *5*. Втулку надевали на закопченную пробку и вновь измеряли положение торца втулки (размер h_2). Толщина слоя копоти в этом случае определялась по формуле

$$b_к = (h_1 - h_2)\sin\alpha.$$

где α – угол конусности пробки.

Результаты эксперимента подтвердили известную из практики определенную связь между цветом копоти и ее толщиной. Значения толщины копоти в зависимости от ее цвета приведены в табл. 2. При проведении экспериментов установлено, что контролируемая поверхность просвечивается через слой копоти, если его толщина не превышает 0,010 мм.

Производственные наблюдения показали, что нанесение тонких слоев копоти (0,001...0,010 мм) представляет определенные трудности и требует соответствующего навыка. Практически контроль пятна кон-

Таблица 2

Зависимость толщины слоя копоти от ее цвета

Цвет слоя копоти	Толщина слоя копоти, мм
Серый	1...3
Светло-коричневый	4...5
Коричневый	6...8
Темно-коричневый	9...10
Черный, с коричневым отливом	11...13
Черный	14 и более

такта производится по черной копоти. Естественно, точность контроля в этом случае снижается.

Проверка и достижение контакта по копоти обязательно должны сопровождаться соударением сопрягаемых поверхностей. При соударении контактирующих поверхностей копоть облетает с выступающих участков и остается в глубоких впадинах. Таким образом, соотношение светлых и темных пятен на испытуемых поверхностях свидетельствует о полноте контакта. Из практики контроля полноты контакта сопрягающихся поверхностей по копоти известно, что соударение является неотъемлемым элементом процесса. Энергия соударения требуется тем большей, чем больше масса детали, с поверхности которой должна быть перенесена копоть на сопряженную поверхность другой детали. Специальных исследований по определению зависимости величины отпечатка от динамических параметров соударения не проводилось. Нет также специальных исследований по выяснению физики процесса переноса копоти с одной из сопряженных поверхностей на другую. Правда, такие исследования выходят за рамки технологических, и в основе принципов контроля по копоти пока что используется накопленный опыт.

Опытным путем установлено, что во всех случаях, если расстояние между противоположно удаленными точками на контактирующих поверхностях равно или меньше толщины слоя копоти, последняя при соударении облетает с поверхности. Следовательно, при полном облетании слоя копоти максимальная (для обеих сопрягаемых поверхностей) погрешность геометрической формы не превосходит толщины этого слоя. Об отличительных особенностях контроля пятна контакта по копоти и образования отпечатка, например, в сравнении с контролем по краске, свидетельствует тот факт, что осторожное осуществление контакта даже идеально изготовленных поверхностей приводит к противоположному эффекту, т.е. наличие контакта не фиксируется.

Соударение, как это уже отмечалось, приводит к образованию отпечатка. Однако при соударении происходит первичная приработка поверхностей в виде смятия микронеровностей, т.е. контрольное действие изменяет состояние контактирующих поверхностей. Следовательно, динамические параметры соударения не могут не влиять на последующий характер контактного процесса и, в частности, на контактное сближение взаимодействующих деталей.

Многочисленные наблюдения над процессом формирования точности выходных параметров собираемых автоматических машин при контроле по копоти полноты контакта поверхностей взаимодействующих деталей показали, что существует определенная закономерность: если расстояние между противолежащими точками на сопрягаемых поверхностях равно или меньше толщины слоя копоти, последняя при контроле облетает с поверхности. Таким образом, при полном облетании слоя копоти максимальная (для обеих сопрягаемых поверхностей) погрешность геометрической формы не должна превосходить его толщину.

В данном случае допуск замыкающего звена – это максимально возможный слой копоти, который облетает при сопряжении поверхностей, удостоверяя тем самым удовлетворительное качество их контакта.

На основании изложенного можно сделать вывод, что сама по себе задача достижения контакта между двумя поверхностями, как точностная, может быть интерпретирована схемой размерной цепи, где замыкающим звеном является расстояние между точками двух сопряженных поверхностей, измеренное по нормали к номинальной линии (поверхности) сопряжения.

В точностных задачах совокупность двух контактирующих поверхностей целесообразно представить в виде схемы размерной цепи, откуда могут быть выявлены требования к параметрам этих поверхностей.

Библиографический список

1. **Балакшин Б.С.** Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. 559 с.

2. **Размерный** анализ технологических процессов: учеб. пособие / И.А. Коганов, А.П. Никифоров, Б.И. Сотова и др. Тула: изд-во ТулГУ, 1988. 109 с.

3. **Технология** машиностроения. Специальная часть: учебник / М.Н. Бобков, Г.В. Гусев, А.Ю. Илюхин и др.; под ред. А.А. Маликова и А.С. Ямникова. Тула: изд-во ТулГУ, 2010. 388 с.

4. **Эйдинов В.Я.** Измерение углов в машиностроении. М.: Стандартгиз, 1963. 414 с.

