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

9 2014 (170)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Иванов А.А. Оптимизация использования ресурсов промышленного предприятия методом линейного программирования . . . 3

Розинов А.Я., Вакулов П.С., Анухин В.И. Технико-экономическая эффективность совершенствования сборки судовых трубопроводов на основе технологического применения сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов . . . 6

Сборочное оборудование и его элементы

Елагин М.Ю., Сидоров Е.М. Определение минимальной частоты вращения ротора пневматического гайковерта . . . 11

Современные технологии сборки

Березин С.Я., Кулеш И.М. Влияние ультразвука на контактные напряжения деформации материала в процессах сборки соединений с крепежно-резьбо-образующими деталями . . . 13

Иванов А.А. Основные принципы автоматической сборки . . . 18

В помощь конструктору, технологу

Безвесильная Е.Н., Нечай С.О., Остапчук А.А., Ткачук А.Г. Определение методических погрешностей и цифровое моделирование сборочной авиационной гравиметрической системы . . . 23

Широкий А.В., Кристаль М.Г. Модели распределения случайных интервалов времени между предметами производства в транспортных потоках сборочного оборудования . . . 28

Питание сборочных линий. Комплектация. Складирование. Упаковка

Бурцев Д.В., Давыдова Е.В., Прейс В.В. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами . . . 33

Разное

Бохоров И.О., Карабанов В.В. Изготовление и пайка декоративных предметов интерьера . . . 37

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.

Председатель редакционного совета

Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА

А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.
А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
А.В. МЕДАРЬ, д.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН
В.В. ПОРОШИН, д.т.н., проф.
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.А. ШАТИЛОВ, к.т.н., доц.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.
Г.А. ЯРКОВ, инж.

Региональные советы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

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

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

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

КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.

НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

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

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

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

САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ, д.п.н., проф.
Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц.
В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.

ТУЛА
В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф.

Украина

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

ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

Беларусь

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

ГОМЕЛЬ
В.Е. СТРАЖИНСКИЙ, д.т.н.

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

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", 2014

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

9 2014 (170)

СОДЕРЖАНИЕ

Economy and the organization of assembly

Ivanov A.A. The optimization of using of the industrial enterprise resources by the linear programming method 3

Rosinov A.Ya., Vakulov P.S., Anuchin V.I. Technical-economic efficiency improvement build pipelines on the basis of technological use the bellows sdviga swivel joints 6

Production tools and machinery for assembly

Elagin M.Yu., Sidorov E.M. Definition minimum rotor speed pneumatic nutrunners. . .11

Modern technologies in assembly

Berezin S.Ya., Kulesh I.M. Contact tension of a deformable material and influence of ultrasound on them at assembly of connections with self-tapping parts 13

Ivanov A.A. Main principles of the automatic assembly 18

Industrial and design engineer's aid

Bezvesilnaya E.N., Nechay S.O., Ostapchuk A.A., Tkachuk A.G. The definition of methodical errors and digital modeling the assembly aviation gravimetric system 23

Shirokov A.V., Kristal M.G. Models of the random distribution time intervals between production objects in the assembly equipment production lines 28

Feeding of assembly lines. Packaging arrangement. Stocking. Packing

Burtsev D.V., Davidova E.V., Preys V.V. The mathematical model of the productivity of the disk hopper feeding device with radial profile sockets 33

Different

Bokhorov I.O., Karabanov V.V. Manufacture and soldering decorative objects of the interior 37

Journal is distributed on subscription, whith can be issues 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@machin.ru
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials . is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

Chair of Editorial Advisory Board —
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW
A.S. VASIL'EV (Chief editor)
M.V. VARTANOV
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
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
V.A. NIKOLAEV
ST.-PETERSBURG
V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV
SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA
TOLIATI
A.I. RYZHKOV
TULA
V.V. PREYS
KHABAROVSK
V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO
DONETSK
A.N. MIKHAILOV

Belarus

MINSK
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ
GOMEL
V.E. STARZHINSKI
POLAND
P.LEBKOVSKI
E. LUNARSKI

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 IE . 77-1747, February 25, 2000 Free price

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2014

УДК 658.527.011

А.А. Иванов, *д-р техн. наук*
(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)
E-mail: ivanov_aa@nntu.nnov

Оптимизация использования ресурсов промышленного предприятия методом линейного программирования

При решении задачи оптимального управления производственно-экономическими системами, в частности задачи об оптимальном использовании ресурсов промышленного предприятия (сырье, материалы, оборудование, энергетика, рабочая сила и т.д.) чаще всего используют метод линейного программирования, с помощью которого находят экстремум целевой функции с учетом заданных ограничений. Математическая модель задачи линейного программирования дается в линейной форме и включает уравнение целевой функции и систему ограничений обычно в форме неравенств.

The linear programming method is often used for solving the problem of the optimal production and economic systems control, in particular, the problem of the optimal use of resources of the enterprise (raw materials, supplies, equipment, energy, labor, etc.). The extremum the objective function according to the defined restrictions is calculated using this method. The mathematic model of the linear programming problem is given in linear form and includes the equation of the objective function and system of restrictions usually in the form of inequalities.

Ключевые слова: метод линейного программирования, целевая функция, система ограничений.

Keywords: linear programming method, objective function, system of restrictions.

Введение

При решении задачи оптимального управления производственно-экономическими системами, в частности задачи об оптимальном использовании ресурсов предприятия (сырье, материалы, оборудование, энергетика, рабочая сила и т.д.) чаще всего используют метод *линейного программирования* (ЛП), с помощью которого находят экстремум целевой функции с учетом заданных ограничений.

Для решения задачи ЛП классические методы математического анализа не применимы, так как частные производные целевой функции (ЦФ) не обращаются в ноль одновременно и, следовательно, экстремум внутри области определения ЦФ не достигается [2].

Математическая модель задачи линейного программирования дается в линейной форме и включает уравнение целевой функции $L \to \text{extr}$ и систему ограничений обычно в форме неравенств. Если, например, при оптимизации решается задача снижения себестоимости (С) выпускаемой продукции (следовательно, экономного расходования ресурсов), то ЦФ имеет вид $\min L_{\text{с}}$, а если увеличения прибыли (П) от реализации продукции, то ЦФ будет $\max L_{\text{п}}$. Из формулы структуры цены (Ц) на продукцию Ц = П + С = const видно, что увеличение прибыли напрямую связано со снижением себестоимости [1, 2].

Постановка задачи линейного программирования

Пусть имеется m видов ресурсов в количествах соответственно $b_1, b_2, ..., b_m$. С помощью этих ресурсов можно произвести n видов продукции в количествах $x_1, x_2, ..., x_n$. Известна норма затрат a_{ji} каждого j-го вида ресурса b_j на единицу каждого i-го вида продукции x_i и прибыль p_i от ее реализации (или себестоимость c_i единицы продукции). Требуется определить, какое количество каждого i-го вида продукции надо произвести, чтобы получить максимальную прибыль (или обеспечить минимальную себестоимость).

Математическая модель задачи оптимизации имеет вид:

целевая функция $$L_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \to \max;$$

система ограничений $$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} a_{ji} x_i \leqslant \sum_{j=1}^{m} b_j;$$

$$x_i \geqslant 0;\ b_j \geqslant 0,$$

где $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$.

Целевая функция по себестоимости равна

$$L_c = \sum_{i=1}^{n} \tilde{n}_i x_i \to \min.$$

Система ограничений в развернутом виде имеет вид

$$\left.\begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n \leqslant b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n \leqslant b_2; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \leqslant b_m. \end{array}\right|$$

Систему ограничений можно представить в виде равенств, введя дополнительные переменные. Например, введя переменную x_{n+1}, получим равенство $\sum_{i=1}^{n} a_{ji}x_i = b_j$.

В этом случае получаем $m < n$, где m — число уравнений, а n — число переменных. Для решения задачи обычными алгебраическими методами необходимо избыточные переменные положить такими, чтобы $n - m = 0$. Эти переменные называют *свободными*. Оставшиеся m переменных называют *базисными* при условии, что определитель из коэффициентов при m неизвестных не равен нулю. Если это условие не выполняется, то нулю следует приравнять другие $n - m$ переменных. Решение уравнений с базисными переменными называется *базисным*.

Базисное решение системы из m уравнений будет допустимым (опорным), если все базисные переменные $x_i \geqslant 0$. Решение задачи линейного программирования заключается в том, чтобы среди всех опорных базисных решений выбрать такое, при котором целевая функция L достигает экстремума. Этот результат достигается с помощью *симплекс-метода*.

Геометрическая интерпретация задачи линейного программирования

Пусть математическая модель задачи имеет вид: целевая функция

$$L = x_1 - x_2 \to \max;$$

система ограничений

$$-2x_1 + x_2 \leqslant 2;$$

$$x_1 - 2x_2 \leqslant 2;$$

$$x_1 + x_2 \leqslant 5.$$

Добавим новые переменные (x_3, x_4, x_5) и запишем ограничения в виде равенств

$$-2x_1 + x_2 + x_3 = 2;$$

$$x_1 - 2x_2 + x_4 = 2;$$

$$x_1 + x_2 + x_5 = 5.$$

Систему равенств разрешаем относительно переменных: x_3, x_4, x_5, которые выбираем в качестве базисных. Тогда переменные: x_1, x_2 будут свободными:

$$x_3 = 2 + 2x_1 - x_2;$$

$$x_4 = 2 - x_1 + 2x_2;$$

$$x_5 = 5 - x_1 - x_2.$$

При значениях $x_1 = x_2 = 0$ базисные переменные удовлетворяют условию неотрицательности. Чтобы проиллюстрировать решение задачи в двухмерном пространстве, на плоскости в координатах свободных переменных x_1, x_2 построим прямые x_3, x_4, x_5, задавая соответственно $x_3 = 0$, $x_4 = 0$, $x_5 = 0$ (см. рисунок). В результате получим многоугольник 0*dcbg* базисных решений, вершины которого представляют опорные базисные решения, причем в каждой вершине многоугольника сразу две базисных переменных равны нулю. Линия целевой функции L проходит под углом 45°, так как коэффициенты при свободных переменных x_1 и x_2 равны.

Координаты вершины b многоугольника *0dcbg* соответствуют max $L = 4 - 1 = 3$. Координаты других вершин дают меньшие значения L.

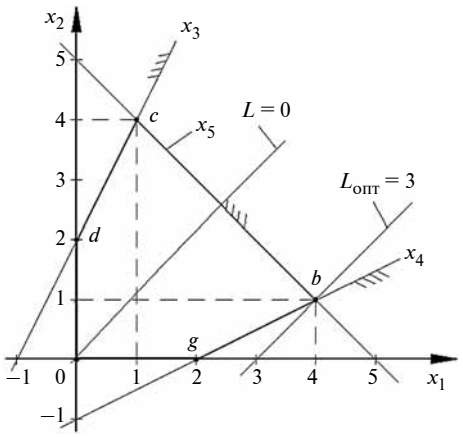


Схема построения многоугольника базисных решений

Симплекс-метод

Процедура симплекс-метода (СМ) заключается в последовательном вычислении решений, находящихся в вершинах многоугольника (для плоскости) или многогранника (для объема), образующего область допустимых решений. С помощью СМ просматривают небольшую часть решений из множества возможных с быстрым выходом на extr L. Приведем укрупненный алгоритм симплекс-метода:

- находят начальный допустимый (опорный) план;
- устанавливают признак оптимальности выбранного опорного плана;
- приводят способ, позволяющий перейти к лучшему опорному плану.

Рассмотрим алгебраическую форму СМ на приведенном примере.

Начальный опорный план получим, полагая, что свободные переменные равны нулю ($x_1 = x_2 = 0$). Тогда базисные переменные будут равны: $x_3 = 2$, $x_4 = 2$, $x_5 = 5$ и начальный опорный план имеет вид: $x_{01}(0,0,2,2,5)$. Проверим его на оптимальность (в нашем случае max$L$). При $x_1 = x_2 = 0$ целевая функция $L_1 = x_1 - x_2 = 0$. Максимум целевой функции не достигнут, так как с увеличением x_1 можно увеличивать L. Поэтому x_1 переводим в базисные переменные. Для определения новой свободной переменной анализируем систему уравнений, разрешенных относительно x_3, x_4, x_5, полагая $x_2 = 0$. Увеличение x_1 приводит к возрастанию x_3 и снижению x_4 и x_5, и поэтому x_3 не может быть переведена в свободные переменные. Так как переменная x_4 достигает значения $x_4 = 0$ быстрее (при $x_1 = 2$), а переменная $x_5 = 0$ при $x_1 = 5$, то переменную x_4 исключаем из базиса и переводим ее в свободные переменные. Разрешим второе уравнение системы ограничений относительно $x_1 = 2 + 2x_2 - x_4$. Подставим это значение x_1 в целевую функцию, в первое и третье уравнения ограничений и получим новую систему:

целевая функция

$$L_2 = 2 + x_2 - x_4;$$

система ограничений

$$x_1 = 2 + 2x_2 - x_4;$$

$$x_3 = 2 + 2(2 + 2x_2 - x_4) - x_2 = 6 + 3x_2 - 2x_4;$$

$$x_5 = 5 - (2 + 2x_2 - x_4) - x_2 = 3 - 3x_2 + x_4.$$

Новый опорный план имеет вид: x_{02} (2,0,6,0,3). Полагая $x_2 = x_4 = 0$, получим $L_2 = 2$.

Однако максимум L не достигнут, так как увеличивая x_2, можно повышать L. Поэтому свободную переменную x_2 переводим в базисные. Новой свободной переменной становится x_5, так как условие $x_5 = 0$ (при $x_4 = 0$) достигается быстрее других, а именно при $x_2 = 1$. Из третьего уравнения последней системы находим: $x_2 = 1 + 1/3\,x_4 - 1/3\,x_5$. Подставим это значение x_2 в целевую функцию, в первые два уравнения системы ограничений и получим:

целевая функция

$$L_3 = 2 + 1 + 1/3x_4 - 1/3x_5 = 3 - 2/3x_4 - 1/3x_5;$$

система ограничений

$$x_1 = 2 + 2(1 + 1/3x_4 - 1/3x_5) - x_4 = 4 - 1/3\,x_4 - 2/3x_5;$$

$$x_2 = 1 + 1/3\,x_4 - 1/3\,x_5;$$

$$x_3 = 6 + 3(1 + 1/3\,x_4 - 1/3\,x_5) - 2\,x_4 = 9 - x_4 - x_5.$$

Новый опорный план будет иметь вид: x_{03} (4,1,9,0,0). Полагая $x_4 = x_5 = 0$, получим $L_3 = 3$. Так как в уравнении целевой функции коэффициенты переменных x_4 и x_5 отрицательные, то пределом их увеличения является ноль. Следовательно, при базисе x_{03} достигается max $L = L_3 = 3$, который уже нельзя повысить. Таким образом, $L_3 = L_{опт}$, что совпадает с результатом, показанным на рис. 1. В библиотеке стандартных программ ЭВМ есть программа, реализующая симплекс-метод.

Выводы

Для решения задачи линейного программирования классические методы математического анализа не применимы, так как частные производные целевой функции (ЦФ) не обращаются в ноль одновременно и, следовательно, экстремум внутри области определения ЦФ не достигается. Математическая модель задачи линейного программирования дается в линейной форме и включает уравнение целевой функции и систему ограничений обычно в форме неравенств.

Процедура симплекс-метода (СМ) заключается в последовательном вычислении решений, находящихся в вершинах многоугольника (для плоскости) или многогранника (для объема), образующего область допустимых решений. С помощью СМ просматривается небольшая часть решений из множества возможных с быстрым выходом на экстремум.

Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие. М.: Форум, 2011. 224 с.
2. **Численные** методы линейного программирования / Под ред. Л.В. Канторовича. М.: Наука, 1977. 381 с.

УДК 621.643.43-762.65

А.Я. Розинов, *д-р техн. наук*
(Центр технологии судостроения и судоремонта),
П.С. Вакулов, *канд. техн. наук,* **В.И. Анухин**
(НПП "КОМПЕНСАТОР")
E-mail: inbox@sstc.spb.ru

Технико-экономическая эффективность совершенствования сборки судовых трубопроводов на основе технологического применения сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов

Рассмотрены основные типы судовых трубопроводов и составляющих их труб, приведена схема нового сильфонного сдвигоповоротного компенсатора с конструктивно измененным разгрузочным устройством, представлены результаты изучения трудозатрат, расхода электродов, электроэнергии, кислорода, ацетилена и сжатого воздуха, а также применения средств технологического оснащения при совершенствовании сборки трубопроводов, представлена расчетная технико-экономическая эффективность этого совершенствования.

The main types of ship pipelines and pipes making them are considered, the scheme of the new bellows-sealed shift-rotary jack with structurally changed unloading device is provided, results of studying of labor costs, an expense of electrodes are presented, to the electric power, oxygen, acetylene and the compressed air, and also application of means of technological equipment at improvement of assembly of pipelines, the settlement size of technical and economic efficiency of this improvement is presented.

Ключевые слова: магистральная, отводная и забойная трубы, гофрированный сильфон, разгрузочное устройство, строительные длина и ширина, сборка, трудозатраты, электрод, электроэнергия, кислород, ацетилен, сжатый воздух, ручная резка, зачистная машина, сварочное оборудование, экономический эффект.

Keywords: main, systems and downhole pipes, corrugated bellows, unloading device, construction length and width, assembly, labor, electrode, electricity, oxygen, acetylene, compressed air, hand torches, grinding machine, welding equipment, economic effect.

Энергосистемы современных судов и кораблей характеризуются применением магистральных и отводных труб различного эксплуатационного назначения. Традиционная технология сборки трубопроводов этих энергосистем, предусматривающая необходимость использования забойных участков применяемых труб, характеризуется трудозатратами, представленными в табл. 1.

Проведенным размерно-технологическим анализом определено, что исключение забойных участков собираемых судовых трубопроводов может быть обеспечено путем использования при этой сборке сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов с конструктивно измененным разгрузочным устройством, представленным на рисунке.

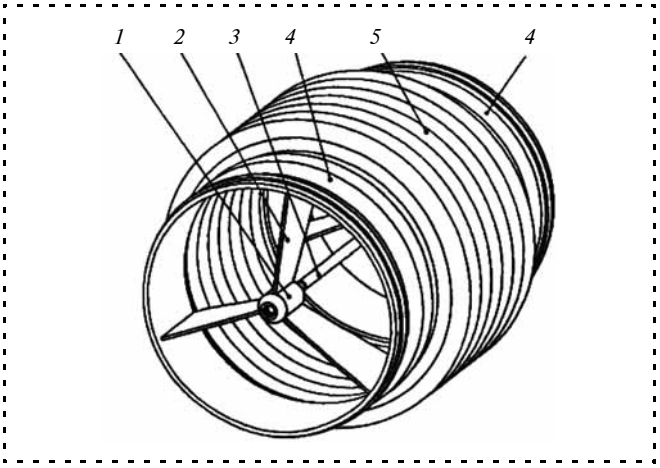
Традиционное конструктивное решение сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов предусматривает наличие разгрузочного устройства в виде двух жестких стержней, шарнирно закрепленных на фланцах указанных компенсаторов. Это лишает традиционные сильфонные сдвигоповоротные компенсаторы свободы подгонки по длине, из-за чего судовые трубопроводы собирают путем применения забойных участков труб.

В новом конструктивно-технологическом решении, защищенном патентом РФ на изобретение № 2293902, разгрузочное устройство сильфонного

Таблица 1

Характеристика трудозатрат на сборку трубопроводов энергосистем

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Трудозатраты на выполнение единичного забойного стыка, нормо-ч	
	на магистральных трубах	на отводных трубах
Снабжения паром	0,83	0,166...0,330
Подачи питательной воды	0,50	0,266...0,330
Подачи топлива	0,50...0,67	0,233...0,266
Подачи масла	0,33	0,166...0,233
Подачи морской воды	0,67	0,330
Перекачивания нефтяных грузов	1,33	0,665...0,832



Принципиальная схема нового конструктивно-технологического решения разгрузочного устройства сдвигоповоротного сильфонного компенсатора:

1 — опорная втулка разгрузочного устройства; *2* — радиальное ребро крепления опорной втулки внутри присоединительного патрубка; *3* — разгрузочное устройство; *4* — присоединительный патрубок; *5* — гофрированный сильфон

сдвигоповоротного компенсатора представляет упругий стержень, расположенный по оси и внутри гофрированного сильфона. При этом оба конца упругого стержня имеют винтовое соединение с опорными втулками, что позволяет изменять строительную длину сдвигоповоротного компенсатора. Это обстоятельство, а также наличие одного гибкого стержня разгрузочного устройства, расположенного по оси сильфона, позволяет в процессе сборки судовых трубопроводов фиксировать сильфонный компенсатор по длине и произвольно изгибать его при фиксации по ширине, что обеспечивает возможность сборки трубопроводов без необходимости создания забойных участков труб.

Результатами анализа практики сборки трубопроводов при наличии в их составе сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов с традиционным разгрузочным устройством установлено, что в этом случае забойные участки труб используются не более чем для 30 % выполненных соединений труб. Соответственно этому определено, что значение трудозатрат в нормо-часах, не связанных с применением забойных труб, соответствует выражению:

$$Q = 0{,}3K(q_1 + q_2), \qquad (1)$$

где K — общее число соединений труб;

q_1 — трудозатраты на выполнение единичного забойного стыка магистральных труб, нормо-ч;

q_2 — трудозатраты на выполнение единичного забойного стыка отводных труб, нормо-ч.

Результаты расчетов по формуле (1) представлены в табл. 2.

Для осуществления сборки забойные участки труб отрезают ацетиленово-кислородными резаками. При этом на один метр реза расходуют 0,292 м^3 кислорода и 0,045 м^3 ацетилена. Отрезанные кромки зачищают переносными машинами с расходом сжатого воздуха 1,8 м^3/мин.

Установленные на штатное место забойные трубы вначале закрепляют на электроприхватках, затем приваривают по периметру с использованием электродов, суммарный расход которых определяется массой наплавленного металла $M_э$:

$$M_э = LS\gamma K_э 0{,}001, \qquad (2)$$

где L — общая протяженность выполненного сварного соединения, см;

S — площадь поперечного сечения наплавленного металла сварного шва, см^2;

γ — плотность наплавленного металла, г/см^3;

$K_э$ — коэффициент расхода электродов.

Для временного крепления одного погонного метра периметра забойных труб ставят не менее четырех электроприхваток протяженностью 50 мм каждая. С учетом того, что катет электроприхваток равен 4 мм, расход используемых электродов на каждый погонный метр крепления, согласно выражению (2), составляет

$$M_э = 20 \cdot 0{,}15 \cdot 7{,}8 \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}001 = 0{,}04 \text{ кг}.$$

В процессе осуществления сварки соединений забойных участков труб наплавляют металл, поперечное сечение которого соответствует толщине сте-

Таблица 2

Трудозатраты сборки трубопроводов

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Общие трудозатраты Q_1, нормо-ч
Снабжения паром	24
Подачи питательной воды	2,5
Подачи топлива	2,8
Подачи масла	1,7
Подачи морской воды	3,0
Перекачивания нефтяных грузов	18,4
Всего	53,0

Таблица 3

Расход электродов и электроэнергии при электросварке единичных стыков труб

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Магистральные трубы		Отводные трубы	
	Электроды, кг	Электроэнергия, кВт · ч	Электроды, кг	Электроэнергия, кВт · ч
Снабжения паром	1,34	13,9	0,26...0,53	2,7...5,6
Подачи питательной воды	0,80	8,4	0,42...0,53	4,4...5,6
Подачи топлива	0,80...1,06	8,4...11,0	0,37...0,42	3,9...4,4
Подачи масла	0,53	5,6	0,26...0,37	2,7...3,9
Подачи морской воды	1,06	11,0	0,53	5,6
Перекачивания нефтяных грузов	2,11	22,2	1,06...1,32	11,0...13,9

нок этих труб, изменяющейся в пределах 3—8 мм. С учетом заполнения разделки кромок и формирования усиления сварного шва площадь поперечного сечения сварных соединений составляет 0,6 см^2. Соответственно этому на каждый погонный метр сварных соединений расходуют электроды, масса которых согласно выражению (2) составляет

$$M_э = 100 \cdot 0{,}6 \cdot 7{,}8 \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}001 = 0{,}8 \text{ кг}.$$

В результате при выполнении электроприхватки и сварки каждого погонного метра соединения забойных труб суммарная масса расходуемых электродов составляет 0,84 кг.

