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

6 2014 (167)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Аристова Н.И. Расчет временных затрат на полуавтоматическую сборку годного узла 3

Сборочное оборудование и его элементы

Измайлов А.Д., Чан К.Т., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г. Способ измерения диаметра номинально цилиндрического отверстия и устройство для его осуществления 7

Молчанов В.И. Конструирование и изготовление червячных колес из капролона для приводов промышленных и транспортных машин 10

Чан К.Т., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Измайлов А.Д., Федоров П.А., Кристаль М.Г. Пневматическое сортировочное устройство 14

Современные технологии сборки

Иванов А.А. Сборка печатающих головок струйных принтеров 17

Кузнецова С.В. Фазовый портрет способа автоматизированной сборки, реализующего синхронное позиционирование 22

Обеспечение качества испытания. Контроль

Черепахин А.А., Виноградов В.М. Особенности холодного калибрования зубчатых колес 28

В помощь конструктору, технологу

Безвесильная Е.Н., Ткачук А.Г. Авиационная гравиметрическая система 32

Розинов А.Я., Поляков Ю.И., Бескровный А.Ю. Совершенствование методики прогнозирования производительности процессов изготовления судовых конструкций, основанных на применении средств технологического оснащения с ручным приводом их действия 38

Технологичность конструкции

Холодкова А.Г. Технологичность конструкции изделий в автоматической сборке 42

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, к.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 редсоветы

БЕЛГОРОД

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н., чл.-кор. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.
В.М. КОРНИЕНКО, 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, д.т.н., проф.
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.
Г.А. КУЛАКОВ, д.т.н.
В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.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.

СЕВАСТОПОЛЬ

Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

Беларусь

МИНСК

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

ГОМЕЛЬ

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

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

6 2014 (167)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Aristova N.I. Calculating the cost of time a semi-automatic assembly of suitable host . . . 3

Production tools and machinery for assembly

Izmailov A.D., Chan K.T., Pleshakov A.A., Gorelova A.Yu., Kristal M.G. Method for measuring nominally cylindricalhole'sdiameter and the device for its implementation . . . 7

Molchanov V.I. Designing and manufacturing of caprolonworm wheelsfor drives of industrialand transport vehicles . . . 10

Chan K.T., Pleshakov A.A., Gorelova A.Yu., Izmailov A.D., Fiodorov P.A., Kristal M.G. Pneumatic sorting device . . . 14

Modern technologies in assembly

Ivanov A.A. The assembly of printheads of inkjet printers . . . 17

Kuznetsova S.V. Phase portrait of automated assembly technique of synchronous stationing . . . 22

Quality assurance. Testing. Monitoring

Cherepakhin A.A., Vinogradov V.M. Features of cold calibration of gears . . 28

Industrial and design engineer's aid

Bezvesilnaya E.N., Tkachuk A.G. Aviation gravimetric system . . . 32

Rozinov A.Ya., Polyakov Yu.I. Beskrovny A.Yu. Improvement of a technique of forecasting of productivity processes of production of the ship designs based on application of means of technological equipment . . . 38

Manufacturability of a construction

Kholodkova A.G. Fabricability of constructions of products in automated assembly . . . 42

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" – **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" – **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

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

Editors

MOSCOW

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

Regional editors

BELGOROD
N.A. PELIPENKO

BRIANSK
O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK
Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
V.M. KORNIENKO

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

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

KAZAN
R.I. ADGAMOV

KOVROV
Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA
Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR
B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV

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

NIZHNY NOVGOROD
S.V. GOLUBEV

OMSK
V.N. KOSTIUKOV

OREL
Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

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

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

SAMARA
M.A. EVDOKIMOV
Yu.A. VASHUKOV
G.A. KULAKOV
V.A. NIKOLAEV

ST.-PETERSBURG
V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV

TULA
V.V. PREYS

TOLIATI
A.I. RYZHKOV

KHABAROVSK
V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO

DONETSK
A.N. MIKHAILOV

SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA

Belarus

MINSK
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ

GOMEL
V.E. STARZHINSKI

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 ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

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

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.5.012.7

Н.И. Аристова, *канд. техн. наук*
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)
E-mail: avtprom@yandex.ru

Расчет временных затрат на полуавтоматическую сборку годного узла

Введены понятия технологической операции и узла, а также их математические описания. Предложен математический аппарат, позволяющий оценить время сборки узла на предприятии, где сборка выполняется человеком, и на предприятии, где в сборке узла участвуют человек и автомат. Решена задача поиска оптимального уровня автоматизации сборочного производства, минимизирующего время сборки годного узла. Показано, что для достижения указанной цели в ходе сборки узла все технологические операции одного вида должен выполнять или целиком робот, или человек. При этом необходимо учитывать вероятность правильного выполнения операции человеком и/или автоматом.