УДК 628.91

С.А. Микаева, *д-р техн. наук,* **А.С. Микаева,** *аспирант*
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
E-mail: mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

Установки для обеззараживания воздуха и воды

Описано оборудование для обработки ультрафиолетовым излучением природной воды, сточных и оборотных вод единичной производительностью от 1 до 6000 м^3/ч, для дезинфекции воздуха и поверхностей производительностью от 20 до 35 000 м^3/ч. Номенклатура оборудования включает корпусные и модульные системы на основе высокоэффективных безозоновых амальгамных ламп.

The article presents UV equipment for treatment of natural, waste and recycled water with a capacity of 1…6000 m^3/h per unit as well as equipment for air and surface disinfection with a capacity 20…35 000 m^3/h per unit. The product line includes closed and module systems equipped with high-efficiency free of ozone amalgam lamps.

Ключевые слова: установка, ультрафиолетовое излучение, обеззараживание, доза облучения, вода, воздух, поверхность.

Keywords: system, UV irradiation, disinfection, UV dose, water, air, surface.

Установка (рециркулятор) РА-УФ (далее – установка) предназначена для обеззараживания воздуха помещений всех категорий соответствующих объемов согласно руководству "Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях" в присутствии и отсутствии людей. В присутствии людей в помещениях обеззараживание воздуха производится для предотвращения повышения уровня его микробной обсемененности (особенно в случаях высокой степени риска распространения заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем), в отсутствие людей в помещениях – для снижения микробной обсемененности воздуха (в качестве заключительного звена в комплексе санитарно-гигиенических мероприятий). Установка укомплектована амальгамной лампой производства ООО "СОВВ" (общество с ограниченной ответственностью "Системы обработки воздуха и воды", Москва). Установка выпускается в настенном исполнении для стационарного монтажа в помещении и подключается к однофазной сети напряжением 220 В переменного тока частотой 50 Гц с обязательным подключением заземляющего проводника. Температура воздуха при эксплуатации должна составлять от +10 до +35 °С. Для воздействия ультрафиолетового (УФ) излучения на живые микроорганизмы используется оптимальный для их инактивации диапазон длин волн – 250...280 нм. Зависимость относительной бактерицидной чувствительности микроорганизмов от длины волны УФ излучения показана на рис. 1.

Обеззараживание воздуха в установке происходит за счет воздействия на микроорганизмы бактерицидного УФ излучения с длиной волны 253,7 нм. Инактивация микроорганизмов происходит за счет сообщения им летальной дозы УФ облучения.

Доза облучения D или количество энергии, сообщаемое микроорганизмам, является главной характеристикой установки УФ обеззараживания. Она равна произведению средней интенсивности УФ облучения I на среднее время нахождения под облучением t:

$$D = It.$$

Значения поверхностной D_s и объемной D_V доз для некоторых микроорганизмов при двух уровнях бактерицидной эффективности представлены в таблице.

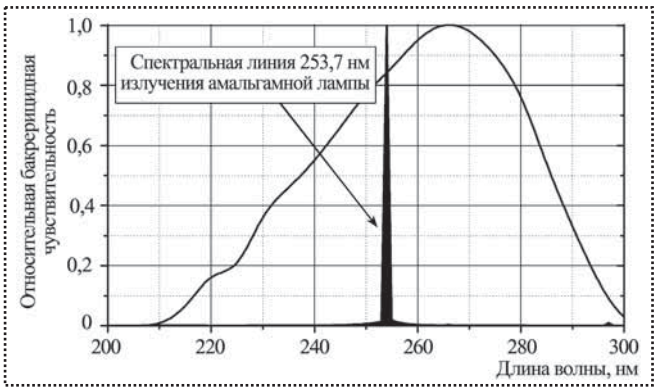

Рис. 1. Воздействие бактерицидного излучения на микроорганизмы

Значения поверхностной D_s и объемной D_V доз для некоторых микроорганизмов при бактерицидной дозе излучения $J_{бк}$, %

Вид микроорганизма	D_s, Дж/м^2 при $J_{бк}$		D_V, Дж/м^3 при $J_{бк}$	
	90 %	99,9 %	90 %	99,9 %
Bacillus Anthracis	45	87	118	507
Bacillus Subtilis	305	580	802	3380
Corynebacterium Dephtheriae	34	65	89	379
Escherichia Coli	30	66	79	385
Legionella pneumophila	20	38	53	221
Mycobacterium Tuberculosis	54	100	142	583
Pseudomonas Aeruginosa (environmental strain)	55	105	145	612
Pseudomonas Fluorescens	35	66	92	385
Salmonella Enteritidis	40	76	105	443
Salmonella paratyphoid (enteric fever)	23	61	60	356
Staphylococcus aureus	49	66	130	385
Influenza virus	36	66	95	385
Hepatitis virus	26	80	68	466
Poliovirus (Poliomyelitis)	110	210	289	1224
Rotavirus	130	240	342	1400
Paramecium	700	2000	1640	11660
Baker's yeast	48	88	126	513
Brever's yeast	36	66	95	385
Common yeast cake	73	132	192	770
Saccaharomyces var. ellipsoids	73	132	192	770
Saccaharomyces sp.	97	176	255	1026