Установлено, что при использовании одного кг электродов расход электроэнергии равен 10,5 кВт · ч. Соответственно этому суммарный расход электродов и электроэнергии при выполнении единичных стыков определяется данными табл. 3.

С учетом технологически необходимого числа случаев применения забойных участков труб, масса используемых электродов $М_э$, кг, и общие затраты электроэнергии Э, кВт · ч, определяются выражениями вида:

$$M_э = 0{,}3K_c(m_1 + m_2); \quad (3)$$

$$Э = 0{,}3K_c(Э_1 + Э_2), \quad (4)$$

где K_c — общее число рассматриваемых единичных поперечных сечений трубопроводов;

m_1 — масса электродов, расходуемых на выполнение единичного забойного стыка магистральных труб, кг;

m_2 — масса электродов, расходуемых на выполнение единичного забойного стыка отводных труб, кг;

$Э_1$ — расход электроэнергии при выполнении электроприхватки и сварки единичного забойного стыка магистральных труб, кВт · ч,;

$Э_2$ — расход электроэнергии при выполнении электроприхватки и сварки единичного забойного стыка отводных труб, кВт · ч.

Результаты расчетов по выражениям (3) и (4) приведены в табл. 4.

На осуществление поверхностной зачистки ручными пневматическими машинами одного погонного метра сварного шва, как правило, затра-

Таблица 4

Суммарные расходы электродов и электроэнергии при электросварке стыков трубопроводов

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Суммарная масса расходуемых электродов $M_э$, кг	Суммарный расход электроэнергии Э, кВт · ч
Снабжения паром	39,4	415
Подачи питательной воды	4	41,7
Подачи топлива	4,4	46
Подачи масла	2,7	28,3
Подачи морской воды	4,8	50
Перекачивания нефтяных грузов	29,2	307
Всего	84,5	888

Таблица 5

Расход, м^3/мин, сжатого воздуха при зачистке единичных стыков труб

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Магистральные трубы	Отводные трубы
Снабжения паром	55,8	12,6...25,2
Подачи питательной воды	34,2	18,0...25,2
Подачи топлива	34,2...45,0	16,2...18,0
Подачи морской воды	45,0	23,4
Перекачивания нефтяных грузов	90,0	45,0...55,8

Таблица 6

Суммарное потребление сжатого воздуха при зачистке стыков трубопроводов

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Суммарное потребление сжатого воздуха *B*, м^3/мин
Снабжения паром	1725
Подачи питательной воды	177
Подачи топлива	188
Подачи масла	118
Подачи морской воды	204
Перекачивания нефтяных грузов	1242
Всего	3654

чивают 20 мин. При расходе сжатого воздуха, составляющего 1,8 м^3/мин, его потребление характеризуется данными табл. 5.

Для расчета суммарного потребления сжатого воздуха В, м^3/мин, использовано выражение:

$$B = 0{,}3K_{з.с}\,(в_1 + в_2), \qquad (5)$$

где $K_{з.с}$ — общее число рассматриваемых единичных забойных стыков;

$в_1$ — потребление сжатого воздуха при зачистке единичных забойных стыков магистральных труб, м^3/мин;

$в_2$ — потребление сжатого воздуха при зачистке единичных забойных стыков отводных труб, м^3/мин.

Результаты расчетов суммарного потребления сжатого воздуха по формуле (5) представлены в табл. 6.

Расход кислорода и ацетилена пропорционален протяженности разрезаемого материала забойных участков труб при выполнении единичных стыков (табл. 7).

Общее значение расхода кислорода Г и ацетилена А, необходимых для осуществления монтажа забойных участков трубопроводов, определена на основе следующих выражений:

$$Г = 0{,}3K_{с.з}(г_1 + г_2); \qquad (6)$$

$$А = 0{,}3K_{з.с}\,(а_1 + а_2), \qquad (7)$$

где $г_1$ — расход кислорода при резке кромок единичных монтажных стыков магистральных труб, м^3;

$г_2$ — расход кислорода при резке кромок единичных монтажных стыков отводных труб, м^3;

$а_1$ — расход ацетилена при резке кромок единичных монтажных стыков магистральных труб, м^3;

$а_2$ — расход ацетилена при резке кромок единичных монтажных стыков отводных труб, м^3.

Таблица 7

Расход, м^3, кислорода и ацетилена при резке кромок единичных забойных стыков труб

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Магистральные трубы		Отводные трубы	
	Кислород	Ацетилен	Кислород	Ацетилен
Снабжения паром	0,46	0,07	0,09...0,18	0,015...0,03
Подачи питательной воды	0,25	0,04	0,15...0,18	0,02...0,03
Подачи топлива	0,28...0,46	0,04...0,06	0,13...0,15	0,019...0,02
Подачи масла	0,18	0,03	0,09...0,13	0,015...0,019
Подачи морской воды	0,37	0,06	0,18	0,03
Перекачивания нефтяных грузов	0,73	0,12	0,37...0,46	0,06...0,07

Таблица 8

Суммарный расход кислорода и ацетилена при резке кромок забойных стыков трубопроводов

Судовые системы различного эксплуатационного назначения	Суммарный расход, $м^3$	
	кислорода Г	ацетилена А
Снабжения паром	13,89	2,13
Подачи питательной воды	1,38	0,20
Подачи топлива	1,85	0,23
Подачи масла	1,00	0,06
Подачи морской воды	1,67	0,26
Перекачивания нефтяных грузов	10,21	1,62
Всего	30,00	4,50

Результаты расчетов общего расхода кислорода и ацетилена по выражениям (6) и (7) приведены в табл. 8.

Согласно данным, приведенным в табл. 2, 4, 6 и 8, возможность исключения забойных участков изготавливаемых трубопроводов путем применения сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов с разгрузочным устройством в виде упругого стержня позволит сократить трудозатраты монтажа сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов на 53 нормо-ч, уменьшить массу расхода электродов на 84,5 кг, снизить объем потребления электроэнергии на 288 кВт·ч, сжатого воздуха — на 3654 $м^3$/мин, кислорода — на 30 $м^3$ и ацетилена — на 4,5 $м^3$.

С учетом стоимости одного нормо-ч (200 руб.), одного килограмма электродов (90 руб.), одного кВт·ч электроэнергии (4 руб.), одного метра кубического кислорода (3750 руб.) и ацетилена (20 000 руб.), а также одного метра кубического сжатого воздуха (0,8 руб.), сокращение заработной платы, материалов и ресурсов составит $53 \cdot 200 + 84{,}5 \cdot 90 + 288 \cdot 4 + 3654 \cdot 0{,}8 + 30 \cdot 3750 + 4{,}5 \cdot 200 = 224\,780$ руб.

Наряду с этим совершенствование сборки судовых трубопроводов на основе технологического применения сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов позволяет отказаться от применения ручных кислородно-ацетиленовых резаков стоимостью 1200 руб. за единицу, пневматических зачистных машин стоимостью 6000 руб. за единицу, а также сварочного оборудования стоимостью 15 000 руб. за комплект. С учетом технологически необходимого количества указанного оборудования, исключение его применения обеспечивает экономию в сумме $8 \cdot 1200 + 8 \cdot 6000 + 4 \cdot 15\,000 = 204\,000$ руб. В целом технико-экономическая эффективность реализации сборки судовых трубопроводов с исключением забойных участков путем применения сильфонных сдвигоповоротных компенсаторов с новым конструктивно-технологическим решением разгрузочного устройства составляет $224\,780 + 204\,000 = 428\,780$ руб.

Библиографический список

Патент РФ № 2293902. Компенсатор сдвигоповоротных перемещений. П.С. Вакулов и др. М.: Бюллетень патентов и полезных моделей. № 5. 2007.

ООО "Издательство Машиностроение" продолжает подписку на журнал

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

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

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

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4,
Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98, факс: (499) 269-48-97
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

УДК 621.541

М.Ю. Елагин, *д-р техн. наук,* **Е.М. Сидоров**
(Тульский государственный университет)
E-mail: cem_pron@mail.ru

Определение минимальной частоты вращения ротора пневматического гайковерта

Проведено исследование рабочих процессов в ротационном пневматическом двигателе с радиальными лопатками. На основе исследования разработана математическая модель, отражающая сложные термогазодинамические явления с переменным по массе реальным рабочим телом ротационного пневмодвигателя.

Conducted a study of working processes in rotary pneumatic engine with radial blades. Based on the research of mathematical model is developed, reflecting the complex thermogas dynamic phenomena with variable mass real working body of rotary pneumatic engine.

Ключевые слова: пневматический двигатель, теплоотдача, термодинамика открытых систем, энтальпия, внутренняя энергия, тепловой поток, расход воздуха.

Keywords: pneumatic motor, heat transfer, thermodynamics of open systems, enthalpy, internal energy, heat flow, air flow.

Трущиеся поверхности деталей машин и механизмов во многих случаях разделены тонким слоем вязкой жидкости или газа, в котором развивается давление, предотвращающее соприкосновение поверхностей. Закономерности движения такого тонкого вязкого слоя составляют содержание гидродинамической теории смазки, основы которой были заложены в трудах О. Рейнольдса, Н.П. Петрова, Н.Е. Жуковского, С.А. Чаплыгина.

Одной из основных особенностей движения смазочного слоя является его малая толщина (она имеет порядок сотых, тысячных долей миллиметра) по сравнению с размерами граничных поверхностей.

Пневматические двигатели, особенно малой мощности, обладают небольшой относительной массой (приходящейся на единицу мощности), они не боятся перегрузок, просты в конструкции, надежны в эксплуатации и дешевы в изготовлении.

В качестве источника энергии для пневматических двигателей используется сжатый воздух с избыточным давлением 0,4...0,6 МПа.

Наибольшее распространение получили пневматические двигатели сравнительно малой мощности (до 2 кВт), применяемые главным образом как приводы ручных механизированных инструментов, широко используемых в автомобильном хозяйстве, а также как средства механизации и автоматизации производственных процессов.

Расчет и анализ работы устройств этой группы производят обычно с использованием комплексных методов теории механизмов, термодинамики и газовой динамики.

Серийно изготавливают в основном пневмодвигатели следующих типов: шестеренные, поршневые, ротационные и турбинные. Каждый из этих типов двигателей в соответствии с их характеристиками имеет определенную область применения.

Перетечки среды в ротационном пневматическом двигателе (РПД) гайковерта, приводящие к потерям мощности, происходят через радиальный зазор (минимальное расстояние между ротором и цилиндром), через торцевые зазоры (между крышками цилиндра и торцами ротора, между крышками и торцами пластин), а также через зазоры между пластинами и пазами ротора.

Значительную часть потерь мощности, особенно на режимах с малыми массовыми расходами, составляют механические потери. Мощность трения РПД зависит от ряда факторов, главными из которых являются радиус цилиндра, частота вращения ротора, масса и число пластин.

Около 80...90 % механических потерь приходится на трение пластин по цилиндру и в пазах ротора, остальные потери – на трение в подшипниках и сальнике.

Наилучшим способом смазки РПД является введение ее в распыленном виде при помощи магистральной масленки вместе с воздухом, поступающим в двигатель.

В зависимости от количества и качества смазки мощность, расход масла, воздуха и срок службы двигателя могут изменяться в широких пределах.

Для решения задачи по определению механических потерь в двигателе воспользуемся гидродинамической теорией смазки. Математическая модель для определения механических потерь была представлена в работах [1, 2].

Допущения, положенные в основу математической модели:

1) температура стенки пневматического двигателя принята средней по величине;

2) коэффициенты теплоотдачи приняты средними по ячейкам сжатия и пропорциональными плотности рабочего тела;

3) остальные допущения, положенные в основу модели, традиционны для термодинамики открытых систем.

Результаты расчетов для частоты вращения вала $n = 3000$ мин$^{-1}$, давления в сети 0,6 МПа, а также при изменении зазора в сопряжении ротор—крышка статора представлены на рис. 1 и 2.

Анализ результатов расчетов, приведенных на рис. 1 и 2, позволяет сделать вывод об их достаточно хорошей сходимости с имеющимися экспериментальными данными по двигателю РС-32. Поэтому предложенную методику определения механических потерь можно рекомендовать для расчетов рабочих процессов РПД, а также при их проектировании.

На рис. 1 показано, как меняются силы, действующие на лопатки в пазах ротора двигателя. Соответственно силам можно подсчитать скорости и трение в пазах, механические потери и механический КПД.

Как следует из рис. 1, в промежутке времени от 0,004 с до 0,008 с (из-за сближения кривых) высока вероятность заклинивания пластины в пазу ротора, а момент трения в сопряжениях пневмодвигателя обратно пропорционален значению зазоров в сопряжении ротор—крышка статора.

Зависимость качественного показателя — механического КПД двигателя от зазора в сопряжении ротор—крышка статора показана на рис. 2. Оптимальный зазор находится в пределах 60...100 мкм.

Соотношение между центробежной силой и силой трения, действующей на лопатку (см. рис. 1),

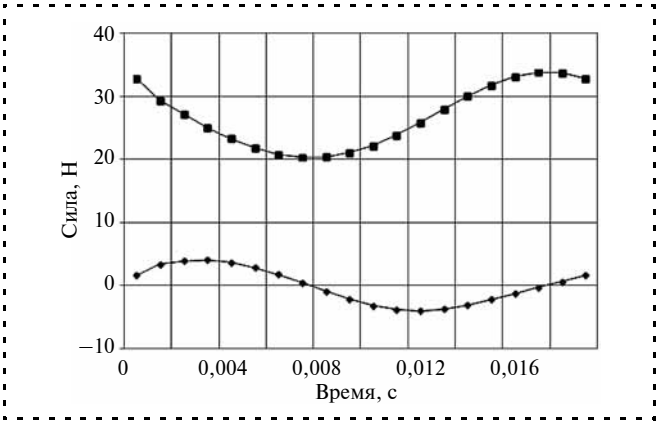


Рис. 1. Изменение сил, действующих на лопатку:
♦ — центробежная;
■ — трения в пазу ротора

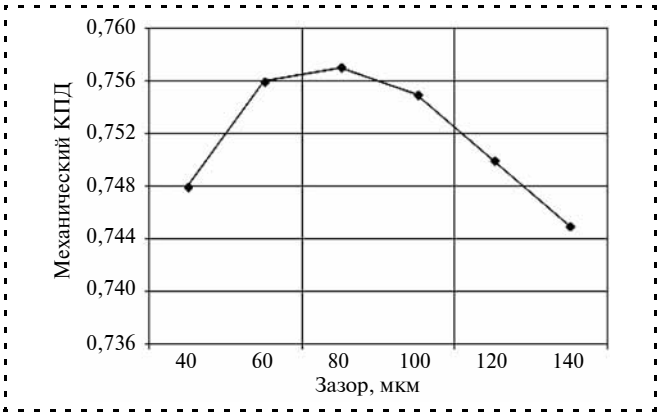


Рис. 2. Зависимость механического КПД от зазора в сопряжении ротор—крышка статора

позволяет определить предельную минимальную частоту вращения ротора двигателя, менее которой происходит резкое ухудшение энергетических характеристик и увеличение расхода сжатого воздуха. Возможна даже остановка двигателя, что может привести к небезопасному использованию инструмента при сборке или разборке.

В этом случае кривые центробежной силы, действующей на лопатку, и силы трения лопатки в пазу ротора сближаются и лопатка перестает выходить из паза ротора. Для двигателя РС-32, как показали расчеты, предельная минимальная частота ротора составляет 13 с$^{-1}$ или 800 мин$^{-1}$.

Из рис. 2 следует, что по критерию механического КПД существует оптимальное значение одностороннего зазора в сопряжении ротор—крышка статора, равная 60...100 мкм.

Механические потери в ротационном пневматическом двигателе с тангенциальными лопатками определяют аналогично с небольшими изменениями в математической модели, связанными с наклоном лопаток.

Вывод

Приведенная методика позволяет определить одну из важнейших эксплуатационных характеристик пневматического двигателя — предельную минимальную частоту вращения ротора, что позволит контролировать процессы сборки-разборки с целью экономии сжатого воздуха и безопасной эксплуатации инструмента.

Библиографический список

1. **Елагин М.Ю.** Математическая модель ротационного пневматического двигателя // Сб. статей III Междунар. науч.-техн. конф. Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. С. 43—48.

2. **Елагин М.Ю.** Расчет механических потерь в ротационном пневматическом двигателе // Сб. статей III Междунар. науч.-техн. конф., Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. С. 48—53.

УДК 621.88:621.891

С.Я. Березин, *д-р техн. наук,* **И.М. Кулеш**
(Забайкальский государственный университет)
E-mail: kulesh.irina22@yandex.ru

Влияние ультразвука на контактные напряжения деформации материала в процессах сборки соединений с крепежно-резьбообразующими деталями

Представлены результаты экспериментальных исследований напряжений сопротивления пластической деформации при формировании внутренних профилей резьбовыдавливающими крепежными деталями при воздействии на процесс ультразвуковых колебаний. Установлены степень и характер влияния ультразвука на контактные напряжения. Описаны математический аппарат, методика и техническое оснащение исследований.

Experiment results of researching of stress pressing are presented when forming internal profiles by screwing of self-tapping fasteners at impact on process of ultrasonic fluctuations. Degree and nature of influence of ultrasound on contact stress pressing are established. The mathematical apparatus, technique equipment of researches is described.

Ключевые слова: резьба, образец, контактные напряжения, пластическая деформация, завинчивание, ультразвук, колебания, напряжения, резьбовыдавливание, соединение, амплитуда, эксперимент.

Keywords: thread, sample, contact stress pressing, plastic forming, screwing, ultrasonic, oscillations, pressure, thread-forming, joint, amplitude, experiment.

Сопротивление пластической деформации металла представляет уровень контактных напряжений на поверхности раздела "инструмент—материал" при пластическом течении в ходе формообразования. В процессе резьбовыдавливания возникающие усилия и крутящие моменты определяются напряженным состоянием в области деформирующего витка и контактными напряжениями на его деформирующей грани, а именно деформационной составляющей крутящего момента

$$M_д = \sigma_к F_к \cos\psi A_f A_d, \qquad (1)$$

где $\sigma_к$ — контактные напряжения деформации материала;

$F_к$ — площадь деформирующей грани заходного витка крепежного элемента, $F_к = K_F \frac{\pi d_1 (d - d_о)^2}{4{,}33 P \cos\varphi}$ (K_F — коэффициент дополнительной площади деформации; d, d_1, d_0 — наружный, внутренний диаметры резьбы и диаметр отверстия соответственно; P — шаг резьбы; φ — угол заходной части крепежной детали);

$A_f = \frac{\cos\varphi}{cjs\psi} \operatorname{tg}\left(\gamma + \frac{\operatorname{arctg} f^*}{\cos\varphi}\right) \approx 1{,}155 f^* \sin\varphi$ (γ — угол подъема деформирующей грани заходного витка; f^* — коэффициент трения, зависящий от условий сборки);

A_d — плечо действия момента, $Ad = \frac{d + d_о}{4 \cdot 10^3}$.

При ультразвуковой сборке меняются как величина $\sigma_к$, так и условия трения f^*, поэтому определенный интерес вызывает влияние ультразвука на обе эти величины. Для минимизации влияния меняющихся коэффициентов трения проводили эксперименты по завинчиванию специальных болтов, у которых оставлена только заходная часть с числом витков

$$Z = \frac{d - d_о}{2 \operatorname{tg}\varphi P}. \qquad (2)$$

Такая конструкция позволяет фиксировать только деформационную составляющую крутящего момента без составляющей трения на последующих витках резьбы. Угол заходной части у образцов выполняли равным 30° для того, чтобы снизить асимметрию выдавливаемых профилей [1].

Общий вид специальных болтов представлен на рис. 1. Для обеспечения устойчивости при завинчивании болты имели переднюю цапфу, на которую одевали пластмассовую втулку. Для сравне-

Рис. 1. Специальные болты для исследования деформационной составляющей крутящего момента

ния слева показан обычный экспериментальный болт с нормальной длиной резьбы.

Сборка крепежных элементов с гладкими отверстиями образцов из сплавов АЛ9В, МЛ5, ЦАМ4-2,7 производили на вертикально-сверлильном станке с подводом к образцам и крепежным деталям ультразвуковых колебаний (УЗК) от генератора ИЛ-10 с магнитострикционным преобразователем. В процессе экспериментов изучали эффективность нескольких схем подвода УЗК в зону резьбообразования, представленных на рис. 2.

Значение крутящего момента регистрировали тензометрическим динамометром и переводили в формализованное представление вида

$$M_{\text{кр}} = J_{\text{м}} \pi P^2 dZ, \qquad (3)$$

где $J_{\text{м}}$ — интенсивность крутящего момента с размерностью $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{мм}^3 \cdot \text{виток}}$.

Физическая сущность данной величины представляет собой работу, затраченную на одном витке при формировании объема в 1 мм^3 резьбового профиля.

В ходе проведения экспериментов устанавливали значения интенсивностей для различных материалов образцов с отверстиями, так как этот показатель в значительной степени зависит от их физико-механических свойств и, в большей степени, от значения твердости.

В соответствии с выражением (3), УЗК оказывали влияние через крутящий момент и на величину $J_{\text{м}}$. Приравняв между собой формулы (1) и (3) и решив равенство относительно $\sigma_{\text{к}}$, после преобразований получим

$$\sigma_{\text{к}} = J_{\text{м}} \frac{3{,}725 \cdot 10^3 \cdot P^3 Z}{d_2 \delta^2}, \qquad (4)$$

где δ — припуск под резьбу, исчисляемый в долях шагов,

$$d = \frac{d - d_{\text{о}}}{2} = aP = (0{,}3...0{,}6)P.$$

Выделив из формулы (4) интенсивность, получим

$$J_{\text{м}} = 0{,}268 \cdot 10^{-3} \frac{\sigma_{\text{к}} d a^2}{PZ}.$$

В результате проведения серии экспериментов с резьбами М10 и образцами из ранее указанных сплавов была получена экспериментальная зависимость контактных напряжений от значения твердости материалов по Бринеллю

$$\sigma_{\text{к}} = 29\text{НВ}^{0{,}67}.$$

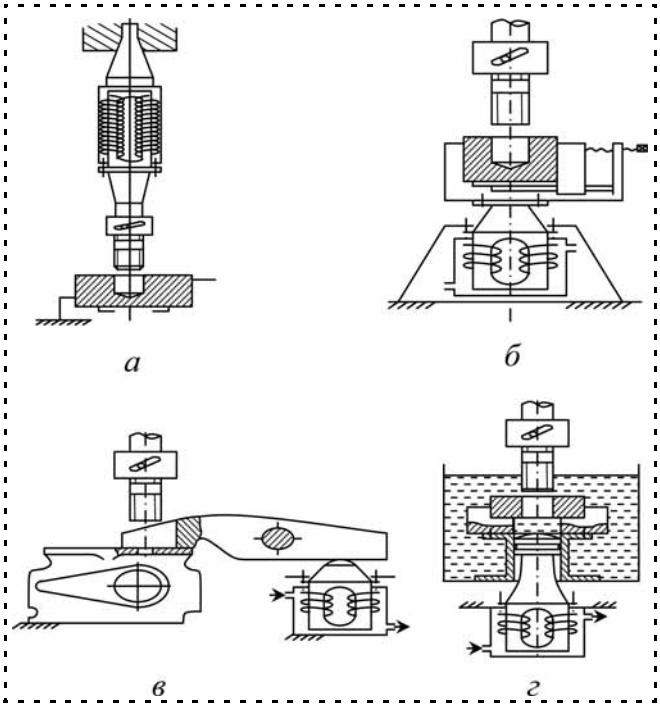


Рис. 2. Способы подвода ультразвуковых колебаний к собираемым деталям

Таблица 1

Сравнительные данные о влиянии УЗК на контактные напряжения, $\sigma_к$, МПа

Контактные напряжения								
Материал образца	Резьба	Без УЗК, скорость сборки v = 0,07...0,10 м/с			С применением УЗК, v = 0,07 м/с, амплитуда колебаний A = 10 мкм			$\overline{K\sigma}$
		$\bar{\sigma}_к$	$\sigma_к^{max}$	$\sigma_к^{min}$	$\bar{\sigma}_к$	$\sigma_к^{max}$	$\sigma_к^{min}$	
АЛ9В, НВ75	М10	525	558	492	420	486	354	0,8
	М14	607	638	576	486	507	465	
МЛ5, НВ50	М10	346	408	284	286	328	244	0,78
	М14	359	396	322	267	309	226	
ЦАМ4-2,7, НВ90	М10	670	720	620	496	531	461	0,73
	М14	695	735	655	508	527	451	

Таблица 2

Сравнение эффективности различных схем подвода УЗК к зоне резьбообразования

Материал образца	Схема на рис. 2			
	а	*б*	*в*	*г*
АК9ч (АЛ4)	0,62...0,71	0,68...0,75	0,82...0,9	0,72...0,83
МЛ5	0,68...0,76	0,65...0,8	0,85...0,88	0,75...0,86

Тогда при всех равных условиях интенсивность будет выражаться как

$$J_м \approx 1{,}1 \cdot 10^{-4}\sigma_к.$$

По результатам экспериментов, полученные значения $\sigma_к$ без применения УЗК, сравнивали со значениями, полученными в соответствии с экспериментальными зависимостями работы [2].

Результаты экспериментов сведены в табл. 1, в которой символами $\bar{\sigma}_к$, $\sigma_к^{max}$ и $\sigma_к^{min}$ обозначены соответственно средние, максимальные и минимальные контактные напряжения.

Способы подвода УЗК к собираемым деталям представлены на рис. 2, а данные по их эффективности — в табл. 2. Из таблицы видно, что схемы, представленные на рис. 2, *а* и *б*, практически равноценны по эффективности, однако данная ситуация будет характерна только для соединяемых деталей с равноценной массой, которая имеет место при данных экспериментах. В случае реальных массивных корпусных деталей эффективность схемы, приведенной на рис. 2, *б,* может значительно снизиться.

При использовании прихвата в качестве волновода для передачи УЗК корпусной детали (рис. 2, *в*), эффективность УЗК значительно снижается (в 1,14...1,32 раза), очевидно за счет акустических потерь при передаче энергии с двойным изменением направления колебаний. При подводе УЗК через охлаждаемую жидкость эффективность несколько повышается, однако эти данные соответствуют только одному виду применяемой СОЖ — эмульсолу. При смене жидкости или смазки ситуация может измениться, она в значительной степени будет зависеть от кавитационной способности среды и ее химического состава, так как ультразвук будет активизировать и трибологические процессы в резьбовом контакте. Все это требует более подробных и тщательных экспериментальных исследований ультразвуковой сборки соединений, в том числе и для иных схем подвода, которых разработано достаточно много, например, схемы подвода колебаний сдвига, с модуляцией колебаний, многочастотные схемы и т.д.

Для алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов снижение контактных напряжений течения металла при деформации под действием ультразвука составляет в среднем 20...28 %. Коэффициент трения также подвергается воздействию

Таблица 3

Экспериментальные зависимости для расчета контактных напряжений

Материал образца	Экспериментальная формула для расчета контактных напряжений	Амплитуда УЗК, мкм	Скорость завинчивания, м/с	Расчетное значение $\sigma_к$, МПа
АЛ9В	$\sigma_к = 541{,}21 - 5{,}22A - 719{,}4v + 0{,}079A^2 - 3685{,}9v - 10{,}54Av$	2	0,07	461,18
		10		421,1
		16		397,7
МЛ5	$\sigma_к = 384{,}13 - 1{,}081A - 1476{,}8v + 0{,}06A^2 - 3365{,}38v^2 - 10{,}2Av$	2		293,3
		10		273,3
		16		253,2
ЦАМ4-2,7	$\sigma_к = 678{,}64 + 1{,}89A - 3328{,}66v - 0{,}406A^2 - 12980{,}7v^2 - 13{,}064Av$	2		513,2
		10		496,7
		16		450,06

УЗК, причем интенсивность его изменения определяется еще и направлением колебаний.

Экспериментальные зависимости для расчета контактных напряжений резьбовыдавливания применительно к исследуемым материалам корпусных образцов приведены в табл. 3. Расчетные значения напряжений можно сравнить со значениями, приведенными в табл. 1. Кривые экспериментальных зависимостей уровней контактных напряжений при ультразвуковом выдавливании резьбы М10 в сплаве АЛ9В при разных скоростях завинчивания v и амплитудах *A* ультразвуковых колебаний приведены на рис. 3. При одной и той же скорости увеличение амплитуды колебаний до 12...16 мкм снижает уровень напряжений деформации на 12...22 %. В области верхних значений амплитуд происходит стабилизация интенсивности снижения $\sigma_к$ и дальнейшее повышение амплитуд не имеет смысла.

При увеличении скорости сборки напряжения также уменьшаются на 20...28 %. Снижение скоростей ниже 0,04 м/с вызывает появление фрикционных автоколебаний из-за малой крутильной жесткости стержней и значительных сил трения.

При ультразвуковом резьбовыдавливании процесс снижения $\sigma_к$ связан с высокой скоростью деформации знакопеременного характера. Это приводит к многократному взаимодействию дислокаций друг с другом с образованием вакансий. Пресыщение кристаллической решетки данными дефектами увеличивает скорость пластической деформации. По данным М.С. Нерубая и Б.Л. Штрикова при превышении амплитудой переменных напряжений некоторого порогового значения происходит отрыв дислокаций от точек закрепления и их необратимое движение, которое проявляется в виде коллективных эффектов — образования микросдвигов в виде линий и полос скольжения [3].

Значительное внимание исследователей привлекает такое явление, как акустопластический эффект в металлах (АП-эффект), проявляющийся в форме снижения напряжений течения при деформации под действием осциллирующих напря-

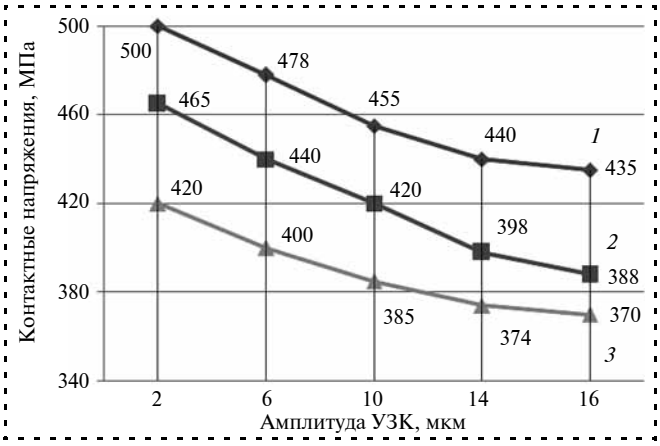


Рис. 3. Зависимости контактных напряжений от скорости завинчивания v и амплитуды ультразвука:
1 — 0,037 м/с; *2* — 0,07 м/с; *3* — 0,1 м/с. Материал — сплав АЛ9В

жений звуковой или ультразвуковой частоты. Сам механизм АП-эффекта до сих пор вызывает широкую дискуссию в кругах специалистов в области физики твердого тела. Широко известны работы российских и зарубежных ученых по данной проблеме, среди которых можно отметить работы К.В. Сапожникова, А.В. Козлова, С.Б. Кустова, Г.А. Малыгина, В.Т. Дегтярева, Minghao Cai, O. Izumi, A.T. Robinson, B. Mainwaring и др. [4, 5].

Необходимо учитывать, что в зоне резьбообразования при действии УЗК возникают как знакопеременные напряжения упругого характера, так и термические напряжения в зоне, ограниченной скоростью распространения тепловой волны. Ультразвук снижает и внутреннее трение в межзеренных областях кристаллов, а также и внешнее контактное трение, что изменяет геометрическую картину линий скольжения при деформации и, соответственно меняет значения нормальных и касательных напряжений в зоне формообразования [6].

Таким образом, положительное влияние УЗК на процессы трения и деформации создает широкие возможности для его использования в сборочно-резьбообразующих процессах.

Библиографический список

1. **Березин С.Я., Романова Л.С.** Асимметрия выдавливаемых профилей при образовании гладко-резьбовых соединений // Ученые записки ЗабГУ. 2013. № 3. С. 7—13.
2. **Березин С.Я.** Исследование контактных напряжений при резьбообразовании методом вдавливания конического индентора // Технология металлов. 2003. № 9. С. 28—31.
3. **Нерубай М.С., Штриков Б.Л., Калашников В.В.** Ультразвуковая механическая обработка и сборка. Самара: Самарское книж. изд-во, 1995. 190 с.
4. **Малыгин Г.А.** Акустопластический эффект и механизм суперпозиции напряжений // Физика твердого тела. 2000. Т. 42. Вып. 1. С. 69—75.
5. **Minghao Cai, B.-S.** Acousto-plastic deformation of metals by nonlinear stress waves: dissertation. Ohio state university. Columbus, 2006. 280 p.
6. **Березин С.Я.** Ультразвук в процессах резьбообразования и сборки. Чита: ЧитГУ, 2009. 167 с.

Читайте в следующем номере:

- **Аристова Н.И.** Расчет стоимости повторной полуавтоматической сборки годного узла
- **Давыдова Е.В., Прейс В.В., Провоторова К.Н.** Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с тангенциальными профильными гнездами
- **Железникова О.Е., Амелькина С.А., Микаева С.А., Микаева А.С.** Установки обеззараживания воздуха в системах вентиляции серии "Мегалит"
- **Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И.** Автоматизированный стенд компьютерного контроля инерционных характеристик изделий в сборочном производстве
- **Шибитова Н.В., Шибитов Н.С., Голованчиков А.Б., Полупан И.В.** Новая конструкция массообменной тарелки с переливным устройством подвесного типа

УДК 658.527.011

А.А. Иванов, *д-р техн. наук*
(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)
E-mail: ivanov_aa@nntu.nnov

Основные принципы автоматической сборки

Рассмотрены принципы автоматической сборки, в основу которых положены методы расчета сборочной размерной цепи, позволяющие провести анализ точности сборочного оборудования. К ним относятся: принципы полной и частичной взаимозаменяемости, принцип сборки с пригонкой и регулировкой, принцип селективной сборки. Приведен расчет компенсирующего звена сборочной размерной цепи.

Principles of the automatic assembly which are based on the methods of calculation of the assembly dimensional chain, allowing to make the analysis of the accuracy of assembly equipment are considered. They are: the principles of full and partial interchangeability, the principle of assembly with the fit and adjustment, the principle of the selective assembly. The calculation of the compensating link of the dimensional assembly chain is presented.

Ключевые слова: полная взаимозаменяемость, частичная взаимозаменяемость, пригонка и регулировка, селективная сборка.

Keywords: full interchangeability, partial interchangeability, fit and adjustment, selective assembly.

Рассмотрение аналитических условий автоматической сборки показывает, что важнейшим фактором, обусловливающим успех операции, является точность совмещения деталей в позиции сборки, которая определяется расчетным или экспериментальным путем. Анализ точности сборочного оборудования проводится с использованием метода расчета сборочной размерной цепи (СРЦ) на максимум-минимум (max-min) или вероятностного метода, а также метода статистических и натурных испытаний.

Принцип полной взаимозаменяемости

В основе принципа полной взаимозаменяемости лежит метод расчета СРЦ на max-min, который обеспечивает 100 %-ную сборку узлов в автоматическом режиме без компенсирующих звеньев (сборка без риска).

В то же время для принципа полной взаимозаменяемости характерна повышенная себестоимость С изготовления деталей на участках механообработки за счет ужесточения допусков δ на размеры звеньев СРЦ, поскольку в методе расчета на max-min за основу приняты предельные отклонения размеров, вероятность появления которых в действительности невелика. Известно, что $C \sim 1/\delta$.

Для принципа полной взаимозаменяемости всегда имеет место соотношение (см. кривую Гаусса нормального распределения независимой случайной величины на рис. 1, *а*):

$$\delta_\Delta > \omega_\Delta,$$

где δ_Δ — допуск на размер замыкающего звена СРЦ (например, зазора, $\delta_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \sigma_i$);

δ_i — допуск на размер i-го звена;

ω_Δ — фактическое поле рассеяния размера замыкающего звена;

m — число звеньев СРЦ.

Выразим δ_Δ и ω_Δ через параметры кривой Гаусса:

$$\delta_\Delta = 6\sigma; \quad \omega_\Delta = x_{\max} - x_{\min} = 2(\bar{x} - x_{\min}),$$

где $\bar{x}$ — среднее арифметическое размеров x_i, $\bar{x} = \sum_{i=1}^{N} x_i/N$;

σ — среднее квадратическое отклонение x_i от центра группирования размеров $\bar{x}$,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum^{N}(x_i - \bar{x})}{N}}.$$

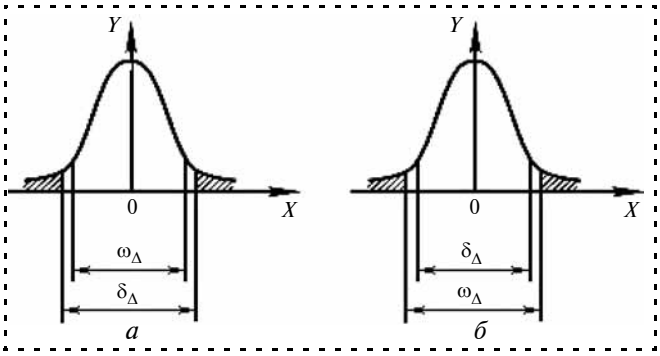


Рис. 1. Кривые нормального распределения независимой случайной величины для принципа полной (*а*) и частичной *(б)* взаимозаменяемости

Среднее число единиц допуска *a*

Деталь	Средний квалитет точности							
	5	6	7	8—9	10	11	12—13	14
Отверстие	10	16	25	30	64	100	200	400
Вал	7	10	16	30	64	100	200	400

Координате $x = \bar{x}$ соответствует максимальная ордината:

$$y_{\text{м}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}},$$

а координате $x = \bar{x} \pm \sigma$ — ордината точки перегиба

$$y_{\text{п}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}}.$$

При заданной величине δ_Δ задача назначения допусков δ_i на размеры составляющих звеньев СРЦ может быть решена двумя способами [1,3].

Первый способ — вычисление среднего числа единиц допуска *a*:

$$a = \frac{10^3\sigma_\Delta}{\sum\limits_1^m 0{,}5\sqrt[3]{d_{i_{\text{ср}}}}},$$

где $d_{i_{\text{ср}}}$ — средний размер интервала, к которому относится *i*-е звено СРЦ.

Значения величины $0{,}5\sqrt[3]{d_{i_{\text{ср}}}}$ даны в работах [1—3]. По найденному числу *a* (см. табл.) определяют средний квалитет точности звеньев СРЦ.

Полученное расчетом число *a* может оказаться между двумя квалитетами. Тогда на одни звенья назначают ближайший низший, а на другие — ближайший более высокий квалитет точности. Значения δ_i определяют по таблице допусков для найденного квалитета в зависимости от номинального размера. После этого проверяют выполнение условия

$$\delta_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i. \qquad (1)$$

Второй способ — вычисление среднего допуска при заданной величине δ_Δ:

$$\delta_{\text{ср}} = \delta_\Delta/(m-1). \qquad (2)$$

Найденное значение $\delta_{\text{ср}}$ затем корректируют для каждого звена с учетом его размера, трудоемкости изготовления, измерения и т.д. Затем проверяют выполнение условия (1).

Формула (2) показывает, что с увеличением *m* значение $\delta_{\text{ср}}$ уменьшается и при некотором значении *m* на составляющие звенья СРЦ приходится назначать предельно жесткие допуски, в связи с чем автоматизация сборки на принципе полной взаимозаменяемости оказывается экономически нецелесообразной (высокая себестоимость изготовления деталей в механических цехах и высокая стоимость прецизионного сборочного оборудования).

Принцип частичной взаимозаменяемости

В основе принципа частичной (неполной) взаимозаменяемости лежит положение теории вероятностей, согласно которому крайние значения погрешностей звеньев СРЦ встречаются гораздо реже, чем средние (сборка с риском).

Вероятностный метод расчета СРЦ учитывает фактическое рассеяние отклонений ω_Δ по полю допуска и наиболее вероятный характер сочетания размеров. Поэтому для принципа неполной взаимозаменяемости имеет место следующее неравенство (рис. 1, *б*):

$$\delta_\Delta < \omega_\Delta.$$

Значение среднего допуска рассчитывают по формуле

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\delta_\Delta}{k\sqrt{m-1}},$$

где $k = 1{,}00...1{,}74$ — коэффициент, зависящий от закона распределения независимой случайной величины.

Для закона нормального распределения $k = 1$, а для неизвестного закона $k_{\text{ср}} = 1{,}4$.

Вероятностный метод расчета позволяет устанавливать более широкие допуски на звенья СРЦ, что делает изготовление деталей и эксплуатацию

сборочных машин более экономичными. При этом возникает риск (в долях процента) выхода δ_Δ за пределы установленного допуска. Доля риска p в процентах в зависимости от соотношения $d = \delta_\Delta/\omega_\Delta$ будет составлять:

d	0,33	0,55	0,75	0,86	0,95	0,99	1,10
p, %.	32,000	10,000	4,500	1,000	0,270	0,001	0,000

При $d = 0{,}95$ доля риска составляет $p = 0{,}27$ %, или примерно три несобранных узла из 1000 сборок, что допустимо. Поскольку эта доля представляет собой исправимый брак, то на сборочной линии (или комплексе) предусматривается пост пригонки деталей и повторной сборки узла. Как показывает практика, это организационное мероприятие экономически оправдано.

Принцип сборки с пригонкой и регулировкой

Пригонка при сборке заключается в размерной притирке сопрягаемых поверхностей или в шлифовании узла в собранном виде (например, при сборке ответственных резьбовых передач типа "винт—гайка" с шариковыми парами). Обычно базовую деталь (например, отверстие втулки) изготавливают по экономически выгодным допускам, а затем по отверстию подбирают и подгоняют вал.

Регулировка позволяет достигать точности при сборке за счет изменения (коррекции) замыкающего звена A_Δ без снятия материала, например, перемещением подвижной втулки, или набором прокладок компенсатора (рис. 2).

Сборочная машина с компенсационными прокладками содержит: устройство накопления прокладок (УНП), измерительные позиции (ИП), вычислительное устройство (ВУ) и комплектовочное устройство (КУ) (рис. 3). Необходимая точность замыкающего звена A_Δ может быть достигнута также

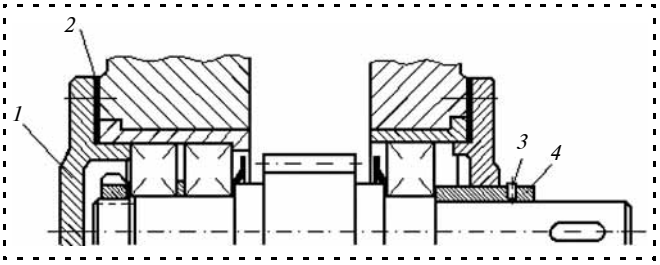


Рис. 2. Сборка подшипникового узла с регулировкой с помощью набора прокладок и подвижной втулки:

1 — крышка; *2* — набор прокладок; *3* — контрящий винт; *4* — подвижная втулка

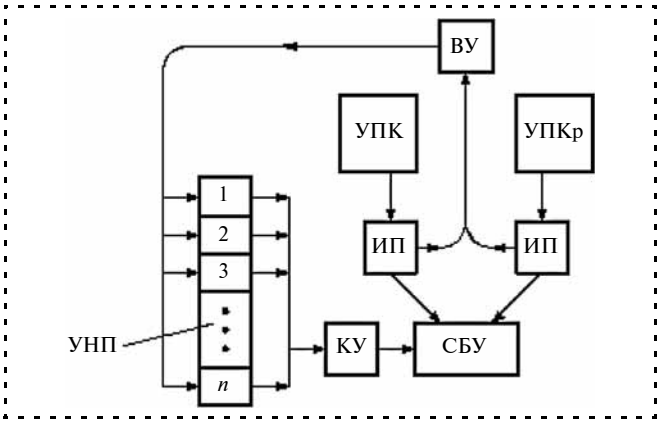


Рис. 3. Структурная схема сборки узла с компенсационными прокладками:

УНП — устройство накопления прокладок; УПКорп. — устройство подачи корпуса; ВУ — вычислительное устройство; УПКр — устройство подачи крышек; ИП — измерительная позиция; СБУ — сборочное устройство; КУ — комплектовочное устройство

путем подбора размера компенсатора (например, высоты сменной шайбы).

Достоинство метода регулирования — отсутствие пригоночных работ, а недостаток — некоторое снижение жесткости соединения из-за дополнительного стыка.

Приведем расчет компенсирующего звена [3, 4].

При включении в СРЦ компенсирующего звена (КЗ) на все звенья, кроме КЗ, устанавливают экономически приемлемые допуски Δ_i, в результате чего

$$\delta_{\Delta_ф} > \delta_{\Delta_з},$$

где $\delta_{\Delta_ф}$ — фактический допуск замыкающего звена A_Δ;

$\delta_{\Delta_з}$ — заданный чертежом допуск A_Δ.

Излишняя величина допуска называется *величиной компенсации* $\delta_к$, определяемой как

$$\delta_к = \delta_{\Delta_ф} - \delta_{\Delta_з}.$$

Решение СРЦ с компенсатором сводится к определению $\delta_к$ и установлению исполнительного размера $A_{и.к}$ компенсирующего звена (рис. 4). Предварительно находят предельные отклонения размера КЗ в зависимости от его местоположения в СРЦ. Если КЗ является уменьшающим звеном, то для вычисления его верхнего $\Delta B_к$ и нижнего

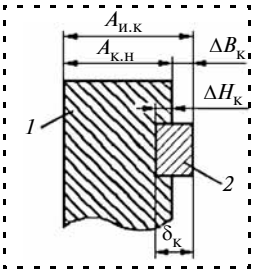


Рис. 4. Схема отклонений компенсирующего звена:
1 — компенсирующее звено (КЗ);
2 — поле допуска $\delta_к$ на размер КЗ

$\Delta H_к$ предельных отклонений используются уравнения

$$\Delta B_к = \Delta B_{\Delta_ф} - \Delta B_{\Delta_з};\ \Delta H_к = \Delta H_{\Delta_ф} - \Delta H_{\Delta_з},$$

где $\Delta B_{\Delta_ф}$, $\Delta H_{\Delta_ф}$ — соответственно фактические значения верхнего и нижнего отклонений замыкающего звена;

$\Delta B_{\Delta_з}$, $\Delta H_{\Delta_з}$ — те же значения, заданные чертежом.

Если КЗ — увеличивающее звено, то используются уравнения:

$$\Delta B_к = \Delta H_{\Delta_з} - \Delta H_{\Delta_ф};\ \ \Delta H_к = \Delta B_{\Delta_з} - \Delta B_{\Delta_ф}.$$

Исполнительный размер компенсатора определяется из уравнения

$$A_{и.к} = A_{к.н} + \Delta B_к,$$

где $A_{к.н}$ — номинальный размер КЗ.