Корпус установки (рис. 2) состоит из основания *3* и крышки *6*, под которой установлены бактерицидная УФ лампа *4* и два вентилятора *1*. Воздух из окружающей среды засасывается через входные жалюзи *5* и выводится через выходные жалюзи *11*. Для пуска и питания лампы используется электронный пускорегулирующий аппарат *10* (ЭПРА), расположенный внутри корпуса *3*. В целях предохранения ЭПРА и вентиляторов от воздействия УФ излучения внутри корпуса *3* установлена защитная решетка *9*. Профиль *2* выполняет функцию направляющей при монтаже крышки *6* и предотвращает выход УФ излучения на стыке корпуса и крышки. На задней стенке корпуса предусмотрены кронштейны *8* для крепления установки. Для заземления установки предусмотрена шпилька *12*, размещенная внутри корпуса. Для подключения установки к сети внутри корпуса расположена электрораспределительная колодка *17*. В ком-

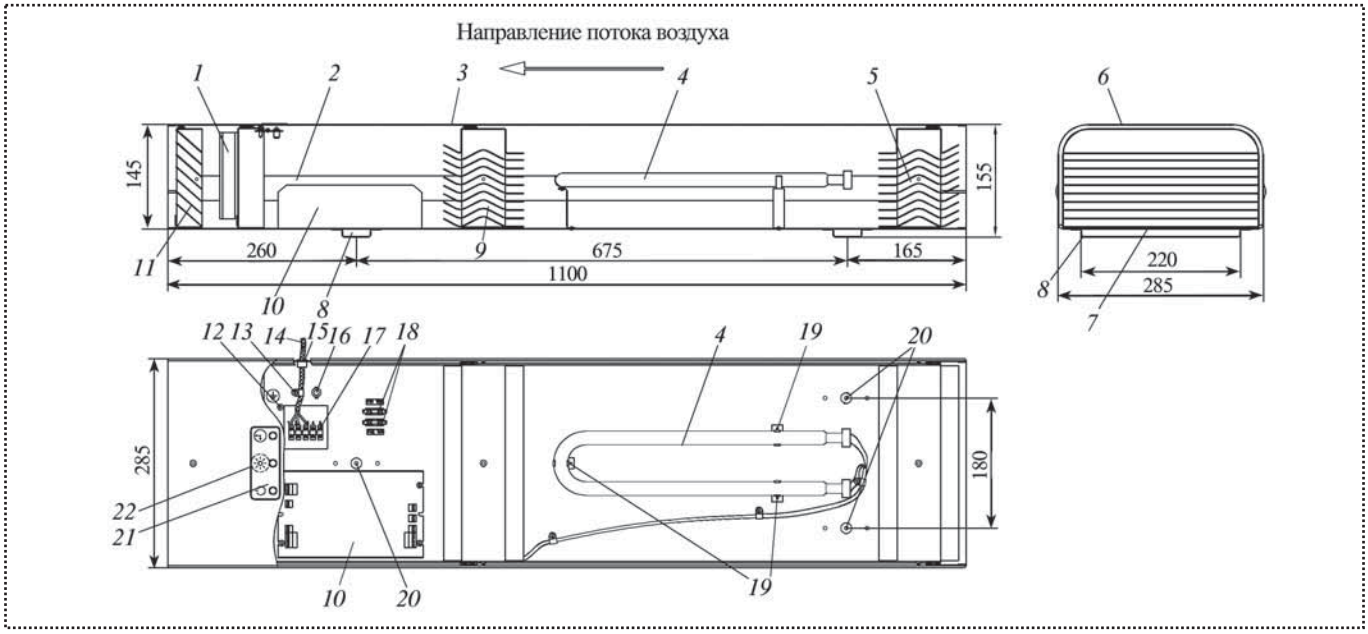

Рис. 2. Общий вид и габаритные размеры установки РА-УФ Б-170-1:
1 – вентилятор; *2* – профиль; *3* – основание корпуса; *4* – ультрафиолетовая лампа; *5* – входные жалюзи; *6* – крышка корпуса; *7* – основание корпуса; *8* – кронштейн; *9* – защитная решетка; *10* – электронный пускорегулирующий аппарат; *11* – выходные жалюзи; *12* – шпилька заземления; *13* – хомут для фиксирования кабеля питания; *14* – кабель питания; *15* – проходная втулка; *16* – втулка изолирующая с заглушкой; *17* – электрораспределительная колодка; *18* – предохранители; *19* – зажимы ультрафиолетовой лампы; *20* – отверстия для крепления диаметром 7 мм; *21* – лицевая панель с элементами сигнализации и контроля работы установки; *22* – устройство обнуления счетчика времени наработки

плект поставки рециркулятора входит магнитное устройство *22* обнуления счетчика времени наработки. Установка снабжена лицевой панелью *21* с элементами световой сигнализации включения в сеть, контроля работы и ресурса лампы, которая осуществляется при помощи светосигнальных индикаторов.