После определения $A_{и.к}$ назначают допуск на изготовление КЗ. Если СРЦ имеет симметричные допуски на все звенья, включая замыкающее звено, то предельные отклонения будут равны

$$\Delta B_к = \Delta H_к = \pm\delta_к/2,$$

а исполнительный размер КЗ вычисляется по формуле

$$A_{и.к} = A_{к.н} + \delta_к/2.$$

Принцип селективной сборки

При селективной сборке ответственных узлов с жесткими допусками на величину зазора и натяга используется метод *группового подбора,* по которому производят предварительную сортировку деталей на размерные группы в пределах установленного допуска с последующей сборкой узлов из деталей одноименных групп.

Допуск на зазор δ_Δ для каждой группы деталей равен

$$\delta_\Delta = (\Delta_{max} - \Delta_{min})/n = (\delta_о - \delta_в)/n,$$

где Δ_{max} и Δ_{min} — соответственно наибольшее и наименьшее отклонения для группы;

$\delta_о$, $\delta_в$ — допуски на отверстие и вал для группы;

n — число групп (обычно n = 5...10).

Средний зазор $\Delta_{з.ср}$ в каждой группе должен быть одинаковым. В случае ***индивидуального подбора*** деталей прецизионного узла удается выдерживать допуски посадок по 5-му квалитету точности при изготовлении деталей по 6—7-му квалитетам. Примером является селективная сборка плунжерных пар топливного насоса дизеля.

Каждая группа деталей характеризуется заданным интервалом отклонения размера $x(x_1, x_2)$. Если принять, что распределение отклонений размеров деталей подчиняется нормальному закону, то вероятность p попадания размера x в заданный интервал (x_1, x_2)

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} P(x)dx,$$

где $P(x)$ — плотность распределения вероятностей отклонения размера x в партии деталей.

Если кривые распределения вероятностей для детали *1* и детали *2* совпадают, т.е. $P(x_1) = P(x_2)$; $\bar{x} = \bar{x}_2$; $\sigma_1 = \sigma_2$ (рис. 5, *а*), то имеем равное число деталей в

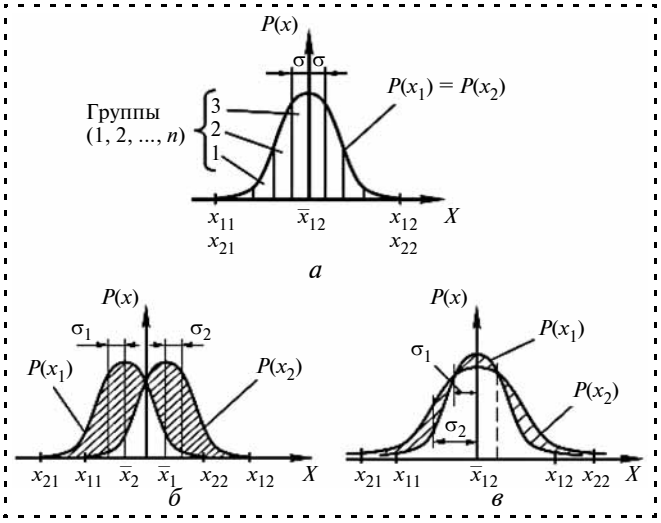


Рис. 5. Распределение плотности вероятности *P*(*x*) отклонений размера *x* для первой и второй детали при совпадении *(а)* и несовпадении (*б, в*) *P*(*x*):
x_{11} ... x_{12}, x_{21} ... x_{22} — границы отклонений размеров первой и второй деталей соответственно

одинаковых группах (1, 2, ..., n) и гарантированную сборку всех узлов без остатка. Если кривые $P(x_1)$ и $P(x_2)$ не совпадают $x_1 \neq \bar{x}_2$ и $P(x_1) \neq P(x_2)$, то получим избыточные и недостающие детали и, следовательно, неполную собираемость узлов.

Для случая $x_1 \neq \bar{x}_2$ (рис. 5, *б*) в области сборки слева от ординаты $P(x)$ будет избыток деталей 2, а справа от $P(x)$ — избыток деталей 1. Область сборки уменьшается с увеличением разности $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$.

В случае $P(x_1) \neq P(x_2)$ и $\sigma_1 \neq \sigma_2$ область полной сборки располагается в середине площади под кривыми плотности вероятности (рис. 5, *в*). Зона неполной сборки (на графиках *б* и *в* рис. 5 она заштрихована) нарастает с увеличением разности $\sigma_2 - \sigma_1$ и $P(x_1) - P(x_2)$.

Для случая когда параметры кривых $P(x_1)$ и $P(x_2)$ не совпадают, т.е. $x_1 \neq \bar{x}_2$; $\sigma_1 \neq \sigma_2$, на участках сборки применяют метод *индивидуального*, а не группового подбора. Метод индивидуального подбора используют и при сборке трехзвенных узлов (в узле три детали вместо двух).

Автоматизация процессов селективной сборки, предполагающей предварительную сортировку деталей на размерные группы в пределах установленного допуска, должна обеспечивать сборку узлов из деталей одноименных групп.

Из схемы автомата групповой сборки следует, что сначала из ячеек *1* накопителей подаются детали первой группы до полного расхода (т.е. операция повторяется m_1 раз по числу пар деталей в первой группе), затем из ячеек *2* и так далее до ячеек *n* (рис. 6).

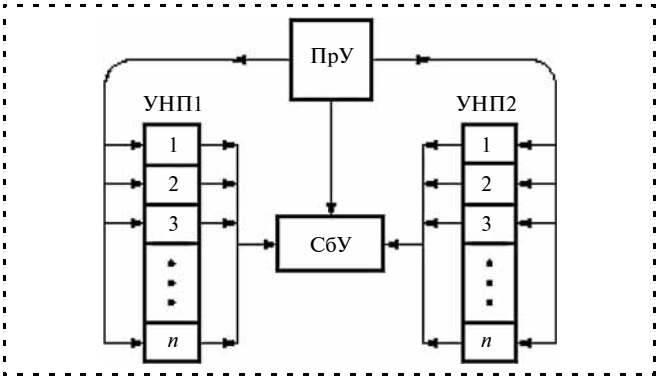


Рис. 6. Структурная схема автомата групповой сборки:
УНП1, УНП2 — устройство накопления и подачи первой и второй деталей соответственно; ПрУ — устройство программного управления; СбУ — сборочное устройство; 1, 2,..., *n* — ячейки накопителей

Недостатки селективной сборки:

- повышенная трудоемкость за счет дополнительной операции сортировки;
- увеличение объема незавершенного производства;
- снижение уровня взаимозаменяемости;
- сужение возможности поставки деталей по кооперации.

Несмотря на указанные недостатки, метод селективной сборки успешно используют для реализации технологий сборки прецизионных изделий в машино- и приборостроении.

Выводы

1. В основе принципа полной взаимозаменяемости лежит метод расчета СРЦ на max-min, который обеспечивает 100 %-ную сборку узлов в автоматическом режиме без компенсирующих звеньев (сборка без риска).

2. В основе принципа частичной (неполной) взаимозаменяемости лежит положение теории вероятностей, согласно которому крайние значения погрешностей звеньев СРЦ встречаются гораздо реже, чем средние (сборка с риском).

3. Принцип сборки с пригонкой и регулировкой заключается в размерной притирке сопрягаемых поверхностей или за счет изменения (коррекции) замыкающего звена без снятия материала.

4. При селективной сборке ответственных узлов с жесткими допусками на величину зазора и натяга используются метод группового подбора, по которому производится предварительная сортировка деталей на размерные группы в пределах установленного допуска с последующей сборкой узлов из деталей одноименных групп.

Библиографический список

1. **Гмурман В.Е.** Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высшая школа, 1975. 333 с.

2. **Иванов А.А., Сафронов В.В.** Роботизированные сборочные комплексы: учеб. пособие. Н. Новгород: НГТУ, 1995. 370 с.

3. **Иванов А.А.** Автоматизированные сборочные системы. Учебник. М.: Форум, 2012. 336 с.

4. **Иванов А.А.** Теоретические основы процессов манипулирования объектами обработки и сборки. Н. Новгород: НГТУ, 2009. 257 с.

УДК 621.317

Е.Н. Безвесильная, *д-р техн. наук,* **С.О. Нечай**, *канд. техн. наук*
(Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"),
А.А. Остапчук, *канд. техн. наук,* **А.Г. Ткачук**
(Житомирский государственный технологический университет, Украина)
E-mail: andrew_tkachuk@i.ua

Определение методических погрешностей и цифровое моделирование сборочной авиационной гравиметрической системы

Определены методические погрешности основных компонентов сборочной авиационной гравиметрической системы и проведено цифровое моделирование с целью изучения влияния различных параметров (курса, широты, скорости, высоты полета самолета) на результаты измерений ускорения силы тяжести.

Methodical errors of main components of assembly aviation gravimetric system are determined and digital simulation to study the effect of influence of different parameters (course, latitude, speed, height of flight the plane) on the results of measurements of the gravity is conducted.

Ключевые слова: авиационная гравиметрическая система, ускорение силы тяжести.

Keywords: aviation gravimetric system, gravity.

Введение

Точные знания гравитационного ускорения g и аномалий Δg гравитационного поля Земли необходимы как в авиационной и космической технике (коррекция систем инерциальной навигации ракет, самолетов, орбит космических летательных аппаратов), так и в других областях науки и техники — в геологии, геодезии (разведка полезных ископаемых, изучение формы поверхности Земли).

Для определения характеристик гравитационного поля Земли можно построить ***авиационную гравиметрическую систему*** (АГС), чувствительным элементом которой является гравиметр. С помощью АГС можно получить гравиметрическую информацию в труднодоступных районах Земли гораздо быстрее и с меньшими затратами, чем при помощи наземных, морских или сухопутных гравиметрических средств.

В целом АГС должна состоять из подсистем, которые выполняют следующие функции:

- измеряют ускорение силы тяжести (гравиметр);
- определяют координаты местоположения, скорость;
- измеряют высоту;
- осуществляют вычислительные операции.

Все подсистемы имеют собственные погрешности, которые непосредственно влияют на конечные выходные показания АГС. Поэтому необходимо определить допустимые значения погрешностей измерения параметров движения летательного аппарата (ЛА) компонентами АГС [1—4] и провести соответствующее моделирование.

Актуальность рассматриваемой проблемы состоит в следующем: заданную точность измерения Δg в (1...3) мГал* [1] можно обеспечить только в том случае, если отдельные сборочные приборные компоненты АГС определяют основные показатели (скорость, курс, ускорение и др.) с требуемой точностью. В известной литературе такие решения заданной проблемы отсутствуют.

Поэтому задача определения методических погрешностей и цифровое моделирование сборочной авиационной гравиметрической системы с целью изучения влияния различных параметров (курса, широты, скорости, высоты полета самолета) на результаты измерений Δg является актуальной.

В известной литературе проведено описание погрешностей АГС, однако отсутствует анализ методических погрешностей АГС, исходя из которого были бы определены требования к условиям проведения авиационных гравиметрических измерений.

Цель данной работы: разработать теорию АГС (провести анализ методических погрешностей

* 1 мГал = $1 \cdot 10^{-5}$ м/с^2 — миллигал.

АГС, определить требования к условиям проведения авиационных гравиметрических измерений), произвести проектирование и моделирование сборочной АГС.

Определение навигационных параметров на самолетах

В работах [1, 3] было получено уравнение для определения аномалии ускорения силы тяжести Δg с помощью АГС:

$$\Delta g = f_z + \frac{v^2}{r}\left\{1 - 2e\left[1 - 2\cos^2\varphi\left(1 - \frac{\sin^2 k}{2}\right)\right]\right\} + $$
$$+ 2\omega_з v \sin k \cos\varphi - 2\dot{h}\frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi + 2\frac{\gamma_0 h}{r} +$$
$$+ \omega_з^2 h \cos^2\varphi - \ddot{h} - \gamma_0, \qquad (1)$$

где f_z — выходной сигнал гравиметра;

v — путевая скорость самолета;

r — радиус местоположения самолета;

e — сжатие Земли;

φ, k, h — широта, курс, высота местоположения самолета;

$\dot{h}$, $\ddot{h}$ — вертикальные скорость, ускорение самолета;

ω_3 — угловая скорость вращения Земли;

γ_0 — справочное значение ускорения силы тяжести.

Используем уравнение (1) для вычисления допустимых погрешностей измерения параметров движения ЛА компонентами АГС. Перепишем его в виде [1]:

$$\Delta\gamma = f_z + D, \qquad (2)$$

где D — суммарная погрешность АГС.

Таким образом, из уравнения (1) суммарная погрешность АГС будет равна:

$$D = \frac{v^2}{r}\left\{1 - 2e\left[1 - 2\cos^2\varphi\left(\frac{\sin^2 k}{2}\right)\right]\right\} +$$
$$+ 2\omega_з v \sin k \cos\varphi - 2\dot{h}\frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi +$$
$$+ 2\frac{\gamma_0 h}{r} + \omega_з^2 h \cos^2\varphi - \ddot{h} - \gamma_0. \qquad (3)$$

Параметры, входящие в равенство (3), определяются отдельными подсистемами АГС.

Связь между абсолютными значениями погрешностей Δv, Δk, $\Delta\varphi$, Δh, $\Delta\dot{h}$, $\Delta\ddot{h}$ подсистем можно представить в виде полного дифференциала функции D [1]:

$$\Delta D = \left(\frac{dD}{dv}\right)\Delta v + \left(\frac{dD}{dk}\right)\Delta k + \left(\frac{dD}{d\varphi}\right)\Delta\varphi +$$
$$+ \left(\frac{dD}{dh}\right)\Delta h + \left(\frac{dD}{d\dot{h}}\right)\Delta\dot{h} + \left(\frac{dD}{d\ddot{h}}\right)\Delta\ddot{h}, \qquad (4)$$

где $\frac{dD}{dv}$, $\frac{dD}{dk}$, $\frac{dD}{d\varphi}$, $\frac{dD}{dh}$, $\frac{dD}{d\dot{h}}$, $\frac{dD}{d\ddot{h}}$ — коэффициенты чувствительности АГС к погрешностям измерения соответствующих параметров, аналитические выражения которых

$$\frac{dD}{dv} = \frac{v^2}{r}\left\{1 - 2e\left[1 - 2\cos^2\varphi\left(1 - \frac{\sin^2 k}{2}\right)\right]\right\} +$$
$$+ 2\omega_з \sin k \cos\varphi - 2\dot{h}\frac{e}{r}\cos k \sin 2\varphi;$$

$$\frac{dD}{d\varphi} = 2\omega_з v \sin k \sin\varphi - \omega_з^2 h \sin 2\varphi -$$
$$- 4e\frac{v^2}{r}\left(1 - \frac{\sin^2 k}{2}\right)\sin 2\varphi - 4\dot{h}\frac{e}{r} v \cos k \cos 2\varphi -$$
$$- \gamma_{0e} 5{,}3 \cdot 10^{-3}\left(1 - 2\frac{h}{r}\right)\sin 2\varphi;$$

$$\frac{dD}{dk} = 2\omega_з v \cos k \cos\varphi -$$
$$- 2e\frac{v^2}{r}\cos^2\varphi \sin 2k + 2\dot{h}\frac{e}{r} v \sin k \sin 2\varphi;$$

$$\frac{dD}{dh} = \omega_з^2 \cos^2\varphi + 2\frac{\gamma_{0e}}{r};$$

$$\frac{dD}{d\dot{h}} = -2\frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi;$$

$$\frac{dD}{d\ddot{h}} = -1.$$

Числовые значения коэффициентов чувствительности (см. таблицу) соответствуют следующим параметрам: $h = 5 \cdot 10^3$ м, $e = 3{,}4 \cdot 10^{-3}$,

Коэффициенты чувствительности АГС

Коэффициент	Путевая v (числитель) и вертикальная $\dot{h}$ (знаменатель) скорости, м/с			
	$\frac{258}{40}$	$\frac{150}{30}$	$\frac{90}{21}$	$\frac{75}{15}$
$\frac{dD}{dv}$, мГал/(м · с$^{-1}$)	22,80	19,80	18,00	17,00
$\frac{dD}{dk}$, мГал/угл. мин	1,10	0,70	0,45	0,32
$\frac{dD}{d\varphi}$, мГал/угл. мин	2,31	2,06	1,90	1,81
$\frac{dD}{dh}$, мГал/м	0,30	0,30	0,30	0,30
$\frac{dD}{d\dot{h}}$, мГал/(м · с$^{-1}$)	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}08 \cdot 10^{-2}$	$0{,}8 \cdot 10^{-2}$
$\frac{dD}{d\ddot{h}}$, мГал/(м · с$^{-2}$)	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$

$r = 6{,}4 \cdot 10^6$ м, $\omega_3 = 7{,}3 \cdot 10^{-5}$ с$^{-1}$, $\gamma_{0e} = 9{,}78049$ м/с^2, v = 258 м/с и $\dot{h}$ = 40 м/с, v = 250 м/с; $\dot{h}$ = 30 м/с, v = 150 м/с; $\dot{h}$ = 21 м/с, v = 90 м/с; $\dot{h}$ = 15 м/с, v = 75 м/с.

По данным таблицы можно определить максимально допустимые погрешности измерения основных параметров компонентами АГС, исходя из того, что погрешность измерения Δg должна быть не более 3 мГал.

Допустимые погрешности измерения параметров движения ЛА основными компонентами АГС:

Скорость v , м/с . . . . . 0,05...0,15
Курс k, угл. мин . . . . . 1,43...3,00
Географическая широта φ, угл. мин . . 0,5...1,5
Высота h, м. . . . . 3,3...10
Вертикальная скорость $\Delta\dot{h}$, м/с . . . . $(0{,}5...1) \cdot 10^2$
Вертикальное ускорение $\Delta\ddot{h}$, м/с^2. . . $(1{,}0...3{,}0) \cdot 10^{-5}$

При моделировании и при экспериментальных исследованиях так же, как и при теоретических исследованиях, применяли разработанную уточненную математическую модель (1) АГС. В практике гравиметрических измерений в известной литературе подобная проблема не ставилась и не освещалась.

Было проведено моделирование-исследование с помощью ЭВМ, направленное на изучение влияния различных параметров (курса, широты, скорости, высоты полета самолета) на результаты измерений Δg с целью определения некоторых закономерностей и выработки рекомендаций по методике проведения авиационных гравиметрических измерений. По экспериментальным данным разработаны программы и алгоритмы, получены результаты исследования — таблицы рассчитанных значений Δg для различных маршрутов полета самолета: при различных курсах (полеты вдоль меридианов); широтах (полеты вдоль параллелей); высоте и различных значениях скорости самолета.

В соответствии с программой исследований Δg были получены зависимости, отображенные на рис. 1 и 2.

Анализ указанных зависимостей позволяет сделать выводы о том, что если при проведении авиационных гравиметрических измерений вдоль земного меридиана (k = const) необходимо точно измерять курс, то при движении вдоль земной параллели (φ = const) важно точное определение скорости. Моделированием и экспериментально подтверждено, что чувствительность АГС к ошибкам измерения скорости будет максимальной для восточного и западного курсов при широте φ = 0°, минимальной при движении самолета с северным и южным курсом и при φ = 90° независимо от курса.

Моделированием и экспериментально подтверждено, что чувствительность ошибки выходного сигнала АГС к ошибкам измерения широты будет максимальна при движении самолета на восток и минимальна при движении самолета на за-

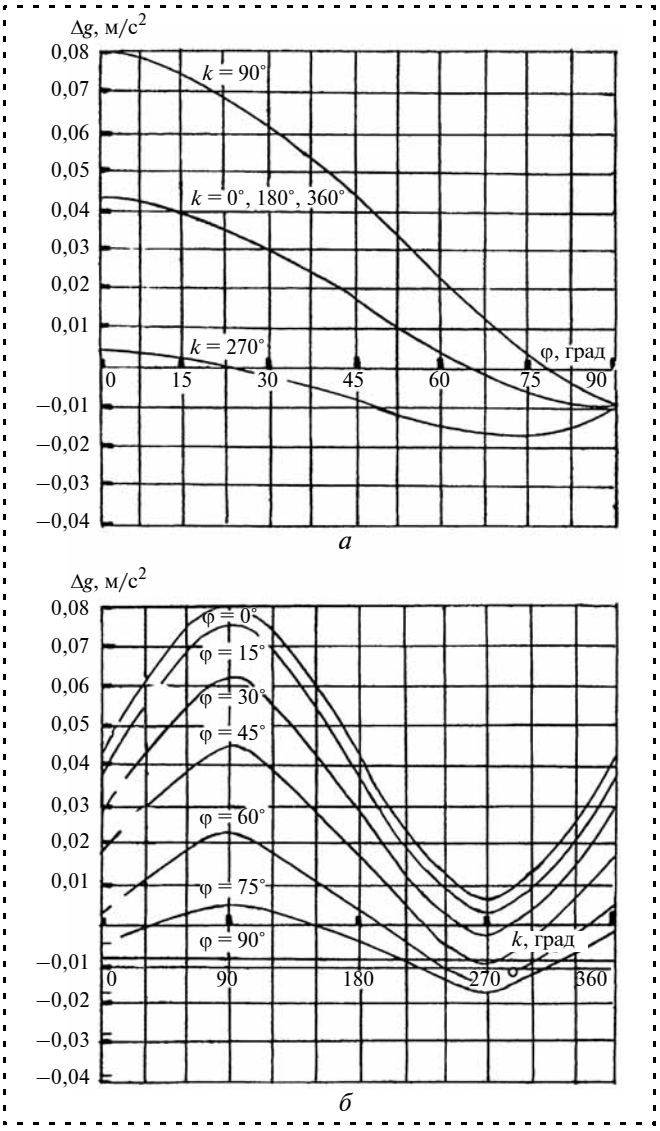


Рис. 1. Зависимость аномалий ускорения силы тяжести Δ*g* (для *h* = 5000 м, $\dot{h}$ = 40 м/с, v = 258 м/с) от:

а — широты φ местоположения объекта при полетах ЛА вдоль меридианов (*k* = const); *б* — курса *k* местоположения объекта при полете ЛА вдоль параллелей

пад. Чувствительность ошибки выходного сигнала системы к ошибкам измерения широты будет максимальна при движении самолета в средних широтах φ = 45...60° и близка к нулю для всех курсов при работе АГС на экваторе, а для самолета, движущегося с курсом *k* = 180° или *k* = 360°, — при φ = 90°.

Моделированием и экспериментально подтверждено, что при движении самолета с северным или южным курсом чувствительность ошибки выходного сигнала АГС к ошибкам измерения курса будет наибольшая; при движении самолета с восточным или западным курсом чувствительность ошибки выходного сигнала АГС к ошибкам измерения курса будет наименьшая.

Произведено проектирование сборочной АГС. Показано, что приведенные требования к точности определения параметров полета самолета обеспечиваются использовавшейся инерциальной навигационной системой И-21-1, входящей в систему

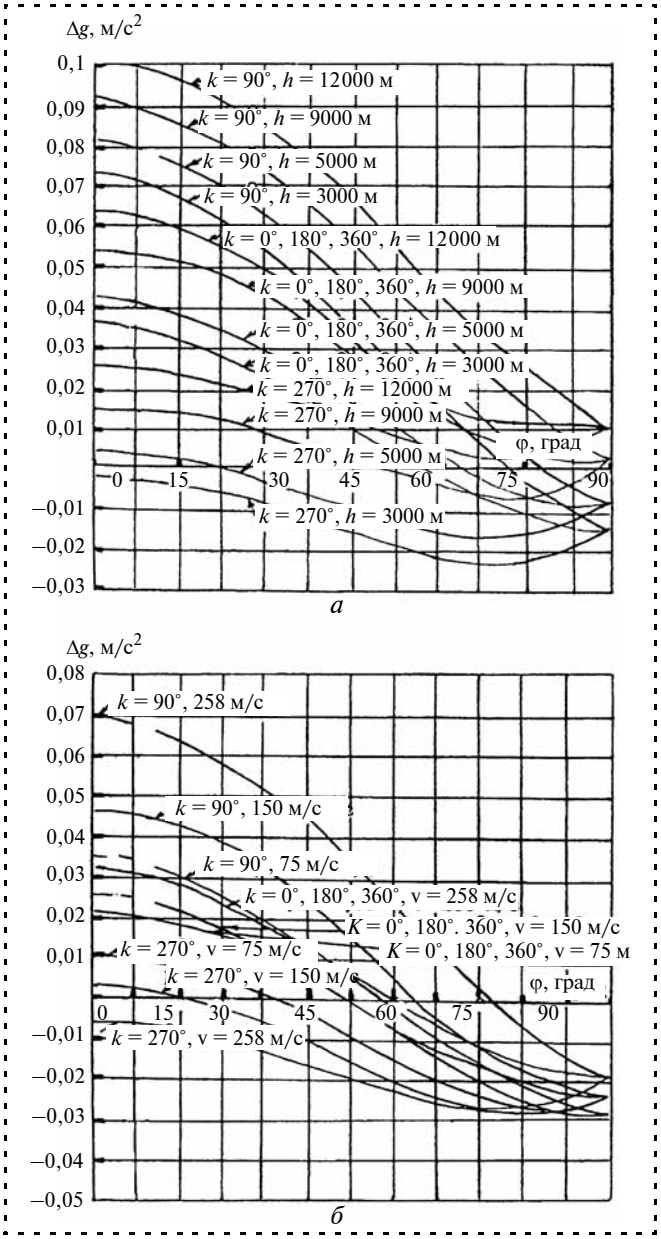


Рис. 2. Зависимость аномалий Δ*g* ускорения силы тяжести (для *h* = 5000 м, $\dot{h}$ = 40 м/с) от:

а — высоты *h* полета ЛА; *б* — скорости v полета ЛА

автономной навигации А-826, которая в свою очередь входит в состав пилотажно-навигационного прицельного комплекса А-820. Проводится доработка самолетов в эксплуатации по реализации комплекта задач третьей очереди, в число которых входит и спутниковая коррекция комплекса. Система И-21-1 в сочетании со спутниковой коррекцией полностью обеспечивает необходимые требования для проведения аэрогравиметрической съемки.

Абсолютную высоту в АГС определяли с необходимой точностью с помощью барометрического комплекса ИКВСП-1-7 над сушей и радиовысотомера РВ-20 (А-034) над морем, входящих в комплекс А-820. Кроме того, использовали экспериментальные образцы высотомеров разработок КБ МАИ "Гребень" (абсолютная погрешность измерения менее 0,3 м) и Каменск-Уральского приборостроительного завода (абсолютная погрешность измерения менее 1,5 м). В комплексе А-820 применяется режим комплексной обработки информации (КОИ) от всех корректирующих подсистем, входящих в состав комплекса: радиолокационных, астро, спутниковых. За счет этого точность выдачи выходных параметров повышается минимум на порядок и является более чем достаточной для нужд аэрогравиметрии.

Выводы

1. Определены методические погрешности основных компонентов сборочной авиационной гравиметрической системы для конечной точности измерения Δg в 1...3 мГал. Проведено цифровое моделирование уравнения движения (1) сборочной АГС с целью изучения влияния различных параметров (курса, широты, скорости, высоты полета самолета) на результаты измерений Δg.

2. Установлено, что чувствительность АГС к ошибкам измерения скорости будет максимальной для восточного и западного курсов при широте $\varphi = 0°$, а минимальной — при движении самолета с северным и южным курсом и при $\varphi = 90°$ — независимо от курса; к ошибкам измерения широты — будет максимальна при полете самолета на восток и минимальна при полете самолета на запад; к ошибкам измерения курса — наибольшая будет при полете самолета с северным или южным курсом, а наименьшая — при полете самолета с восточным или западным курсом. Произведено проектирование сборочной АГС. Показано, что приведенные требования к точности определения параметров полета самолета обеспечиваются использовавшейся инерциальной навигационной системой И-21-1.

Библиографический список

1. **Безвесільна О.М.** Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри. Житомир: ЖДТУ, 2007, 604 с.
2. **Bezvesilnaya E.N., Tkachuk A.G., Kozko K.S.** System for airborne gravimetry // European Applied Sciences (Germany). 2013. № 5(2). P. 37—39.
3. **Безвесільна О.М., Ткачук А.Г.** Науково-теоретичні дослідження нового п’єзоелектричного гравіметра автоматизованої авіаційної гравіметричної системи в екстремальних умовах з використанням нейронних мереж. Житомир: ЖДТУ, 2014. 225 с.
4. **Безвесільна О.М.** Дослідження нової прецизійної інерціальної навігаційної системи при авіаційних гравіметричних вимірюваннях. Житомир: ЖДТУ, 2012. 476 с.

УДК 62-192: 658.5.012.1

А.В. Широкий, *канд. техн. наук (Волгоградский проектный филиал ОАО "Атомэнергопроект"),*
М.Г. Кристаль, *д-р техн. наук (Волгоградский государственный технический университет)*
E-mail: shiroky_alex@mail.ru

Модели распределения случайных интервалов времени между предметами производства в транспортных потоках сборочного оборудования

Рассмотрены вопросы определения параметров распределения интервалов времени в транспортных потоках предметов производства автоматизированного технологического оборудования, в том числе сборочного. Результаты показали, что на стадии проектирования технологических систем, исходя из заданной программы выпуска готовой продукции и паспортных параметров надежности входящего в проектируемую систему оборудования, можно, с учетом принятых схем простоев, предсказать характеристики модифицированных потоков предметов производства. Такой подход позволяет сформировать в проектируемой технологической структуре накопительные и резервирующие устройства, обеспечивающие заданную среднюю производительность технологического процесса.

The paper discusses the issues of determining the parameters of the distribution of time intervals in production lines subjects automated production process equipment, including assembly. The results showed that at the design stage of technological systems on the basis of a given program of finished products and passport reliability parameters included in the system designed equipment can be, given the adopted schemes downtime, predict the characteristics of the modified production lines. This approach allows us to generate in the technological structure of the projected savings and reserving devices providing a predetermined average performance of the process.

Ключевые слова: автоматизированное технологическое оборудование, транспортный поток, предмет производства, интенсивность потока, степень последействия.

Keywords: automated processing equipment, production line, object of production, rate of occurrence, degree of aftereffect.

Введение

Для обеспечения заданной производительности технологической системы требуется адекватная оценка параметров потоков предметов производства (ПП) в этих системах. Особенно это касается автоматических сборочных систем (АСС) [8—10], где время протекания сборочной операции или перехода, как правило, незначительно.

Известные теоретические исследования в этой области [1] базируются на марковских процессах, где потоки являются простейшими. Это приводит к тому, что накопительные устройства, а также резервирование избыточны [6]. Проведенные авторами исследования [2—5] дают основание утверждать, что потоки в автоматизированных технологических системах имеют ограниченное последействие, а интервалы времени между предметами производства в транспортных каналах имеют гамма-распределение.

На основе параметров этого распределения возможно установление функциональных зависимостей, связывающих надежность работы технологического оборудования с параметрами формируемых потоков ПП. Эти зависимости позволяют надлежащим образом организовать управление сложными автоматическими сборочными системами [7].

Влияние простоев оборудования на значение случайного интервала времени между ПП в транспортных потоках технологических систем

Авторами предложена схема приведения простоев оборудования из-за отказов и ремонтов к каждому случайному интервалу времени X между соседними ПП потока. Интервал времени Ω между соседними ПП в потоке с учетом приведения простоев оборудования может быть представлен в виде преобразования случайных величин (СВ):

$$\Omega = X\left(1 + \frac{Z}{Y}\right), \qquad (1)$$

где X — интервал времени между соседними ПП в потоке без учета простоев оборудования (т.е. в исходном потоке ПП);

Y — длительность работы оборудования до отказа;

Z — время восстановления оборудования после отказа или длительности ремонта.

В дальнейшем принято, что X, Y, Z подчиняются гамма-распределению с параметрами:

$\lambda_{исх}$ и $k_{исх}$ — интенсивность и степень последействия в исходном потоке интервалов времени между ПП;

$\lambda_{отк}$ и $k_{отк}$ — интенсивность и степень последействия в потоке интервалов времени безотказной работы единицы технологического оборудования;

$\lambda_{вос}$ и $k_{вос}$ — интенсивность и степень последействия потока интервалов времени восстановления оборудования.

Каждой схеме проведения ремонта оборудования из рассмотренных далее (**А, Б, В**), будут соответствовать следующие варианты выражения (1) преобразования СВ X, Y, Z.

А. $\Omega = X\left(1 + \dfrac{\lambda_{отк}}{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}\right)$ — при регулярных, проводимых через определенный интервал времени, ремонтах постоянной длительности, что соответствует $Y = \text{const}$ и $Z = \text{const}$, когда СВ Ω прямо пропорциональна исходной СВ X.

Б. $\Omega = X\left(1 + \dfrac{Z}{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}\right)$ — при регулярных, проводимых через определенный интервал времени, ремонтах случайной длительности, что соответствует $Y = \text{const}$, когда СВ Ω является функцией СВ X и Z.

В. $\Omega = X\left(1 + \dfrac{\lambda_{отк}}{\lambda_{исх}Y}\right)$ — при случайных отказах оборудования, устраняемых в ходе ремонта постоянной длительности, что соответствует $Z = \text{const}$, когда СВ Ω является функцией СВ X и Y.

Для вычисления плотности вероятности величины Ω для указанных случаев можно воспользоваться данными табл. 5.1 в работе [10].

Таким образом, при регулярных, проводимых через определенный интервал времени, ремонтах постоянной длительности (по варианту **А**), плотность вероятности $p(\omega)$ СВ Ω имеет вид:

$$p(\omega) = \begin{cases} 0 \quad \text{при } x - \dfrac{\lambda_{отк}}{\lambda_{исх}\lambda_{вос}} < 0; \\ \dfrac{1}{\Gamma(k_{исх})}\left[\left(x - \dfrac{\lambda_{отк}}{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}\right)k_{исх}\lambda_{исх}\right]^{k-1} e^{-\left(x - \frac{\lambda_{отк}}{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}\right)k_{исх}\lambda_{исх}} k_{исх}\lambda_{исх} \text{ при } x - \dfrac{\lambda_{отк}}{\lambda_{исх}\lambda_{вос}} \geqslant 0, \end{cases} \quad (2)$$

что соответствует уже известному выражению для плотности вероятности гамма-распределения с параметрами $\lambda_{\Omega А}$ и $k_{\Omega А}$:

$$\lambda_{\Omega А} = \frac{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}{\lambda_{вос} + \lambda_{отк}} = \lambda_{исх}K_{гот}; \quad (3)$$

$$k_{\Omega А} = \frac{(\lambda_{вос} + \lambda_{отк})^2}{\lambda_{вос}^2}k_{исх} = \frac{k_{исх}}{K_{гот}^2}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) позволяют определить параметры потока ПП с учетом приведения простоев оборудования по известному значению коэффициента $K_{гот}$ готовности оборудования при проведении регулярных, проводимых через определенный интервал времени, ремонтов постоянной длительности. Графическое изображение влияния коэффициента $K_{гот}$ готовности оборудования на величины $\lambda_{\Omega Б}$ и $k_{\Omega Б}$ дано соответственно на рис. 1.

В случае проведения регулярных, через определенный интервал времени, ремонтов случайной длительности (в соответствии с вариантом **Б**) выражение для плотности вероятности $p(\omega)$ случайной величины Ω имеет вид, более громоздкий, чем в формуле (2), вследствие чего в настоящей статье не приводится. При этом оно имеет структуру, соответствующую известному выражению для плотности гамма-распределения с параметрами $\lambda_{\Omega Б}$ и $k_{\Omega Б}$:

$$\lambda_{\Omega Б} = \frac{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}{\lambda_{вос} + \lambda_{отк}} = \lambda_{исх}K_{гот}; \quad (5)$$

$$k_{\Omega Б} = \frac{k_{исх}k_{вос}(\lambda_{вос} + \lambda_{отк})^2}{k_{вос}\lambda_{вос}^2 + k_{исх}(\lambda_{отк}^2)}. \quad (6)$$

Как следует из выражения (5), интенсивность потока $\lambda_{\Omega Б}$ ПП с учетом простоев оборудования определяется исключительно коэффициентом готовности $K_{гот}$ оборудования.

Коэффициент готовности $K_{гот}$ оборудования не входит в явном виде в выражение (6), однако величины $\lambda_{отк}$ и $\lambda_{вос}$ однозначно определяют его значение, что позволяет графически отобразить

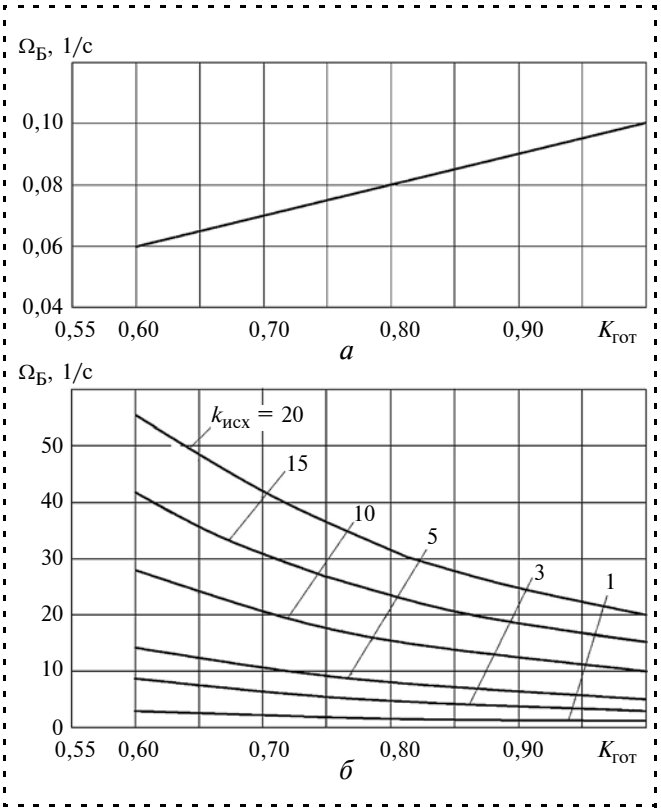


Рис. 1. Влияние коэффициента $K_{гот}$ готовности оборудования на интенсивность λ потока ПП (*а*) и на степень последействия в потоке ПП при проведении регулярных ремонтов постоянной длительности (*б*)

влияние коэффициента $K_{гот}$ на степень последействия $k_{\Omega Б}$ в потоке ПП с учетом простоев оборудования. Такие зависимости даны на рис. 2 сплошными линиями при различных значениях $k_{вос}$. Характерной особенностью таких зависимостей является наличие максимума степени последействия в потоке ПП с учетом простоев оборудования $k_{\Omega Б_{max}} = k_{исх} + k_{вос}$, достигаемого при выполнении равенства:

$$\frac{\lambda_{отк}}{\lambda_{вос}} = \frac{k_{вос}}{k_{исх}}. \qquad (7)$$

Выражение для плотности вероятности $p(\omega)$ при случайных отказах оборудования, устраняемых в ходе ремонта постоянной длительности (вариант **В**), в аналитическом виде авторами не получено, но сравнение вычисленных характеристик распределения СВ Ω (медиана, мода, асимметрия, эксцесс и пр.) и гамма-распределения с параметрами $\lambda_{\Omega В}$ и $k_{\Omega В}$ позволяют утверждать, что гамма-распределение с параметрами $\lambda_{\Omega В}$ и $k_{\Omega В}$ может являть-

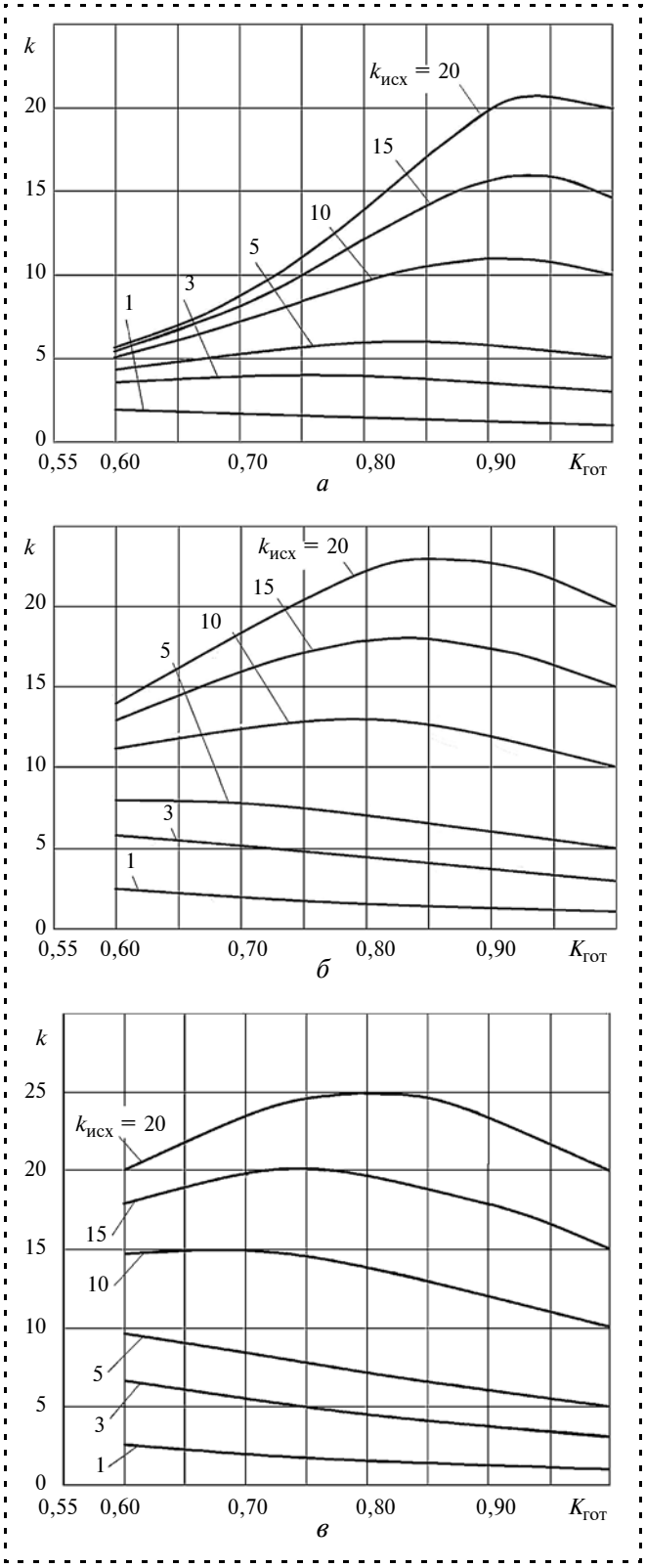


Рис. 2. Влияние коэффициента $K_{гот}$ готовности оборудования на степень последействия в потоке ПП при проведении регулярных ремонтов случайной длительности:
а — $k_{вос}$ = 1; *б* — $k_{вос}$ = 3; *в* — $k_{вос}$ = 5

ся адекватной моделью для СВ Ω. Это позволяет установить взаимосвязь между параметрами потока ПП с учетом простоев оборудования и параметрами надежности функционирования оборудования. Установлено, что интенсивность $\lambda_{\Omega В}$ может быть найдена по выражению

$$\lambda_{\Omega В} = \frac{\lambda_{исх}\lambda_{вос}(k_{отк}-1)}{\lambda_{вос}(k_{отк}-1)+k_{отк}\lambda_{отк}} \approx \approx \frac{\lambda_{исх}\lambda_{вос}}{\lambda_{вос}+\lambda_{отк}} = \lambda_{исх}K_{гот}. \quad (8)$$

Выражение (8) при $k_{отк} \geqslant 5$, т. е. когда множитель $k_{отк}$ при $\lambda_{отк}$ в знаменателе может быть заменен на $k_{отк} - 1$, сводится к полученной ранее формуле (3), общей для вариантов **А** и **Б**. При этом максимальная ошибка такой замены составляет не более 9 % при значении $K_{гот} = 0{,}6$ и $k_{отк} = 1$ (рис. 3).