В качестве источника бактерицидного УФ излучения в установке применяется газоразрядная амальгамная лампа *4*.

Установка работает по следующему принципу: воздух из окружающей среды засасывается через входные жалюзи *5*, проходит через зону воздействия УФ излучением, под действием которого обеззараживается, и удаляется через выходные жалюзи *11*. Для обеспечения движения воздуха используются вентиляторы *1*. Для повышения эффективности использования УФ излучения часть внутренней поверхности корпуса выполнена как отражатель. Расположенные в корпусе установки жалюзи *5*, *11* и профиль *2* предотвращают выход УФ излучения наружу.

Установку размещают в закрытом помещении на стенах по ходу основных потоков воздуха (в частности, вблизи отопительных приборов) на высоте не менее 2 м от пола (рис. 3).

Установка рассчитана на непрерывную работу в помещении в течение рабочего времени. Работа установки в присутствии людей обеспечивает снижение уровня микробной обсемененности воздуха в помещениях объемом до 170 м^3. Для обеспечения снижения уровня микробной обсемененности воздуха в помещениях большего объема число установок следует увеличивать пропорционально увеличению объема помещения. При включении бактерицидного рециркулятора на ограниченный период времени минимальную продолжительность его работы $T_{мин}$ рекомендуется определять таким образом, чтобы обеспечивать как минимум однократное прохождение всего объема воздуха помещения $V_п$ через рециркулятор. Например, для помещения объемом 150 м^3 рекомендуемая минимальная продолжительность работы $T_{мин}$ рециркулятора производительностью $Q_{рец}$ = 200 м^3/ч составит:

$$T_{мин} = V_п / Q_{рец} = 150/200 = \\ = 0{,}75 \text{ ч} = 45 \text{ мин.}$$

Целесообразно совмещать включение бактерицидных рециркуляторов с проведением ежедневных уборок перед началом функционирования помещения, так как в процессе уборки может происходить интен-

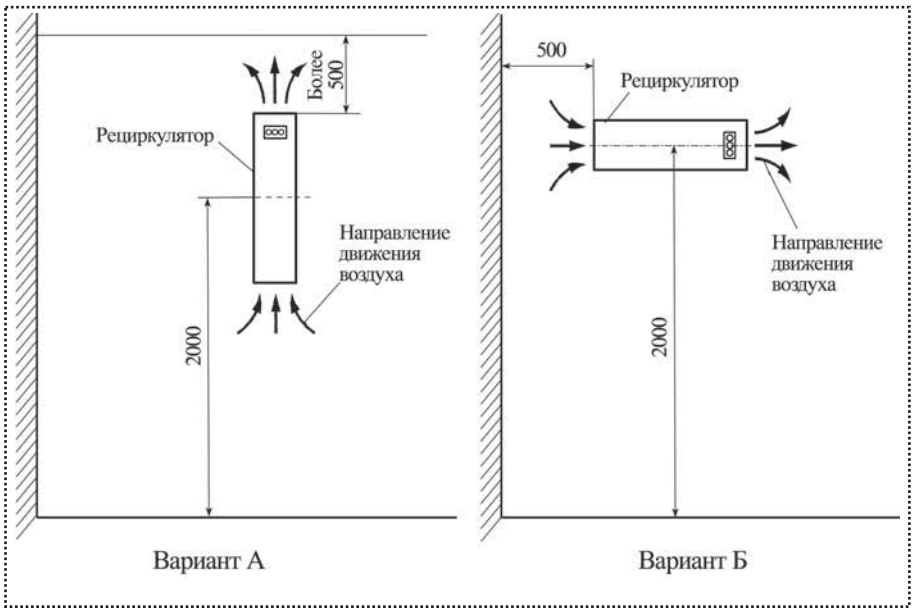

Рис. 3. Варианты размещения рециркуляторов в помещении

сивное микробиологическое загрязнение воздуха. Применение установок РА-УФ обеспечивает снижение уровня микробной обсемененности воздуха, находящегося в объеме помещения, однако не заменяет регулярного проветривания и текущих мероприятий по уборке и дезинфекции поверхностей.

Установки для обеззараживания воды. Установки, предназначенные для обеззараживания воды, применяют: в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения; в технических системах промышленных предприятий; в плавательных бассейнах (в том числе использующих морскую воду). Обеззараживание воды в установке происходит за счет воздействия на микроорганизмы бактерицидного УФ излучения с длиной волны 254 нм. Инактивация микроорганизмов происходит за счет сообщения им летальной дозы УФ облучения. Физико-химические и микробиологические показатели качества воды, поступающей на обеззараживание, не должны превышать значений, для которых была определена доза облучения. Температура воды должна составлять 0...40 °С. Использование установки при более высокой температуре воды должно быть согласовано с предприятием-изготовителем. Установка состоит из камеры обеззараживания *3* с установленным на ней УФ датчиком, блоков ЭПРА *2*, промывки *4* и пульта управления *1* (рис. 4).