Степень последействия $k_{\Omega В}$ в потоке ПП с учетом приведения простоев оборудования находится как

$$k_{\Omega В} = \frac{(k_{отк}\lambda_{вос} - \lambda_{вос} + k_{отк}\lambda_{отк})^2 \times}{k_{отк}^3\lambda_{вос}^2 + k_{исх}k_{отк}^2 - 4k_{отк}^2\lambda_{вос}^2 + \rightarrow} \rightarrow \frac{\times k_{исх}(k_{отк}-2)}{+5k_{отк}\lambda_{вос}^2 - 2\lambda_{вос}^2}. \quad (9)$$

Коэффициент готовности $K_{гот}$ оборудования не входит в явном виде в выражение (9), однако величины $\lambda_{отк}$ и $\lambda_{вос}$ однозначно определяют его значение, что позволяет графически отобразить влияние коэффициента $K_{гот}$ на степень последействия $k_{\Omega В}$ в потоке ПП с учетом простоев оборудования. Такие зависимости даны на рис. 4 при различных

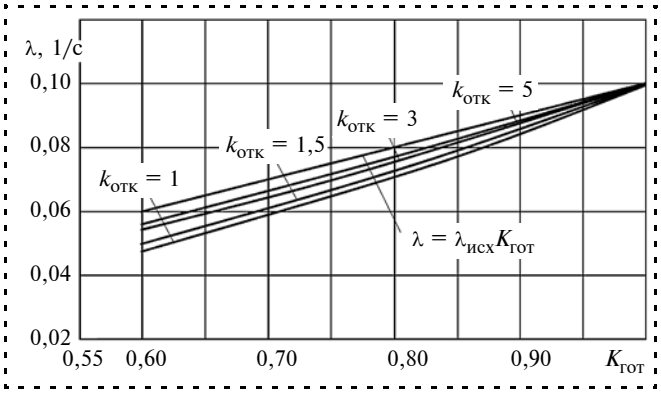


Рис. 3. Влияние коэффициента $K_{гот}$ готовности оборудования на интенсивность λ потока ПП при различных значениях $k_{отк}$

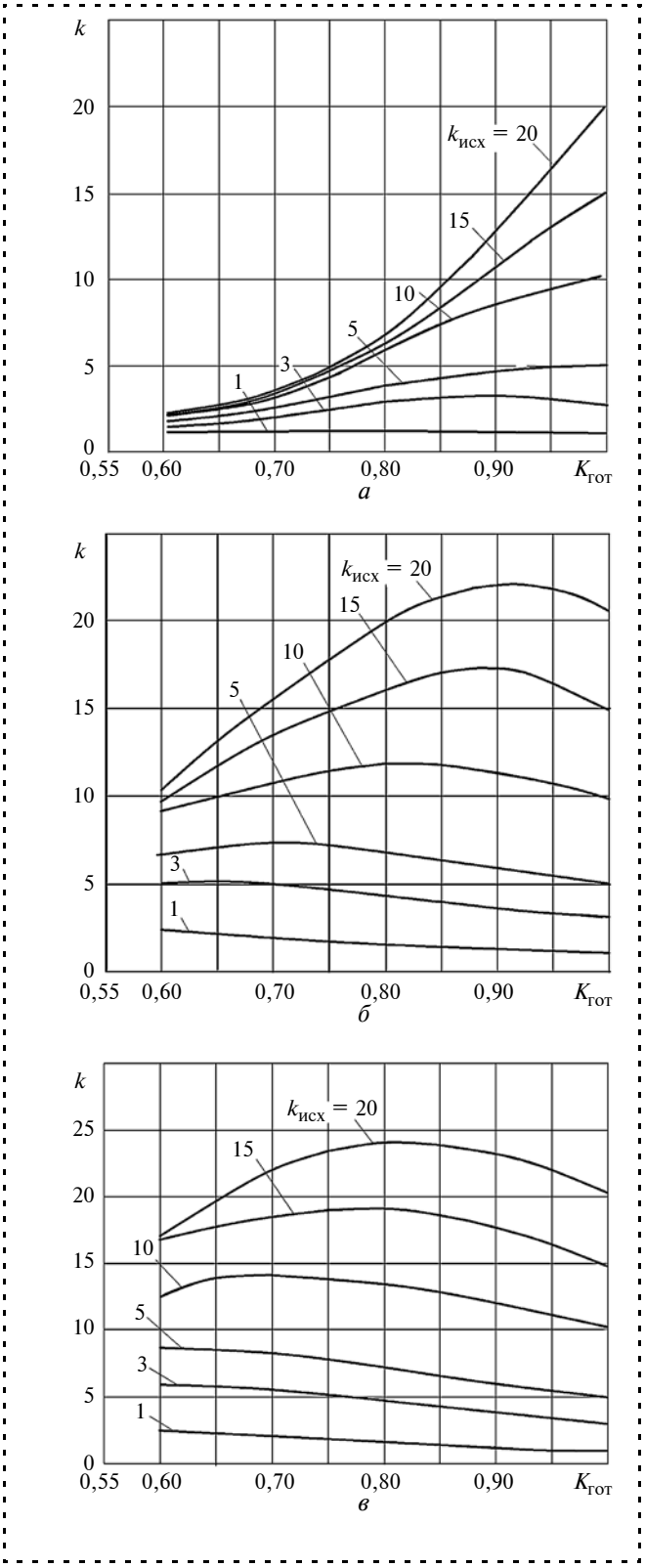


Рис. 4. Влияние коэффициента $K_{гот}$ готовности оборудования на степень последействия в потоке ПП при проведении ремонтов постоянной длительности через случайный интервал времени:
а — $k_{отк} = 1$; *б* — $k_{отк} = 3$; *в* — $k_{отк} = 5$

значениях $k_{отк}$. Характерной особенностью таких зависимостей является наличие максимума степени последействия в потоке ПП с учетом простоев оборудования $k_{\Omega B_{max}} = k_{исх} + k_{отк} - 2$, достигаемого при выполнении равенства:

$$\frac{\lambda_{отк}}{\lambda_{вос}} = \frac{(k_{отк} - 1)(k_{отк} - 2)}{k_{исх} k_{отк}}. \quad (10)$$

Выражения (8) и (9) содержат множители $k_{отк} - 1$ и $k_{отк} - 2$, которые могут привести к неопределенности значений параметров $\lambda_{\Omega B}$ и $k_{\Omega B}$ при $k_{отк} = 1$ и $k_{отк} = 2$ соответственно. Было установлено, что такая неопределенность может быть преодолена, если принять при вычислениях параметров $\lambda_{\Omega B}$ и $k_{\Omega B}$ начальное смещение величины $k_{отк}$, равное 1,5, т.е. при подстановке в выражения (8) и (9) используется значение $k_{отк}$, увеличенное на 1,5. Теоретические кривые, построенные на рис. 4 для функции $k_{\Omega B} = f(K_{гот}, k_{отк})$, используют именно такую подстановку. Начальное смещение значения степени последействия в потоке отказов оборудования $k_{отк}$ определено исходя из достижения максимума величины всей гаммы данных, приведенных на рис. 4.

Заключение

Дана вероятностная интерпретация приведения простоев оборудования из-за поломок и ремонтов к каждому случайному интервалу времени между соседними деталями потока в виде преобразования СВ, характеризующих интервалы времени X между соседними деталями, интервалы времени между отказами оборудования Y и длительности его восстановления Z после отказов.

Рассмотрены варианты преобразования СВ X, Y, Z, соответствующие наиболее часто встречающимся на практике схемам проведения ремонта оборудования.

Установлено, что гамма-распределение является адекватной моделью для СВ интервала времени между соседними деталями в потоке ПП с учетом простоев оборудования.

На основе модели гамма-распределения предложены аналитические выражения для определения численных значений параметров потока ПП с учетом отказов оборудования для случаев проводимых через определенный интервал времени планово-предупредительных ремонтов постоянной длительности, случаев проводимых через определенный интервал времени планово-предупредительных ремонтов случайной длительности и при наличии случайных отказов оборудования, устраняемых в ходе ремонтов постоянной длительности.

Выполнен анализ полученных выражений для параметров потока ПП с учетом отказов оборудования для определения границ их применимости и условий достижения ими экстремальных значений.

Библиографический список

1. **Копп В.Я.** Моделирование автоматизированных производственных систем. Севастополь: Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2012. 700 с.
2. **Технология** автоматической сборки / А.Г. Холодкова и др.; под ред. А.Г. Холодковой. М.: Машиностроение, 2010. 560 с.
3. **Кристаль М.Г., Широкий А.В.** Имитационное моделирование потоков деталей в каналах питания технологического оборудования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2004. № 11. С. 22—26.
4. **Кристаль М.Г., Труханов В.М.** Влияние характеристик потоков ПП на надежность функционирования автоматических сборочных устройств / Надежность сложных технических систем типа подвижных установок на этапах производства и эксплуатации. М., 2005. С. 120—128.
5. **Кристаль М.Г., Широкий А.В., Чувилин И.А.** Новый подход в определении объема накопителя ПП // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 12. С. 6—9.
6. **Бабушкин М.Н., Кристаль М.Г., Харькин О.С.** О возможности применения общей теории управления в задачах автоматизации сборочных процессов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2001. № 9. С. 19—22.
7. **Кристаль М.Г.** Оценка погрешности относительного расположения сопрягаемых поверхностей деталей при автоматической сборке цилиндрических соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2000. № 6. С. 20—23.
8. **Бабушкин М.Н., Кристаль М.Г.** Перспективы повышения производительности автоматических сборочных систем (АСС) // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 8. С. 22—29.
9. **Кристаль М.Г.** Производительность и надежность сборочных автоматов. Волгоград: ВолгГТУ, 2011. 159 с.
10. **Хан Г., Шапиро С.** Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 395 с.

УДК 658.562:621.9

Д.В. Бурцев, Е.В. Давыдова, *канд. техн. наук,* **В.В. Прейс**, *д-р техн. наук*
(Тульский государственный университет)
E-mail: elen-davidova@mail.ru

Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами

Рассмотрена математическая модель производительности механического дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами для деталей формы тел вращения с явно выраженной асимметрией торцов.

The mathematical model of productivity of the mechanical disk hopper feeding device with radial profile socket for details forms of rotary bodies with a pronounced asymmetry ends is considered.

Ключевые слова: бункерное загрузочное устройство, производительность, автоматическая загрузка.

Keywords: *hopper feeding device, productivity, automatic feeding.*

Механическое дисковое бункерное загрузочное устройство (БЗУ) с радиальными профильными гнездами (рис. 1) предназначено для загрузки стержневых осесимметричных деталей формы тел вращения, составленных из цилиндрической и конической частей, с явно выраженной асимметрией по торцам при отношении длины детали к диаметру ее цилиндрической части более трех. В данном БЗУ функции захвата и ориентирования деталей совмещены, а ориентирование реализовано активным способом.

Механическое дисковое БЗУ содержит вращающийся диск *1* с радиальными пазами *2*, оканчивающимися захватывающими органами — сквозными гнездами *3*, имеющими форму, соответствующую конфигурации внешнего контура деталей. Детали, запавшие в гнезда в правильном положении II (рис. 2), в процессе вращения диска перемещаются в верхнюю часть бункера БЗУ и выдаются в приемник. Детали, занявшие в гнездах неправильное положение I, переориентируются в требуемое положение II под действием копира *4* (см. рис. 1), расположенного в верхней части бункера БЗУ. При дальнейшем вращении диска все детали, запавшие в гнезда, переносятся к приемнику (на рис. 1 не показан) и выдаются из БЗУ.

Для надежного захвата детали гнездом, движущимся с постоянной окружной скоростью v, необходимо, чтобы ширина гнезда была больше диаметра детали на величину зазора по шагу Δt (см. рис. 2). Зазор по шагу должен быть такой, чтобы при движении гнезда на протяжении пути Δt деталь успела бы запасть в гнездо на определенную

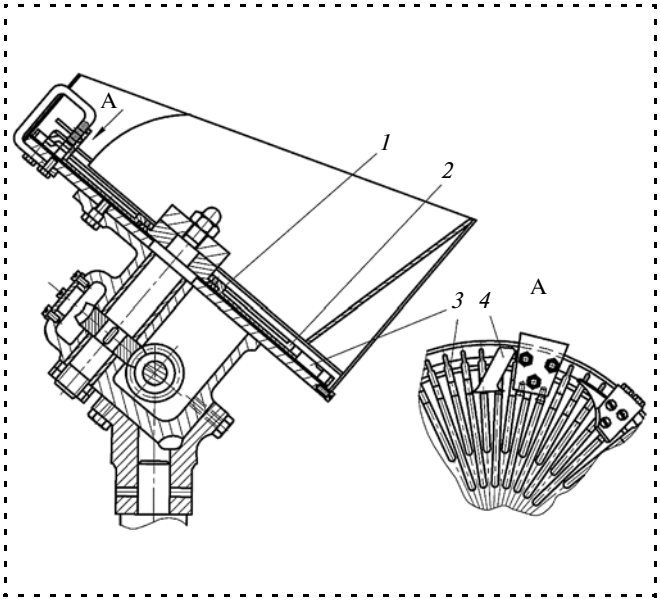


Рис. 1. Механическое дисковое бункерное загрузочное устройство с радиальными профильными гнездами

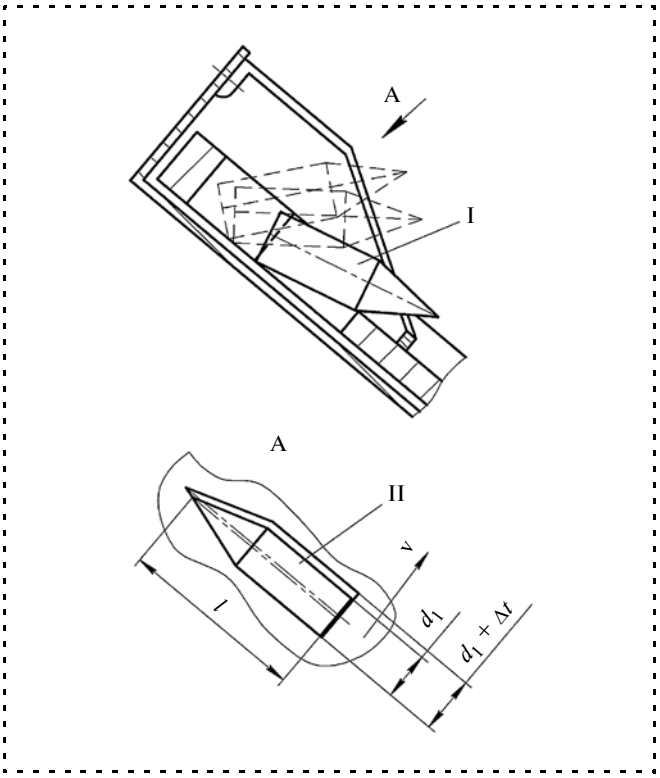


Рис. 2. Положение деталей в радиальном профильном гнезде бункерного загрузочного устройства

глубину, обеспечивающую ее надежный захват. Для механических дисковых БЗУ с радиальными захватывающими органами $\Delta t = (0{,}1...0{,}2)d_1$, где d_1 — диаметр цилиндрической части детали.

Математическую модель производительности механического дискового БЗУ с радиальными профильными гнездами, в отличие от предыдущих работ [1—4], запишем в несколько ином виде

$$\Pi_{\text{БЗУ}} = 30\frac{\text{v}u}{\pi R}\left(\eta_{\max} - a\text{v}^4\right), \qquad (1)$$

где v — окружная скорость вращающегося диска БЗУ по оси захватывающих органов;

u — число захватывающих органов;

R — радиус диска БЗУ по оси захватывающих органов;

$\eta_{\max}$ — максимальное значение коэффициента выдачи, соответствующее окружной скорости диска с захватывающими органами, стремящейся к нулю;

a — коэффициент, учитывающий конструктивные особенности БЗУ.

Коэффициент выдачи $\eta_{\max}$ по аналогии с данными работ [1, 2] представим в виде произведения двух вероятностей:

$$\eta_{\max} = p_{i_p} p_c, \qquad (2)$$

где p_{i_p} — вероятность нахождения детали на пути захватывающего органа в положении, благоприятном для захвата;

p_c — вероятность того, что захвату не помешает взаимная сцепляемость деталей.

Для определения p_{i_p} используем выражение

$$p_{i_p} = 1 - \left(1 - p_{i_{p_{\max}}}\right)^m \left(1 - p_{i_{p_{\max}}}\right)^n, \qquad (3)$$

где $p_{i_{p_{\max}}}$, $p_{i_{p_{\min}}}$ — максимальная и минимальная вероятности нахождения детали на пути захватывающего органа в положении, благоприятном для захвата;

m — показатель, зависящий от длины участка в нижней части бункера БЗУ, свободного от деталей ($m = 1...3$);

n — число деталей, которые могут одновременно поместиться в зоне захвата в нижней части бункера БЗУ, $n = \dfrac{\pi R \phi_3}{180 d_1}$ (ϕ_3 — угол, характеризующий зону захвата деталей, на протяжении которой возможно западание деталей в гнездо [1, 2]).

Максимальную и минимальную вероятности нахождения детали на пути захватывающего органа в положении, благоприятном для захвата, определим по выражениям:

$$p_{i_{p_{\max}}} = p_k \frac{1}{\pi}\left(\arccos\frac{l_1 - x_{\text{ц.м.}}}{\sqrt{\left(l_1 - x_{\text{ц.м.}}\right)^2 + \dfrac{d_1^2}{4}}} - \arcsin\frac{\mu}{\text{tg}\alpha_{\text{бун}}}\right); \qquad (4)$$

$$p_{i_{p_{\min}}} = p_k \frac{1}{\pi}\left(\arcsin\frac{\Delta t + d_1}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}} - \text{arctg}\frac{d_1}{l_1}\right), \qquad (5)$$

где p_k — вероятность того, что деталь ляжет на поверхность вращающегося диска образующей своей цилиндрической части;

l_1 — длина цилиндрической части детали;

$x_{ц.м}$ — расстояние от центра масс детали до ее цилиндрического торца;

μ — коэффициент трения деталей об элементы конструкции БЗУ;

$\alpha_{бун}$ — угол наклона дна бункера БЗУ к горизонту.

Для стержневых осесимметричных деталей с асимметрией по торцам вероятность p_k определим по известному выражению

$$p_k = \frac{x_{ц.м.}}{\sqrt{4x_{ц.м.}{}^2 + d_1^2}} + \frac{l - x_{ц.м.}}{\sqrt{4\left(l - x_{ц.м.}\right)^2 + d_2^2}}, \qquad (6)$$

где d_2 — диаметр торца детали со стороны ее конической части (в случае заостренной конической части $d_2 = 0$);

l — длина детали.

Вероятность p_c для стержневых деталей определяют по известной зависимости

$$p_c = 1 - \frac{\operatorname{arctg}\mu}{\pi}\frac{0{,}9 + 1{,}4\dfrac{l}{d_1}}{1 + 2\dfrac{l}{d_1}}. \qquad (7)$$

Из выражения (1) следует, что при $П_{БЗУ} = 0$ коэффициент

$$a = \frac{\eta_{max}}{v_{max}}, \qquad (8)$$

где v_{max} — максимальная окружная скорость диска БЗУ с захватывающими органами — гнездами, при которой деталь не сможет запасть в гнездо на глубину Δh, необходимую для ее надежного захвата (см. рис 2), за время прохождения центром масс детали пути Δt.

Минимальное значение глубины западания детали в гнездо определено из следующего условия: деталь не должна быть выброшена из гнезда при соударении с кромкой движущегося гнезда, которое может произойти в процессе западания.

Тогда математическое выражение, определяющее максимальное значение окружной скорости захватывающих органов БЗУ, при которой деталь не сможет запасть в гнездо, может быть представлено следующим образом:

$$v_{max} = \sqrt{g\left[1{,}4k_1d_1 + 0{,}8\Delta t - 0{,}2\sqrt{5d_1{}^2 - 4\left(\Delta t - 2k_1d_1\right)^2}\right]}, \qquad (9)$$

где k_1 — коэффициент, характеризующий расчетную глубину гнезда, $k_1 = 0{,}3...0{,}5$.

Таким образом, математическая модель производительности механического дискового БЗУ с радиальными профильными гнездами представлена выражениями (1)—(9).

Верификация математической модели производительности БЗУ была проведена с использованием результатов экспериментальных исследований, полученных ранее В.Ф. Прейсом [5] для БЗУ с параметрами: $\alpha_{бун} = 45°$, $R = 0{,}175$ м, $u = 60$ и деталей, имеющих конический торец, с габаритными размерами $l = 0{,}035$ м, $d_1 = 0{,}008$ м.

Максимальные значения коэффициента выдачи η_{max} и окружной скорости v_{max} диска с радиальными гнездами, полученные из предложенной математической модели, и соответствующие им экспериментальные значения, полученные В.Ф. Прейсом путем аппроксимации экспериментальных данных, практически близки, что видно из представленной таблицы.

Результаты верификации математической модели производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами

Вид данных	η_{max}	v_{max}	a
Экспериментальные данные (по В.Ф. Прейсу)	0,404	0,294	54,207
Теоретические данные (по математической модели)	0,404	0,282	63,636

Графики теоретических и экспериментальных зависимостей коэффициента выдачи и фактичес-

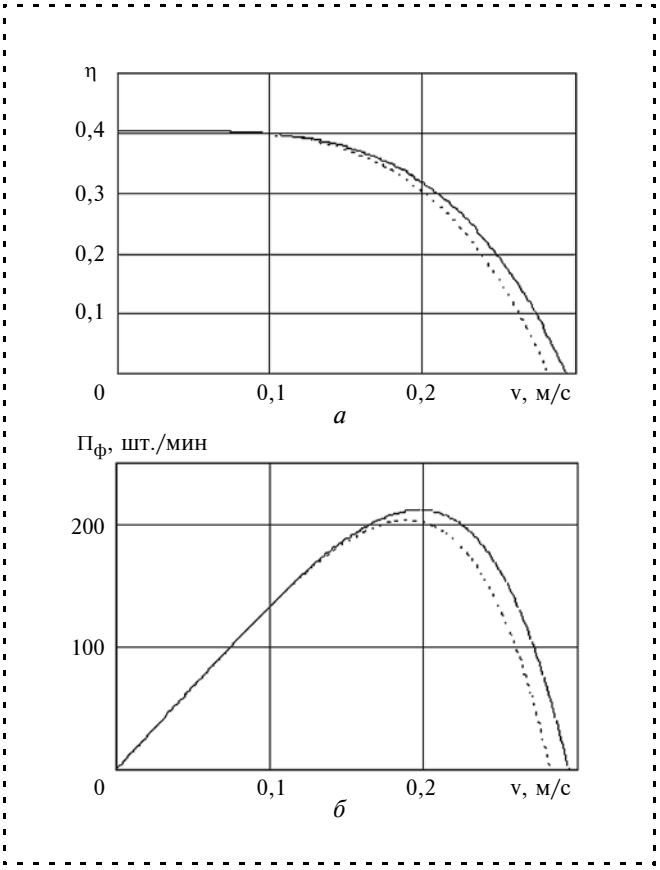


Рис. 3. Зависимости коэффициента выдачи η (экспериментальные зависимости по В.Ф. Прейсу) (*а*) и фактической производительности $П_ф$ (теоретические зависимости по предложенной математической модели) (*б*) бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами от окружной скорости захватывающих органов

кой производительности БЗУ с радиальными профильными гнездами от окружной скорости захватывающих органов представлены на рис. 3 и визуально показывают хорошее совпадение. Относительное отклонение теоретических значений от экспериментальных значений производительности по всему диапазону значений окружной скорости диска с захватывающими органами не превышает 10 %. Так как случайные колебания производительности БЗУ могут достигать 25 % от среднего значения, то такое отклонение допустимо.

Таким образом, предложенная математическая модель адекватно описывает закономерность изменения производительности БЗУ с радиальными профильными гнездами в зависимости от его основных кинематических и конструктивных параметров и параметров, характеризующих деталь, что позволяет рекомендовать ее для практических расчетов при проектировании БЗУ на заданную производительность.

Библиографический список

1. **Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2009. № 11. С. 23—30.

2. **Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Аналитическая модель производительности вертикального бункерного загрузочного устройства // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2010. № 9. С. 27—31.

3. **Голубенко В.В., Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Аналитическая модель производительности дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 6. В 2-х ч. Ч. 2. С. 104—113.

4. **Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Теоретические основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 7. В 2-х ч. Ч. 1. С. 10—20.

5. **Автоматизация** загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс и др.; под ред. В.Ф. Прейса. М.: Машиностроение, 1975. 280 с.

УДК 621.791.048

И.О. Бохоров, В.В. Карабанов, *канд.техн.наук*
Тел. 8-915-143-59-34

Изготовление и пайка декоративных предметов интерьера

Рассмотрены традиционная и новые технологии изготовления витражей. Приведены приспособления и материалы, применяемые для изготовления декоративных предметов интерьера. Изложены технологии изготовления витражей, абажуров светильников, латунных рамок в домашних условиях с применением пайки.

Traditional and new manufacturing techniques of stained-glass windows considered. Accessories and materials used for the manufacture of decorative articles of interior is shown. Set forth manufacturing techniques of stained glass, lamp, brass frames at home with the use of soldering.

Ключевые слова: витраж, стеклянный фрагмент, свинцовая шинка, арматура, пайка, сборка витража, техника Тиффани, латунная лента, абажур светильника, латунная рамка.

Keywords: stained glass, glass fragment, lead tavern, fittings, soldering, assembling of stained glass, Tiffany technique, brass band, the shade of the lamp, brass frame.

Являясь древнейшим способом монолитного соединения металлов, пайка позволяла не только изготавливать предметы быта и труда, но и удовлетворять духовные потребности — создавать предметы украшения для человека и среды его обитания. Важнейшим элементом декорирования интерьера жилых и общественных зданий на протяжении многих веков являлись витражи [1].

Витражное искусство формировалось в период становления стекольного производства и развития технологии изготовления цветного стекла. Впервые европейцы увидели "божественной красоты цветные окна" в католических соборах и были поражены произведенным на них эффектом.

В IX и X веках появляются витражи, изготовленные с применением прочной арматуры из свинцовых полосок, охватывающих края стекол и соединенных между собой методом пайки, с использованием в качестве припоя олова. Следуя линиям композиции, эти полоски создают единое изображение, подобно мозаичному. Такую конструкцию представляют собой средневековые витражи католических соборов.

Эта древнейшая технология изготовления витражей определила дальнейшее развитие витражного искусства и сохранилась до наших дней. Ее применяют во многих витражных мастерских [2].

Расцвет витражного искусства в России приходится на XIX век, когда витражами стали украшать не только соборы, но и гражданские здания, придавая их интерьерам сказочную красоту и возвышенную одухотворенность [3].

В условиях массового строительства коттеджного и элитного жилья вновь возрос интерес к витражам и другим предметам украшения интерьеров помещений. Создано много витражных мастерских, изготавливающих витражи на заказ. Витражное искусство переживает свое второе рождение — это модно, престижно, эффектно. Присутствие витража в интерьере определяет характер восприятия последнего как единого целого пространства.

Кроме витражей существуют и другие виды витражной продукции:

- витражные вставки в окна и двери;
- витражные панно в нишах и перегородках;
- плоские витражные потолки;
- объемные витражные потолочные плафоны;
- светильники с витражными элементами.

Наряду с применением традиционной технологии изготовления классического паяного витража со свинцовой арматурой в мастерских применяют и новые технологии их изготовления.

Однако вследствие высокой стоимости и сложности изготовления витражей они остаются недоступными для большинства населения. Учитывая общедоступность метода низкотемпературной пайки с применением паяльника, можно украсить интерьер своего дома витражами по выбранному или созданному рисунку.

Витраж является прекрасным инструментом, позволяющим совмещать функциональность и красоту, служит украшением не только общественных сооружений, но и обычного дома, дачи. Даже небольшое панно из художественного стекла может стать восхитительным предметом интерьера, а более масштабные элементы будут центром всеобщего восхищения, добавляя радости и настроения [1].

Наиболее широкое применение имеет традиционная технология изготовления паяного витража со свинцовой арматурой. Создание витража проходит большой путь: от замысла до его исполнения в металле. При его изготовлении выполняют обязательный комплекс технологических операций, от аккуратности и точности выполнения которых зависит качество будущего витража [4].

Выбранный или разработанный в натуральную величину рисунок витража, который может представлять геометрический или растительный орнамент, а также фигуры людей или животных, переносят на рабочий картон (ватман) и кальку, из которой вырезают шаблоны для нарезки стеклянных фрагментов рисунка. Рисунок разбивают на небольшие фрагменты, которые обводят гуашью или тушью двойными контурными линиями с расстоянием между ними, равном ширине свинцовой арматуры — *шинки*.

Подготовительными операциями при изготовлении витражей являются нарезание стеклянных фрагментов из цветного листового стекла и изготовление (прокатка) элементов свинцовой арматуры — шинки с Н-образным профилем.

Нарезают стеклянные фрагменты по контурным линиям, нанесенным на стекло по шаблонам, с использованием роликовых или алмазных стеклорезов. Техника выполнения операции резки рассмотрена в источнике [4]. В некоторых случаях можно применить древнейший способ резки стекла раскаленным металлическим предметом с заостренной кромкой.

В начале контурной линии на краю стекла острым напильником делают надрез и от этого надреза по контурной линии плавно проводят заостренной кромкой раскаленного металлического предмета. На стекле образуется трещина. Ненужные участки стекла удаляют постукиванием по линии надреза с обратной стороны стекла. На мелкозернистом наждачном камне обтачивают (скругляют) острые края стеклянных фрагментов для качественной установки их в пазы шинки. Нарезку стеклянных фрагментов витражей можно заказать в стекольной мастерской.

Для изготовления шинки с двутавровым профилем из листового свинца нарезают заготовки длиной 250...300 мм сечением 6×6 мм или 6×7 мм. При наличии свинцовой болванки ее расплавляют и жидким свинцом заливают деревянную или двухстворчатую металлическую форму. После охлаждения формы ее раскрывают и извлекают свинцовую заготовку.

Полученный свинцовый пруток квадратного или круглого сечения пропускают через прокатное устройство (рис. 1), состоящее из двух валков с нарезанными канавками, образующими калибровочное и фигурное формирующее отверстия. Пруток сначала пропускают через калибровочное устройство, затем через фигурное отверстие, в котором он превращается в двутавровую шинку со средней шириной 5 мм и толщиной промежуточной стенки 1 мм. Пазы шинки должны соответствовать толщине стекол (2,5 или 3,0 мм).

В последнее время шинки получают методом прессования. Свинец загружают в нагревательную емкость, откуда в жидком виде он перетекает в цилиндрический резервуар, по которому движется поршень гидравлического пресса. Он выжимает размягченный свинец через фильеру, где и происходит формирование профиля шинки.

Свинцовые профили очень пластичны, но не могут противостоять большим весовым нагрузкам, поэтому максимальный размер изготавливаемого витража не должен превышать одного метра. Вследствие низкой прочности свинца витраж больших размеров может состоять из небольших частей, которые объединяют общей железной или алюминиевой арматурой (рамой). Такие витражи применяют как произведения монументального искусства.

После подготовки стеклянных фрагментов и изготовления шинки приступают к сборке витра-

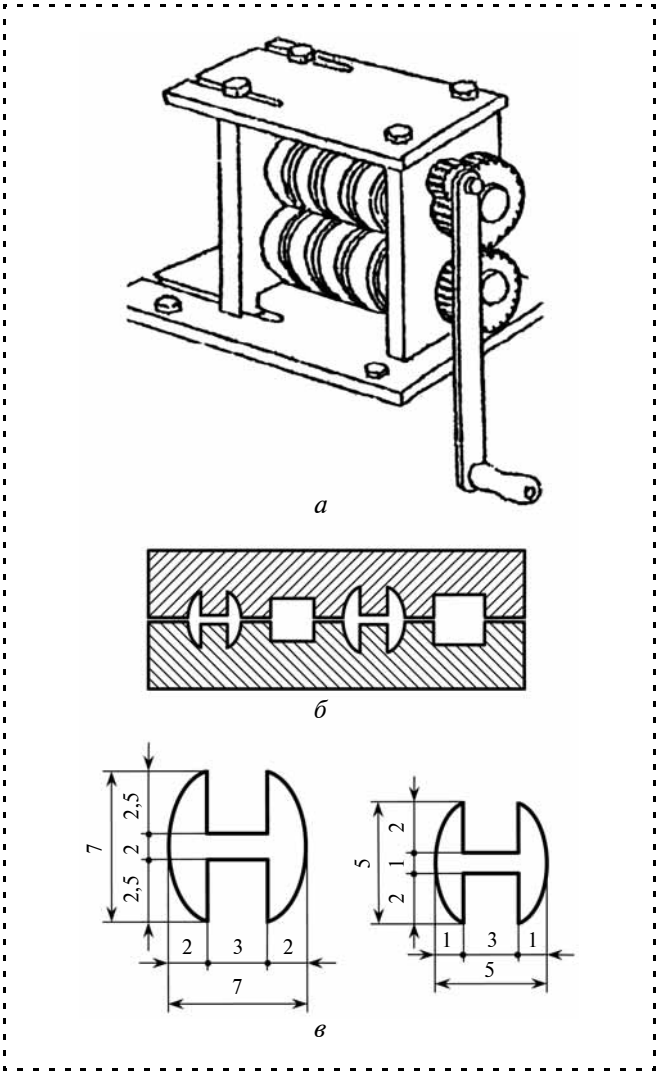


Рис. 1. Приспособление для изготовления шинки с двутавровым профилем:
а — прокатное устройство; *б* — шаблон разных размеров шинки и калибровки; *в* — размеры свинцовых шинок

жа, которую осуществляют на широкой ровной доске, уложенной на рабочий стол.

На доске с двух прилежащих сторон устанавливают и фиксируют алюминиевые уголки так, чтобы их полки были приподняты над ее поверхностью на 1,5 мм. На доске закрепляют кальку или рабочий картон так, чтобы их края находились под полкой уголков, но их контурные линии оставались видимыми. На полки уголков надевают свинцовые шинки, при этом они стыкуются в углах доски. В свободные пазы двутавровой шинки вставляют стеклянные фрагменты.

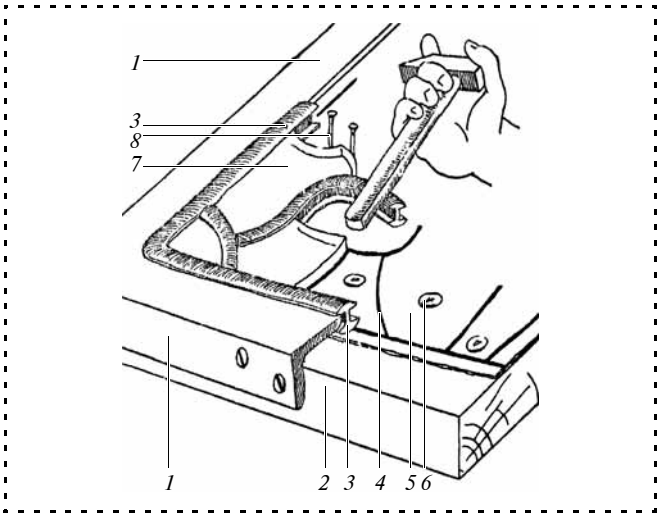


Рис. 2. Сборка витража на свинцовой шинке:
1 — металлический уголок; *2* — доска; *3* — свинцовая шинка; *4* — рисунок на кальке; *5* — калька; *6* — кнопки; *7* — стекло; *8* — крепежные гвозди

Первым вставляют стеклянный фрагмент в угол и закрепляют его шинкой или гвоздями (рис. 2). Для плотной посадки стекла в паз шинки его подбивают деревянной рукояткой молотка. Тщательно подгоняют стыки шинок, не допуская образования больших зазоров. Так, путем наращивания соседних стеклянных фрагментов производят сборку витража. Шинки поджимают к стеклам. Стыкованные участки шинок (рис. 3) зачищают, офлюсовывают жидким раствором хлористого цинка и паяют оловянно-свинцовым припоем (ПОС 40, ПОС 61) с применением электрического паяльника мощностью 70...100 Вт.

Расплавленный припой, затекая в малые зазоры между стыкованными элементами шинок, заполняет их, образуя монолитные соединения единой конструктивной системы, обладающей достаточной прочностью и жесткостью. После пайки всех стыков с одной стороны витраж осторожно переворачивают и производят пайку стыков с обратной стороны.

Припой в области стыка должен образовывать плавную выпуклую поверхность. Для обеспечения высокой коррозионной стойкости витража паяные стыки тщательно промывают в проточной воде с целью удаления остатков коррозионно-активного флюса — хлористого цинка.

Хлористый цинк выпускается промышленностью в форме кристаллического порошка. Порошок хлористого цинка растворяют в воде в массовом соотношении 1:10. На практике раствор хлористого цинка часто получают путем травления концентрированной соляной кислотой цинка. Для этого в стеклянную емкость наливают соляную кислоту в объеме, равном 2/3 ее объема и кидают небольшие кусочки цинка или засыпают небольшое количество гранулированного цинка. В результате химической реакции выделяется водород, который может воспламеняться. Поэтому травление необходимо проводить на открытом воздухе, в стороне от источников огня.

По мере травления в емкость добавляют новые небольшие порции цинка. "Кипение" кислоты продолжается до полного превращения кислоты в ее соль — хлористый цинк. Когда выделение газообразных продуктов прекратится, раствору дают отстояться и закрывают крышкой.

На места пайки раствор хлористого цинка наносят кисточкой. При его использовании следует соблюдать правила безопасности. Он опасен при попадании на открытые участки кожи.

Существенный недостаток технологии изготовления паяных витражей со свинцовой шинкой заключается в трудности сборки стеклянных фрагментов, имеющих малые размеры и острые углы, при которых гибка двутавровых шинок затруднительна. Этот недостаток отсутствует в современной технологии изготовления витражей, созданной в конце XIX века американским художником, дизайнером и бизнесменом Луисом Тиффани.

Техника Тиффани позволяет создавать изящные витражи со сложной деталировкой рисунка, которые невозможно получить при использовании свинцового профиля. Эта техника позволяет решать практически любые дизайнерские задачи при изготовлении витража без использования направляющего профиля.

Каждый обточенный стеклянный фрагмент плотно обворачивают по контуру тонкой медной лентой или специальной фольгой, имеющей с одной стороны липкий слой. Фрагменты стекол раскладывают по рисунку плотно друг к другу и производят пайку, с применением паяльника, стыков

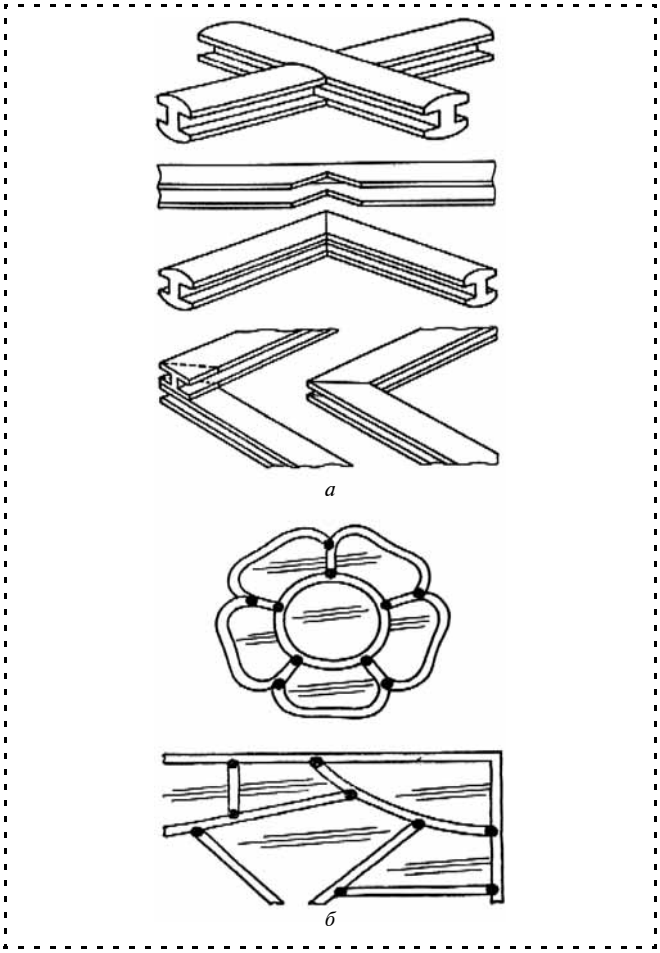


Рис. 3. Подгонка и пайка стыков арматуры:
а — различные виды подгонки арматуры; *б* — места спаев отдельных звеньев арматуры

между фрагментами. Наиболее удобно пользоваться проволочным припоем (рис. 4 на стр. 2 обложки), при котором обеспечивается дозированная подача припоя в зону пайки.

Ширину медной ленты определяют исходя из толщины стекла. Так, при толщине стекла 3 мм ширина ленты должна составлять 5 мм. При использовании фольги ее необходимо предварительно облудить припоем, например ПОС 61. Чтобы жидкий припой не вытекал из зазора, пайку производят быстро с плавным перемещением паяльника по стыку. После пайки стыков с одной стороны витраж переворачивают и производят пайку с обратной стороны.

Медная фольга позволяет выполнять сложные композиции с мелкими деталями и соединять их

даже под углом. Витражи обладают высокой механической прочностью.

Жилки припоя, образующиеся при пайке на стыках стеклянных фрагментов, протирают раствором кислоты. Швы приобретают темный цвет и их можно покрыть черной или иной краской или медной патиной, используя медный купорос.

Такие витражи с тонкими (1...2 мм) паяными швами хорошо смотрятся в небольших помещениях (рис. 5 на стр. 2 обложки).

По данной технологии с использованием специальных форм из дерева, гипса или папье-маше изготавливают декоративные абажуры светильников различных форм и размеров. Сборку абажура светильника можно производить путем размещения окантованных стеклянных фрагментов на внутренней поверхности гипсовой или цементной формы, заключенной в деревянный ящик. Массовое производство таких светильников налажено в Италии и Германии (рис. 6 на стр. 2 обложки).

Витражные решетки, потолочные и оконные витражи, а также наружные витражи на карнизах, в беседках могут достигать больших размеров и соответственно испытывать значительные нагрузки.

Витражные решетки существенно изменяют интерьер общественных зданий. Они призваны ограничить отдельные пространства интерьеров. При изготовлении таких витражей используют арматуру, изготовленную из прочных материалов — латуни, алюминия.

Латунная арматура значительно прочнее и менее пластична, чем свинцовая. Поэтому рисунок витража должен содержать фрагменты в основном с прямолинейным профилем. Она не позволяет добиваться частых криволинейных участков, а технология изготовления витража отличается от сборки витража со свинцовой арматурой. Вначале по рисунку собирают и паяют латунную арматуру, а шаблоны для вырезания стекол получают путем обвода полученного каркаса арматуры.

Латунную арматуру изготавливают из латунной ленты толщиной 0,6...1,5 мм. Арматуру получают путем многократной протяжки ленты с помощью механизма через формирующие отверстия плашки, после прохождения через которые арматура приобретает нужный профиль. Оптимальная длина элементов арматуры составляет 250...300 мм.

Сборку и пайку витражей с применением латунной и свинцовой арматуры производят по схожим принципам. Готовый паяный витраж заключают в жесткий металлический или деревянный каркас.

Аналогичным способом изготавливают арматуру из алюминиевой ленты. Алюминиевые протяжки двутаврового профиля по декоративным качествам, простоте технологии и стоимости изготовления не уступают латунным.

В промышленности разработаны паяльные материалы и технологии пайки алюминиевых конструкций, однако пайка витражей с алюминиевой арматурой в условиях мастерской практически невозможна, поэтому элементы алюминиевой арматуры соединяют с помощью заклепок.

Крупные и массивные витражи украшают, например, станции Московского метро "Цветной бульвар" и "Черкизовская".

Латунь, представляющая собой сплав меди с цинком, обладает прекрасными декоративными и технологическими свойствами. Она имеет высокую прочность и пластичность, хорошо поддается деформированию и пайке. Полированная латунь имеет золотистый цвет (золотистая латунь).

В последнее время для ограниченных домашних условий разработана простая технология изготовления латунной арматуры из тонкостенной ленты (0,3...0,4 мм), позволяющей создавать в домашних условиях витражи, светильники и декоративные рамки, по внешнему виду и качеству практически не уступающие заводским изделиям [5]. Изготовление элементов арматуры производится вручную с применением простого легко изготавливаемого гибочного приспособления (рис. 7). Оно состоит из двух металлических планок шириной 110...120 мм, толщиной 3...4 мм, прижимаемых друг к другу рядом болтов диаметром 5...6 мм. Рабочие грани планок совмещены в одной плоскости. Для избежания смещения планок относительно друг друга отверстия в них изготавливают со скользящей посадкой. Рабочий край одной из планок стачивают под углом 20...30°. Вершину скоса скругляют. Образованное лезвие планки

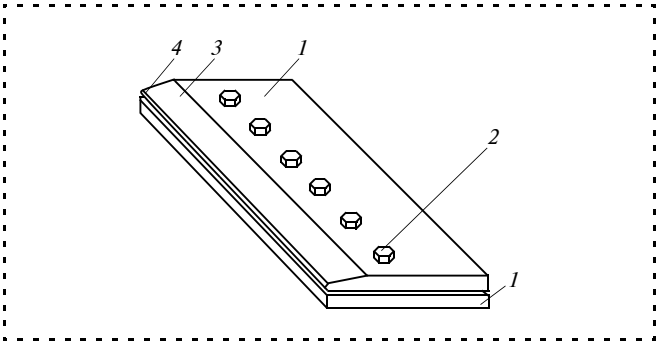


Рис. 7. Гибочное приспособление:
1 — металлические планки; *2* — болт; *3* — наклонная грань планки; *4* — лезвие планки

должно быть строго прямолинейно. Длина приспособления может быть разной и зависит от длины изготавливаемых элементов арматуры. Для изготовления витражей оптимальная длина приспособления составляет 300...400 мм.

С применением такого гибочного приспособления можно изготавливать элементы арматуры различной конструкции и различных размеров.

Наиболее технологичными в изготовлении и применении являются элементы латунной арматуры с П-образным профилем с загнутыми во внутрь профиля краевыми участками (рис. 8), которыми окантовывают стеклянные фрагменты витража.

Ширину различных участков профиля выбирают в зависимости от толщины стеклянных фрагментов витража и удобства гибки участков. Так, при толщине стекол 2,5...3,0 мм ширина участков

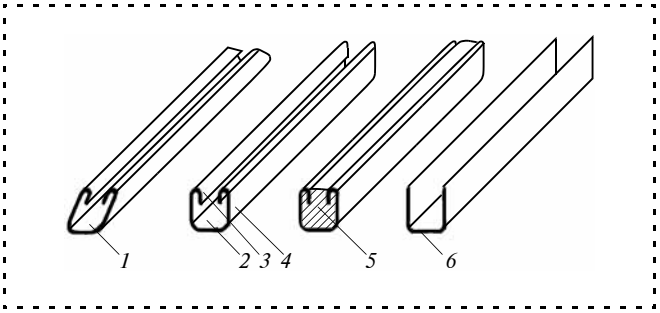


Рис. 8. Элементы, применяемые при изготовлении витража с латунной арматурой:
1 — элемент с двумя замкнутыми участками со скосом; *2* — основание; *3* — загнутый участок; *4* — боковой участок; *5* — элемент со свинцовым наполнителем; *6* — П-образный элемент технологической арматуры

профиля должна составлять: загнутых краевых участков — 2,5...3,0 мм, боковых участков — 3,0...4,0 мм, основания — 5,0...6,0 мм. Ширина ленты для нарезания заготовок для элементов арматуры должна соответствовать суммарной ширине участков профиля арматуры.

На заготовках, нарезанных из латунной ленты, прочерчивают линии гибки, по которым заготовку последовательно закрепляют в приспособлении. При зажатии заготовки в приспособлении линия гибки должна совпадать с лезвием сточенного участка планки приспособления.

После зажатия заготовки в приспособлении ее выступающую часть кладут на отрезок доски, а нижнюю планку приспособления, прижимают к боковой грани доски и, прижимая приспособление к ней, поворачивают его на 70...80° (рис. 9). Затем, не меняя положения приспособления, его переносят на плоскость доски и продолжают гибку заготовки до соприкосновения скошенного участка приспособления с поверхностью заготовки. При необходимости дожатие загнутых краевых участков осуществляют в шаблонирующем устройстве (рис. 10). Аналогичным образом производится гибка боковых участков профиля.

Если протяженность элемента арматуры значительно превышает длину приспособления, осуществляют двух- или трехкратную гибку с перемещением после каждой гибки заготовки в приспособлении.

Такие прямолинейные элементы арматуры пригодны для окантовки прямолинейных участков стеклянных фрагментов. Они должны плотно надеваться на стекло, с небольшим усилием при

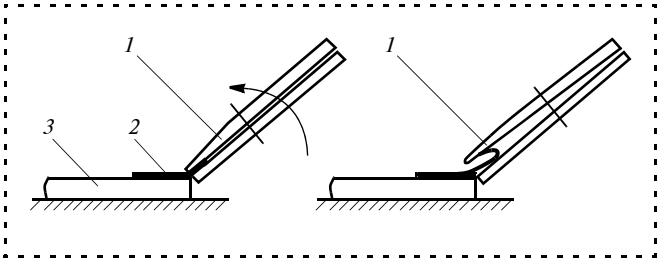


Рис. 9. Схема гибки участков элементов:
1 — гибочное приспособление; *2* — заготовка элемента; *3* — отрезок доски

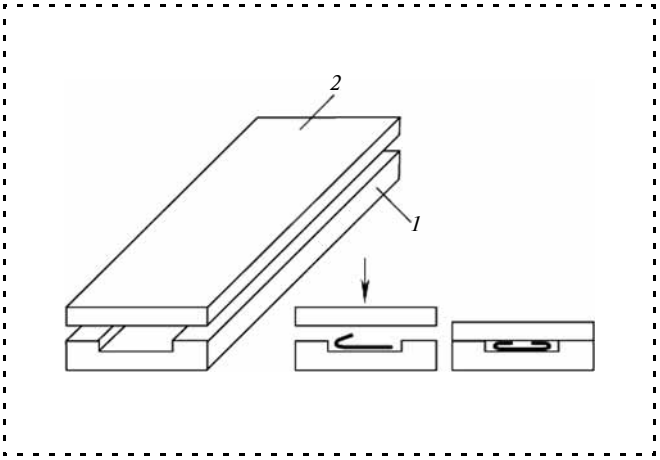


Рис. 10. Шаблонирующее устойство для дожатия загнутых краевых участков элементов:
1 — брусок с канавкой; *2* — плоский брусок

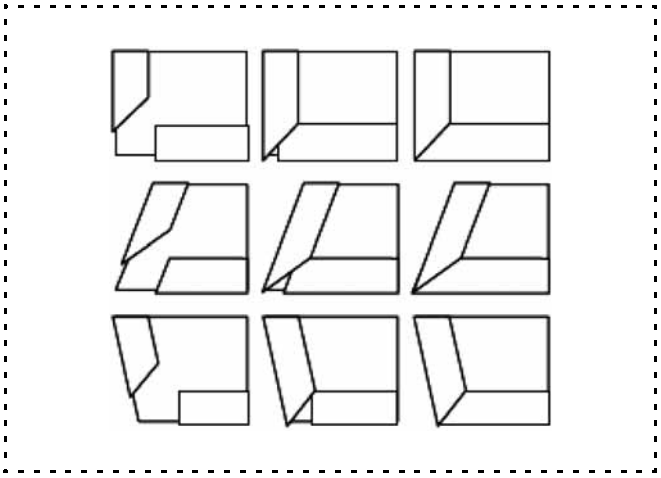


Рис. 12. Состояние концов элементов и их стыковка на стеклянных фрагментах

упругом деформировании загнутых краевых участков.