Обрабатываемая вода поступает в камеру обеззараживания, где подвергается воздействию УФ излучения газоразрядной ртутной лампы (в дальнейшем – лампа), помещенной в защитный кварцевый чехол.

Камера обеззараживания (рис. 5) состоит из корпуса *4* цилиндрической формы с патрубками *3*, *5*, *6*. Внутри корпуса установлена ртутная бактерицидная лампа *13*, помещенная в защитный кварцевый чехол *14*, герметично закрепленный в отверстиях стенок корпуса при помощи лампового уплотнения *8*. Вода подается в камеру обез-

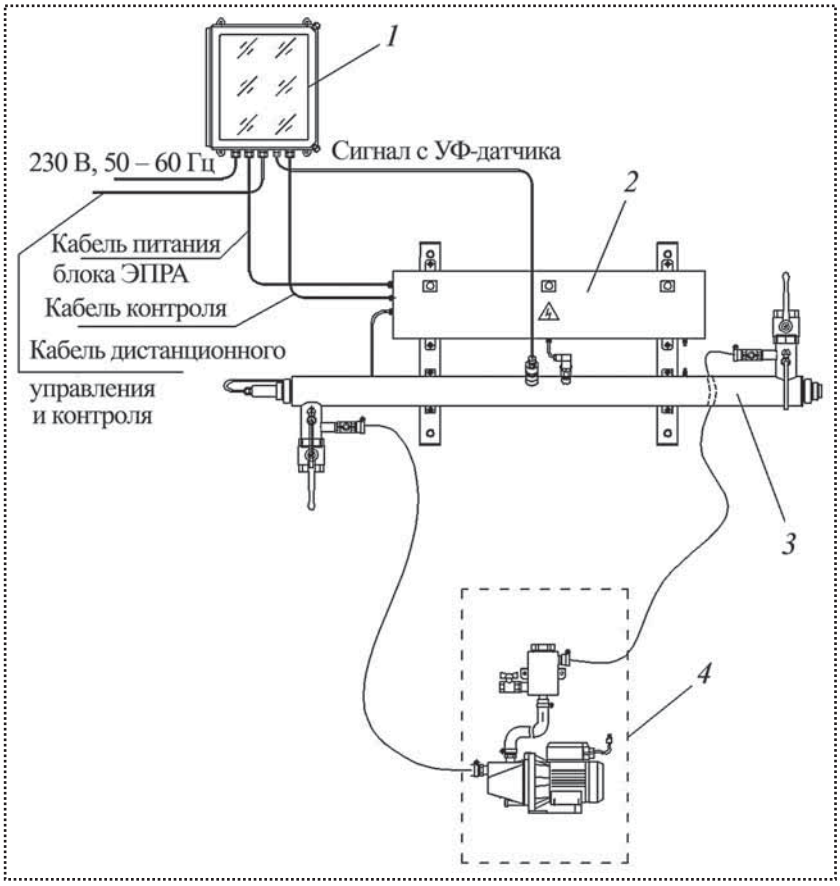

Рис. 4. Установка обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением: *1* – пульт управления; *2* – блок ЭПРА; *3* – камера обеззараживания; *4* – блок промывки

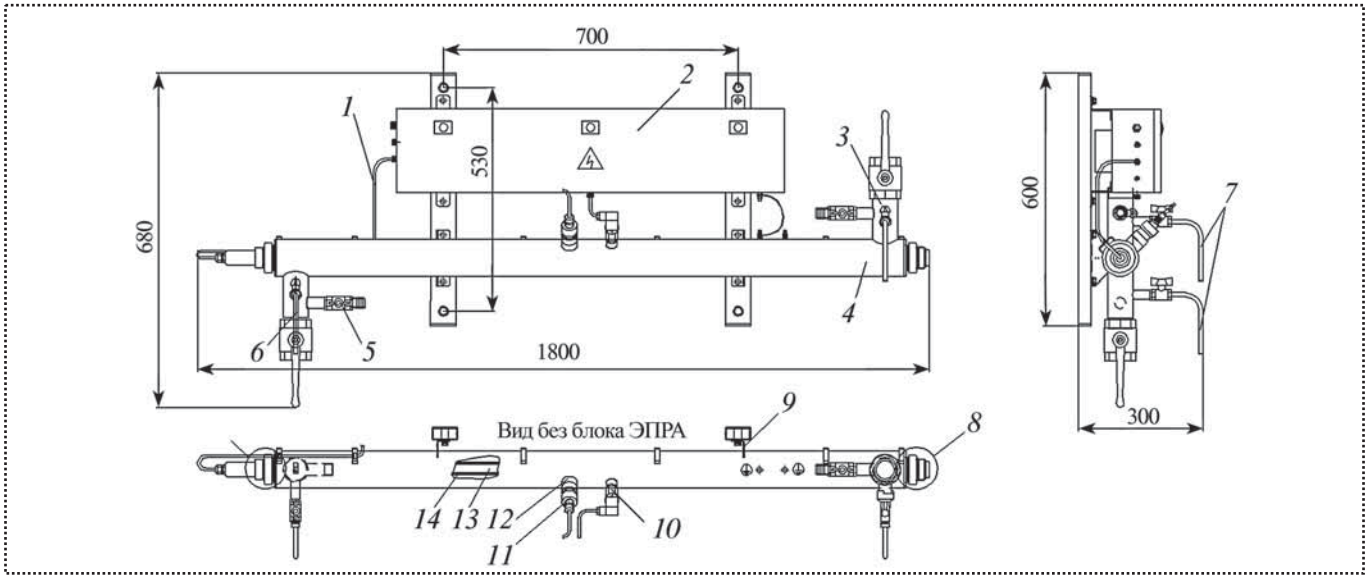

Рис. 5. Составные части камеры обеззараживания:
1 – кабель ламповый; *2* – блок ЭПРА; *3*, *6* – патрубки входа и выхода; *4* – корпус камеры обеззараживания; *5* – патрубки промывочные; *7* – пробоотборники; *8* – ламповое уплотнение; *9* – кронштейн; *10* – датчик температуры; *11* – датчик УФ излучения; *12* – тубус датчика УФ излучения; *13* – бактерицидная лампа; *14* – защитный чехол

зараживания через входной патрубок, обтекает кварцевый чехол и под воздействием УФ излучения расположенной в нем лампы обеззараживается. Обработанная вода поступает в выходной патрубок и используется по назначению.

На входном и выходном патрубках расположены пробоотборники *7*, предназначенные для отбора проб воды на химические и микробиологические анализы. Пробоотборники также предназначены для впуска и выпуска воздуха при заполнении и опорожнении установки. На патрубках камеры обеззараживания расположены патрубки *5* с промывочными кранами для проведения промывки установки. Камера закрепляется на стене или раме через отверстия в кронштейнах в вертикальном или горизонтальном положении. На корпусе камеры обеззараживания имеется тубус *12*, в который вставлен датчик *11* УФ излучения (далее УФ датчик).

Питание лампы осуществляется через кабель *1*, идущий от блока ЭПРА к лампе через ламповое уплотнение. Пульт управления состоит из корпуса и прозрачной крышки, которая открывается на петлях и закрывается с помощью защелок. Под крышкой находится передняя панель, на которой расположены элементы контроля и управления. Передняя панель закрывается с помощью дверной ручки. Внутри корпуса установлены: плата автоматики и индикации, автоматический выключатель, клеммный блок, стартер, аппарат пускорегулирующий и плата контроля работы ламп. В нижней части корпуса находятся кабельные вводы и гермоввод для подключения УФ датчика.

В установке реализованы две системы контроля:

- контроль напряжения на блоке ЭПРР и бактерицидной лампе с помощью датчика контроля и платы автоматики и индикации;
- контроль интенсивности УФ излучения с помощью УФ датчика и платы автоматики и индикации.

Для обеспечения контроля интенсивности УФ излучения в корпус камеры вмонтирован тубус для размещения в нем УФ датчика, состоящего из корпуса со сферическим окошком из кварцевого стекла, разъема и соединительного кабеля. Сигнал с УФ датчика подается в блок ЭПРА. Расстояние между сферическим кварцевым окном датчика и кварцевым чехлом, а также радиус сферического окошка выбраны таким образом, что изменения показаний датчика корректно учитывают не только снижение уровня интенсивности УФ излучения при загрязнении кварцевых чехлов и выработке ресурса ламп, но и интенсивности при изменении коэффициента пропускания сточных вод на длине волны $\lambda = 254$ нм.

Основным чувствительным элементом является фотодиод с кристаллом карбида кремния SiC, применение которого обеспечивает селективность измерения на требуемой длине волны выше 99 %. Кроме того, этот кристалл обладает уникальными эксплуатационными характеристиками и обеспечивает сохра-

нение коэффициента преобразования в широком диапазоне температур.

Фотодиод смонтирован на расположенной в корпусе датчика плате, усиливающей и преобразующей сигнал датчика, что повышает его помехоустойчивость при передаче сигнала.

Для обеспечения герметичности датчика сферическое кварцевое окошко уплотнено в корпусе тремя резиновыми кольцами.

Схема подключения установки должна быть такой, чтобы в процессе работы камера обеззараживания не опорожнялась, и кварцевый чехол не высыхал.