Для придания элементам арматуры криволинейной формы их превращают в монолитный пруток путем заполнения их внутренней полости расплавом перегретого припоя (марка ПОС 40) или свинца (см. рис. 8), предварительно нанеся на внутреннюю поверхность элементов раствор хлористого цинка (флюса) и установив асбестовые пробки на концах элементов. Заполняют элементы расплавом припоя из заливочного ковшика или путем погружения коротких элементов в ванну с расплавом.

После охлаждения такая монолитная заготовка легко поддается деформированию по рисунку или по шаблону, не разрушая профиль арматуры. Удаляют припой или свинец из элементов арматуры после их деформирования путем ее нагрева или окунания в перегретый расплав припоя или свинца.

Окантовку стеклянных фрагментов витража (рис. 11 на стр. 2 обложки) производят с упругим деформированием арматуры. Соединяют концы элементов арматуры путем ввода одного концевого участка во внутрь другого, для чего стачивают боковые участки стыкуемых концов на угол стыковки этих двух участков (рис. 12).

На поверхность элементов, примыкающую к стыку, приклеивают отрезки изоляционной ленты и после нанесения раствора флюса производят его пайку путем окунания стыка на 0,5...1,0 с в ванну с расплавом припоя (рис. 13). Качество полученного паяного соединения определяют по образовавшейся в стыке галтели.

Сборку витража производят путем плотной стыковки окантованных фрагментов и соединения их с помощью пайки по местам стыковки элементов арматуры (рис. 14). Для предупреждения растекания припоя по лицевой стороне арматуры ее покрывают жидким стеклом или приклеивают к ней изоляционную ленту из ПВХ.

После пайки лицевую сторону арматуры зачищают мелкозернистой наждачной шкуркой, поли-

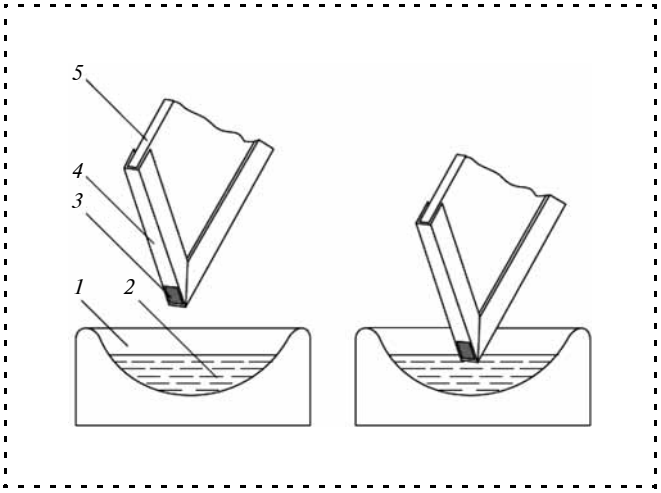


Рис. 13. Пайка угловых стыков окунанием в расплав припоя:
1 — ванночка; *2* — расплав припоя; *3* — полоска изоляционной ленты; *4* — элемент окантовки стекла; *5* — стеклянный фрагмент

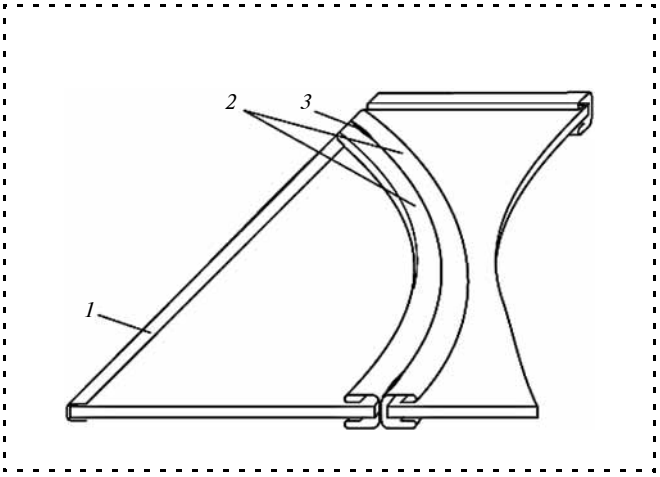


Рис. 14. Стыковка криволинейных П-образных элементов на витраже:
1 — контурный элемент; *2* — П-образные элементы; *3* — место пайки

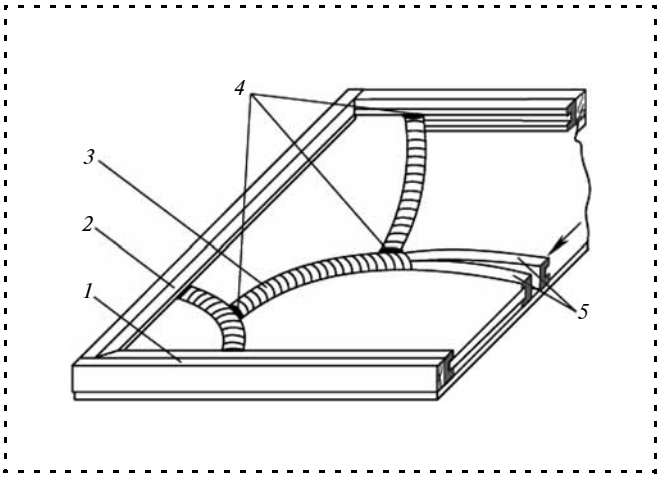


Рис. 15. Сборка витража с П-образными свинцовыми элементами:
1 — рамка; *2* — П-образный контурный элемент; *3* — паяный шов; *4* — соединительные швы; *5* — П-образные свинцовые элементы

руют с использованием пасты ГОИ и дважды покрывают лаком по металлу.

Учитывая высокую стоимость медной и латунной ленты, в качестве материала для арматуры можно использовать мягкую жесть, применяемую при изготовлении банок под консервированные продукты, а также емкости под технологические жидкости и смазки. Такая жесть хорошо деформируется и паяется. Нарезать заготовки для элементов арматуры можно обычными ножницами. Перед пайкой, в случае наличия покрытий (лаковых и т.д.) на поверхности жести, их следует удалить. Для изготовления витражей может быть использована мягкая и тонкая металлическая лента. Декоративный вид такой арматуре придают окрашиванием химическим или гальваническим способом.

Этим же способом можно изготавливать витражи с использованием тонкого свинцового листа или ленты (рис. 15). Листовой свинец можно изготовить в домашних условиях. Для этого расплавленный свинец заливают в форму, изготовленную из алюминиевого тавра с расстоянием между полками 10...15 мм и заглушенную по концам пробками. Застывший в форме свинец извлекают и с помощью молотка расплющивают до толщины 1,5...2,0 мм. Затем его калибруют, пропуская через вальцы до получения свинцовых полос тодщиной 0,5...0,6 мм. Из полученных лент вырезают узкие полосы необходимой ширины.

Окантованные элементами арматуры стеклянные фрагменты могут служить элементами украшений и устанавливаться на металлические карнизы, козырьки и декоративные решетки. Место установки на элементах решетки зачищают до металлического блеска и офлюсовывают раствором хлористого цинка.

На место пайки устанавливают и прижимают окантованный фрагмент и закрывают его асбестным картоном. На место соединения помещают кусочки припоя и нагревают элемент решетки паяльной лампой до расплавления припоя и затекания его в место контакта соединяемых деталей (рис. 16). С применением арматуры указанного профиля легко паять витражи с геометрическим орнаментом (рис. 17).

С уменьшением толщины применяемых стекол и радиуса криволинейных участков рисунка витража применяют более тонкую металлическую ленту и уменьшают ширину загибаемых участков заготовки арматуры.

Технологии изготовления элементов арматуры других профилей, способы их сборки и пайки витражей других конструкций рассмотрены в источниках [1, 2].

В последнее время, ввиду высокой токсичности, применение свинца ограничивается. Экологически чистой является технология изготовления предметов интерьера с применением тонкостенной латунной арматуры (рис.18), позволяющей создавать большое разнообразие по форме и назначению светильников.

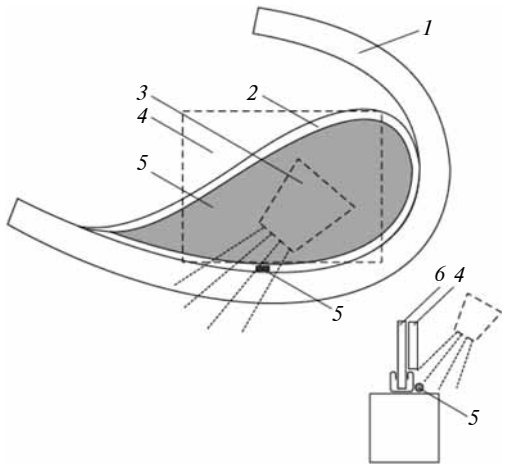


Рис. 16. Присоединение окантованного декоративного фрагмента к стальной решетке пайкой:
1 — элемент решетки; *2* — декоративный фрагмент; *3* — сопло паяльной лампы; *4* — лист асбеста; 5 — припой; *6* — стеклянный фрагмент

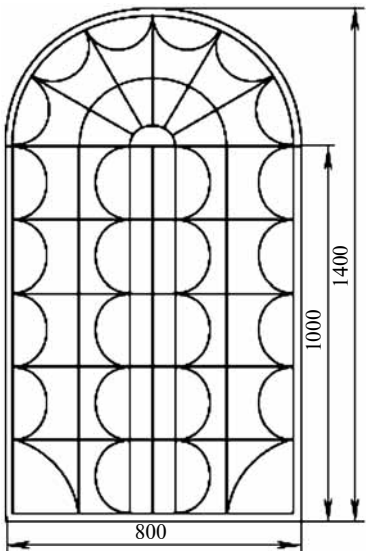


Рис. 17. Витраж средних размеров

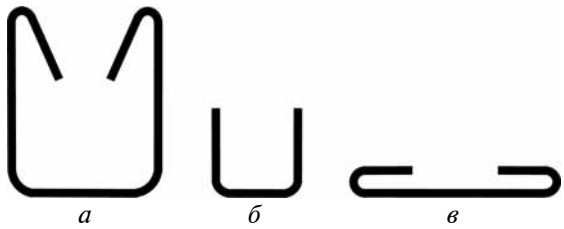


Рис. 18. Профили элементов арматур:
а — окантовочной; *б* — технологической; *в* — облицовочной

Атмосферу уюта в помещении создают подвесные шаровые светильники, состоящие из нескольких поясов стеклянных фрагментов различного цвета. Наибольшее распространение получили светильники с трехпоясными абажурами, фрагменты которых расположены под углом друг к другу (рис. 19 на стр. 3 обложки).

Подобные абажуры светильников можно изготавливать с применением арматуры двух типов [5].

Стеклянные фрагменты заключают в рамки из элементов арматуры с П-образным профилем с загнутыми краевыми участками (см. рис. 18, *а*) и соединяют в местах стыковки пайкой. Такие абажуры можно изготавливать также с применением арматуры, состоящей из окантовочных П-образных элементов (без загнутых краевых участков) устанавливаемых на стекла и соединяемых пайкой в местах стыковки путем погружения в расплав припоя и облицовочных плоских элементов с загнутыми краевыми участками (см. рис. 18, *б, в*), припаиваемых к окантовочным элементам на концевых участках.

На нижние края стеклянных фрагментов устанавливают выпуклые или вогнутые элементы арматуры (см. рис. 19). Окантовочные фрагменты и пояса соединяют между собой точечной пайкой с внутренней стороны угловых участков фрагментов.

Элементы арматуры абажуров светильников изготавливают с применением ручного гибочного устройства (см. рис. 7). Гибку элементов арматуры производят после их заполнения припоем.

Для придания абажуру законченного вида сверху изготавливается декоративная "корона", состо-

ящая из равновеликих конических стеклянных фрагментов. Ее собирают в специальной конической форме путем пайки окантовывающих элементов арматуры. Соединяют "корону" с абажуром путем припайки их арматуры к внутренней поверхности декоративного кольца, изготавливаемого из латунной ленты толщиной 1,5...2,0 мм.

Для определения приемлемого профиля абажура светильника необходимо провести некоторые геометрические построения (рис. 20). Исходным является диаметр создаваемого светильника. Для современных жилых помещений наиболее рациональным является диаметр 400 мм. Высоту абажура обычно принимают равной 2/3 его диаметра.

На картон или ватман наносят окружность (ее диаметр равен диаметру создаваемого светильника) с горизонтальной и вертикальными осями.

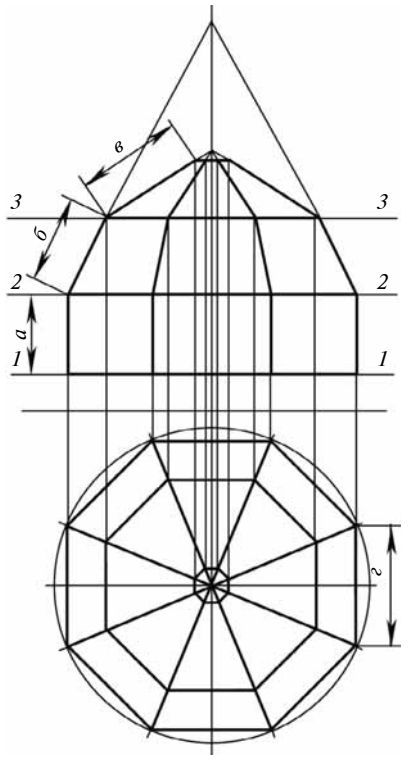


Рис. 20. Геометрические построения для определения формы и размеров восьмигранного абажура:

а, *б*, *в* — высота фрагментов первого, второго и третьего поясов; *г* — ширина фрагментов первого пояса

Окружность делят на восемь равных частей. Точки пересечения рисок с окружностью соединяют хордами, длина которых соответствует ширине стеклянных фрагментов первого пояса и ширине нижних граней фрагментов второго пояса.

Принимаем высоту стеклянных фрагментов первого и второго поясов, исходя из общей высоты абажура (2/3 от его диаметра). Например, при диаметре 400 мм можно выбрать высоту 100 мм.

Выше окружности проводим первую горизонтальную прямую 1—1. Из точек пересечения хорд проводим вертикальные прямые до пересечения с прямой 1—1 и продолжаем их до высоты 100 мм. Через концы этих отрезков проводим вторую горизонтальную прямую 2—2 и получаем профиль первого пояса абажура светильника.

Из концов боковых вертикальных отрезков под различными углами к горизонтальной прямой проводим наклонные линии до пересечения с вертикальной осью окружности и выбираем наиболее приемлемый наклон стеклянных фрагментов второго пояса. Отмечаем точку пересечения наклонных линий второго пояса с вертикальной осью окружности. С этой точкой соединяем концы остальных отрезков первого пояса.

На боковых наклонных линиях откладываем 100 мм и проводим третью горизонтальную линию 3—3. По расстоянию между центральными линиями этой прямой определяем ширину верхней грани стеклянного фрагмента второго пояса и нижних граней фрагментов третьего пояса абажура.

Такие же построения проводят для получения профиля третьего пояса абажура. Опуская прямые из точек пересечения линий профиля можно получить план абажура.

Для установки электропатрона и создания условий вентиляции воздуха вверху абажура создают отверстие диаметром 40...50 мм.

Измеряя исходные данные, можно измерить форму и размеры элементов абажура.

Окантованные арматурой стеклянные фрагменты соединяют с помощью пайки [5].

Поверхность арматуры собранного абажура светильника полируют с применением пасты ГОИ и покрывают лаком по металлу или латуни.

Сверху абажура крепят электропатрон и цепочку подвески.

По технологии изготовления П-образных элементов арматуры изготавливают окантовочные рамки для рисунков и репродукций.

По этой же технологии можно изготавливать золотистые латунные рамки с широким профилем для цветных фотографий и репродукций. Оптимальная ширина участков профиля составляет: лицевого участка — 10...12 мм, загнутого краевого участка — 3 мм, тыльного участка — 10...12 мм. Ширина бокового участка определяется исходя из высоты лицевого участка рамки и толщин стекла и картона, заключаемого в рамку.

Для получения удлиненных элементов рамки со скошенными концами на заготовке срезают боковые участки под углом 45°. Схема изготовления профильных элементов рамки представлена на рис. 21.

Лицевой участок рамки может иметь плоскую форму с наклоном внутрь рамки или вогнутую, подобную форме багета. Схема гибки и придания участку такой формы представлена на рис. 22. Вминаемый в участок металлический пруток должен иметь полированную бездефектную поверхность.

При сборке рамки сначала соединяют удлиненные элементы с более короткими. Сборку осуществляют с помощью прямоугольного отрезка

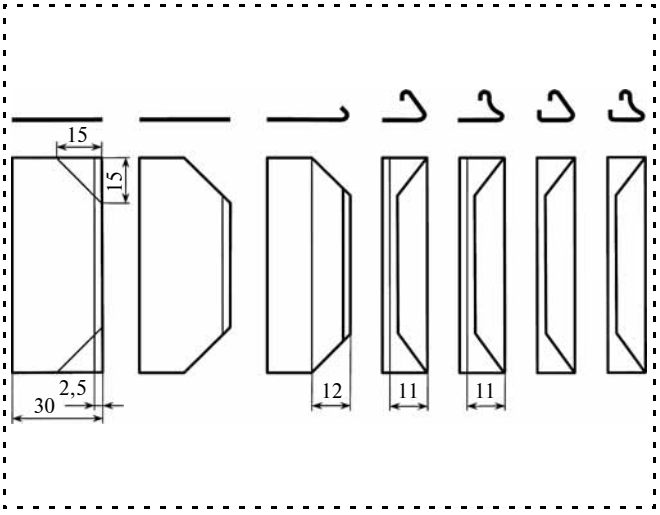


Рис. 21. Последовательность изготовления рамки различных профилей

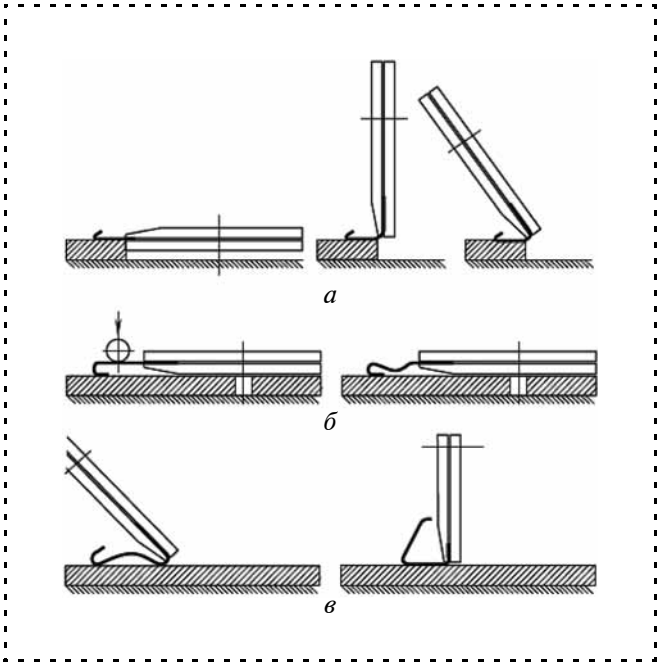


Рис. 22. Схема гибки элементов рамки гибочным приспособлением:

а — с плоской и *б* — вогнутой лицевыми поверхностями; *в* — обратная сторона элемента

арголита, вставляемого вовнутрь соединяемых элементов. При введении конца одного элемента вовнутрь скошенного участка другого лицевые контактируемые участки должны плотно прилегать друг к другу (без зазора).

После пайки удлиненных элементов с более короткими отрезок арголита удаляют, в полость элементов вставляют стекло и производят стыковку и пайку оставшихся стыков. Готовую рамку заполняют картоном, фотографией или рисунком, полируют и покрывают лаком. С задней стороны устанавливают подсветку.

Подобные рамки изготавливали для реализации репродукций картин в музеях К. Васильева и И. Глазунова (Москва).

Подробно технология изготовления и пайки латунных рамок изложена в источниках [6, 7]. Желающим освоить искусство изготовления витражей можно предложить рисунки (рис. 23 на стр. 3 обложки), ориентируясь на которые можно сделать витражи в любой технике исполнения.

Библиографический список

1. **Цветные** витражи: модно и стильно. Донецк: Сталкер, 2008. 190 с.
2. **Сергеев Ю.П.** Выполнение художественных изделий из стекла. М.: Высшая школа, 1984. 240 с.
3. **Волобаева Т.В.** Витраж в русской культуре: Санкт-Петербург и его памятники // Автореф. дис. ... канд. искусствоведения. Санкт-Петербург, 1999.
4. **Тищенко Г.В., Пронин А.Ф.** Проектирование современных витражей и технология их изготовления. Учебное пособие. Киев: УМО-ВО, 1989. 115 с.
5. **Карабанов В.В.** Витражи, светильники, рамки (ремесло и рукоделие). М.: Профиздат, 2004. 120 с.
6. **И Тиффани** бы удивился // Народное творчество. 2003. № 5. С. 41—44.
7. **Металлические** рамки для фотографий. М.: Сам себе мастер. 2001. № 7. С. 14—16.

СТАНОЧНЫЕ ГИДРОПРИВОДЫ:

справочник (Библиотека конструктора).

В.К. Свешников

Цена 770 р.

640 с.: ил. ISBN 978-5-217-03438-3

Приведены конструкции, основные параметры, габаритные и присоединительные размеры гидрооборудования главным образом стационарных машин, в том числе насосов, объемных гидродвигателей, гидроаппаратов, фильтров, аккумуляторов, теплообменников, приборов и сопутствующих товаров отечественного и частично зарубежного производства. Излагаются основы проектирования и расчета гидросистем, их монтажа и эксплуатации, а также основополагающие отечественные стандарты и стандарты ИСО. Справочник содержит максимум сведений, необходимых в практике проектирования и эксплуатации гидрооборудования, выполняя информационную и учебную функцию.

В 5-м издании (4-е изд. 2004 г.) существенно обновлены справочно-информационные сведения, проанализированы основные тенденции развития гидрооборудования мировых лидеров, дано описание ряда новейших зарубежных комплектующих изделий, чаще всего отсутствующих в отечественной номенклатуре (современные насосы и гидродвигатели, новая аппаратура, в том числе ввертного монтажа, аппараты связи с электронными системами управления, приборы и др.); приведены характеристики минеральных масел, размеры специальных резьб.

Для инженеров-конструкторов, изготовителей, а также обслуживающего персонала гидрооборудования стационарных машин (в том числе станков), может быть полезен преподавателям и студентам втузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку 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

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почти 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 268-48-97.
Технический редактор *Патрушева Е.М.* Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 10.07.2014. Подписано в печать 01.09.2014. Формат 60 × 88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз".
Отпечатано в ООО «Канцлер», 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.