В помещении, где монтируется блок промывки, температура окружающего воздуха должна находиться в пределах от 1 до 40 °С, влажность – не более 80 %. Промывочные шланги подсоединяют к промываемой установке и блоку промывки в соответствии с монтажным чертежом установки, и затягивают хомутами.

В процессе эксплуатации установки необходимо контролировать:

- микробиологические показатели эффективности обеззараживания;
- интенсивность УФ излучения;
- расход воды через установку;
- исправность УФ ламп;
- время наработки УФ ламп.

Результаты микробиологических исследований проб воды, отобранной после УФ обеззараживания, являются основными показателями, определяющими эффективность работы установки.

Высокая эффективность УФ облучения в отношении таких показателей, как вирусы и цисты простейших, делает этот метод незаменимым элементом современной системы подготовки питьевой воды из подземных и поверхностных водоисточников. УФ обеззараживание сточных вод позволяет полностью отказаться от хлорирования и связанного с ним реагентного хозяйства, обеспечивает эффективное обеззараживание по всем микробиологическим показателям и исключает поступление в водоемы побочных и остаточных продуктов.

Библиографический список

1. **Микаева С.А.** Информационно-измерительные приборы на базе компактных люминесцентных ламп. М.: Инженерная физика, 2007. № 3. С. 41–42.

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ:

учебное пособие

А.Ю. Выжигин

М.: Машиностроение, 2009 – 288 с. **Цена 462 р. с НДС**

В учебном пособии дано общее представление об организации и элементах ГПС, рассмотрена производственно-техническая структура и основные элементы гибких автоматизированных производств, критерии гибкости ГПС, приведена классификация промышленных роботов и их приводов. Рассмотрены типы и технические средства транспортно-накопительных систем, технические средства и системы управления автоматическими транспортно-накопительными системами. Рассмотрены различные типы складов, методика расчета функционирования складской системы. Описаны системы управления ГАП и системы автоматического контроля, приведены примеры реализации ГПС. Также показаны основные средства автоматизации и пути повышения производительности оборудования в условиях автоматизированного производства. Дополнительно рассмотрены методики расчета динамики некоторых типов пневматических приводов промышленных роботов и их применение в автоматизированном комплексе для многопереходной штамповки.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности "Технология приборостроения". Представляет интерес для широкого круга специалистов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в ООО "Издательство Машиностроение" в отдел продаж, маркетинга и рекламы: по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

Промышленные достижения на Петербургской технической ярмарке 2012 г.

С 13 по 15 марта 2012 г. состоялась Петербургская техническая ярмарка, включившая в себя ряд международных выставок и конференций по металлургии, металлообработке, машиностроению и промышленным инновациям.

Ярмарка 2012 г. превзошла предыдущие проекты по масштабу, уровню деловых мероприятий и числу участников и посетителей. Свои достижения в индустриальной сфере на площади 7 760 м^2 представили около 600 ведущих компаний из 16 стран мира, в том числе из Российской Федерации.

Все дни на ярмарке работали специализированные выставки. Посетители оценили насыщенность экспозиции новинками, охватывающими широкий спектр отраслей промышленности и науки, а экспоненты отметили несомненную пользу мероприятия в продвижении своей продукции. Так, компании "Измерительные технологии" и "Тапко-М" прямо на выставке заключили контракты на поставку оборудования.

Современные металлообрабатывающие станки, инструмент для обработки металла и прочую продукцию представили участники выставки **"Обработка металлов"**: ГК "Robur International", ООО "Полимет-Сервис", ООО "Дека", ЗАО "Ирлен-Инжиниринг", ООО "Си Эл Инжиниринг и Ко" и др. Многое оборудование можно было не только увидеть, но и опробовать его в действии. Так, на стенде компании "Абамет" всех гостей ждала премьера комплекса лазерной резки Mitsubishi с "летающей оптикой", а компания "Дюкон" презентовала ленточнопильное оборудование Си Эл Инжиниринг и KoBomar.

В выставке **"Металлургия. Литейное дело"** приняли участие крупнейшие предприятия отрасли, среди которых: завод "Красный Выборжец", Металлургический завод "Электросталь", Воткинский завод термического оборудования и др. Компания "Термосталь" представила на выставке технологии и отливки по выплавляемым моделям, Боровичский комбинат огнеупоров – новый импортозамещающий высокоглиноземистый цемент, необходимый для производства высокоэффективных бетонных изделий и смесей для черной и цветной металлургии. На стенде Новокраматорского машиностроительного завода специалисты смогли ознакомиться с последними разработанными и внедренными проектами реконструкции металлургических агрегатов для предприятий РФ.

Еще одно направление на Ярмарке представили экспоненты выставки **"Машиностроение"**. Насосное оборудование, смотровую арматуру, комплектующие для станков, пружины, уплотнения и многое другое можно было увидеть на стенде ООО "Хеннлих". Компания "Бауэр Компрессоры", известный мировой производитель компрессоров, представила на ярмарке свою продукцию, ООО "Центр лазерных технологий" – широкую линейку промышленного оборудования по лазерной обработке различных материалов, в том числе оборудования для маркировки "на лету".

Впервые в рамках ярмарки прошла выставка **"Крепеж"**. Принявшая участие в выставке группа предприятий "Северсталь-метиз" положительно оценила старт данного проекта. Несколько сотен контактов с потенциальными партнерами, экспонентами и гостями мероприятия, уже находятся у предприятия в активной разработке. На стенде компании можно было ознакомиться с широким ассортиментом продукции для машиностроения и станкостроения: прокатом, крепежными изделиями различного назначения, в том числе новыми видами высокопрочного крепежа с защитными покрытиями – термодиффузным и горячеоцинкованным.

Участники выставки **"Услуги для промышленных предприятий"** представили различное оборудование и ряд услуг, необходимых и востребованных сегодня производителями промышленной продукции. Так, "Фабс Логистик" продемонстрировал автоматизированную вертикальную систему хранения, а "Синто" – энергоэффективные модульные элементы для инженерных систем зданий и сооружений в части теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения. Предприятие "СИБУР Холдинг", представив невостребованное имущество компании, стало первооткрывателем тематического раздела "Неликвиды", который был впервые заявлен в рамках ярмарки.

Инновационный блок на ярмарке представила 18-я специализированная выставка **"Высокие технологии. Инновации. Инвестиции" (Hi-Tech).** Традиционно на выставке не было недостатка в инновациях: свои разработки представили организации Российской академии наук (РАН), предприятия и вузы Уральского и Сибирского отделений РАН и другие научные компании, вузы и НИИ. На стенде предприятия "Сайберком" специалисты могли увидеть применение технологии 3D-сканирования для разработки объектов машиностроения. Компания "Фактория ЛС" представила установку вакуумно-дуговой очистки поверхности металла, а компания "Келеген" – новое поколение сканирующих зондовых нанотвердомеров для измерения объектов большого размера.

Задачей ярмарки была не просто демонстрация новинок оборудования и технологий, но и содействие установлению прямого контакта между разработчиками, производителями высокотехнологичной продукции и представителями промышленного бизнеса. Реализации данной задачи во многом способствовал **Петербургский промышленный конгресс,** главное событие деловой программы ярмарки. За три дня в мероприятиях конгресса приняли участие более 1000 специалистов. Его работу открыла Пленарная дискуссия: "Технологическое будущее России. Станет ли 2012 год открытием эры "умных заводов"?", организованная Комитетом экономического развития, промышленной политики и торговли и Фондом "Центр стратегических разработок "Северо-Запад". Особое место в программе было отведено проведению Ассамблеи главных технологов машиностроительных предприятий "Новые технологии и материалы". Специалисты могли увидеть применение технологии 3D-сканирования для разработки объектов машиностроения. Всего в рамках конгресса прошло более 10 различных мероприятий. Подробную информацию по деловой программе смотрите на сайте *www.ptfair.ru* в разделе Итоги 2012.

В последний день работы ярмарки были подведены итоги конкурса "Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года", в котором приняли участие 125 организаций России, Украины и Беларуси, представив 270 проектов и разработок. Наивысшая награда конкурса, Гран-При, была присуждена НП "Северо-Европейский космический консорциум", ЗАО "Арсенал-207" за разработку рулевого привода маршевого двигателя космического ракетоносителя среднего класса повышенной грузоподъемности. Специальными призами в различных номинациях были награждены: ФГБО ВПО "Санкт-Петербургский государственный горный университет", ФГБУ "Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, ООО "Фактория-ЛС", ОАО "Обнинское научно-производственное предприятие "Технология", НИУ "Научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий" Белорусского государственного университета. Подробную информацию по конкурсу смотрите на сайте *www.ptfair.ru* в разделе Итоги 2012.

На одной площадке с Ярмаркой прошел VI Петербургский Партнериат "Санкт-Петербург – регионы России и зарубежья. Межрегиональное и международное сотрудничество малого и среднего бизнеса", который посетили делегации из 58 регионов России (из них 18 приняли участие в выставочной экспозиции регионов России) и 8 зарубежных стран – Финляндии, Эстонии, Франции, Мальты, Венгрии, Латвии, Германии, Турции. Всего за три дня в мероприятиях Партнериата приняли участие более 1500 специалистов. На бирже деловых контактов состоялось более 1000 деловых встреч. В консультационном бизнес-центре специалистами было проведено более 570 консультаций.

Мероприятия Петербургской технической ярмарки прошли при поддержке Аппарата полномочного представительства Президента РФ по СЗФО, Министерства промышленности и торговли РФ, Правительства Санкт-Петербурга, Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга, Союза машиностроителей России, Санкт-Петербургской торгово-промышленной палаты, под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ.

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 09.04.12 г. Подписано в печать 10.05.12 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,83. Заказ 234. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.