The concepts of technological operations and assembly, as well as their mathematical descriptions. A mathematical apparatus for assessing the cost of assembly node in the enterprise, where the assembly is man, and the enterprise where in assembling the people involved and the machine. Solve the problem of finding the optimal level of automation assembly production, minimizing the cost of the finished assembly site. It is shown that to achieve this goal during the assembly site all technological operations of one kind or shall perform the entire robot or human. It is necessary to take into account the probability of correct operation human and/or machine.

Ключевые слова: узел, технологическая операция, вероятность брака, автоматизация сборки, автоматизация технологической операции.

Keywords: assembly, manufacturing operation, probability of marriage, assembly automation, automation of technological operations.

Введение

Автоматизацию все более широко используют в промышленности. Любое изделие изготавливают в результате последовательного выполнения некоторого набора технологических операций [1, 2]. Рассмотрим формальное описание технологических операций. Будем характеризовать каждую технологическую операцию двумя параметрами: *временем выполнения a* и *вероятностью правильного выполнения q* (вероятность брака соответственно будет равна $1-q$). Этими параметрами будем определять любую технологическую операцию независимо от ее физического содержания. Предположим также, что для изготовления изделия достаточно выполнить m разных видов технологических операций.

Рассмотрим вычисление времени изготовления узла – основного элемента всех сложных изделий. Формально определим узел следующим образом.

Узел – это последовательность нескольких технологических операций, завершающаяся контрольной операцией. Контрольная операция определяет годность/негодность собранного узла. Внутри узла контроля нет.

Вычисление времени изготовления узла человеком

Время сборки узла рабочим

$$A = \sum_{j=1}^{m} a_j n_j , \qquad (1)$$

где a_j – время, затрачиваемое человеком на выполнение операции j-го вида;

n_j – общее число операций j-го вида, необходимое для изготовления узла;

m – общее число видов технологических операций, используемых при сборке узла.

Собранный за время A узел может оказаться как годным, так и негодным. Все зависит от вероятности брака. Предположим, что имеет место статистическая независимость брака при выполнении разных операций.

Вероятность того, что при выполнении всех технологических операций не было допущено ни одной ошибки

$$Q = \prod_{j=1}^{m} q_j^{n_j}, \qquad (2)$$

где q_j – вероятность правильного выполнения технологической операции j-го вида человеком.

Среднее время изготовления годного узла с учетом вероятности правильного выполнения операций человеком:

$$\overline{A} = \frac{\sum_{j}^{m} a_j n_j + \sum_{j}^{m} d_j n_j}{\prod_{j}^{m} q_j^{n_j}}, \qquad (3)$$

где d_j – время, затраченное ранее рабочим на изготовление j-й детали для сборки.

Средние временны́е затраты на изготовление узла $\overline{A}$ больше времени, затрачиваемого на сборку. Они быстро (по экспоненте) увеличиваются с увеличением брака и числа выполняемых операций.

Полуавтоматическое изготовление узла

На современных предприятиях на сборочных линиях очень часто для выполнения технологических операций используют автоматы, в частности, роботы. Коэффициент для пересчета рабочего времени автомата определим следующим образом:

$$\lambda = A_R / T_R, \qquad (4)$$

где A_R – суммарное время, затраченное человеком на изготовление автомата (или робота); T_R – время жизни робота.

Рассмотрим узел, на котором часть операций выполняет человек, а часть операций автоматизирована. Для автоматизации операций используют роботы. Теоретически каждую технологическую операцию может выполнить или робот, или человек. Задача состоит в том, чтобы распределить выполнение технологических операций между роботами и людьми таким образом, чтобы время изготовления узла было минимально.

Будем использовать понятие "автоматизации", которое определяет какую часть одинаковых технологических операций выполняет робот, а какую – человек. Степень автоматизации операции j-го вида α_j может принимать только значения в диапазоне

$$0 \le \alpha_j \le 1, \quad j = 1, 2, \ldots, m. \qquad (5)$$

При полной автоматизации, когда все n_j операций j-го вида выполняет робот, $\alpha_j = 1$. На полностью неавтоматизированном предприятии все операции выполняет человек, и $\alpha_j = 0$.

При этом и роботы, и человек выполняют технологические операции с некоторой вероятностью правильного изготовления. Конструкция реальных роботов не позволяет выполнять все виды технологических операций. Более того, не все потенциально выполняемые технологические операции выгодно автоматизировать для минимизации стоимости изготавливаемого узла. Алгоритм выбора оптимальной степени автоматизации будет изложен далее. Формализуем вначале процедуру вычисления стоимости узла для описанного производства.

Время изготовления узла на полуавтоматическом производстве можно вычислить по формуле

$$C(\alpha) = \sum_{j=1}^{m} (1 - \alpha_j) n_j a_j + \sum_{j=1}^{m} \alpha_j n_j \lambda b_j + \sum_{j=1}^{m} n_j d_j, \qquad (6)$$

где b_j – время, затрачиваемое роботом на выполнение операции j-го вида.

Проанализируем формулу (6). Первая сумма описывает прямые временны́е затраты человека на производство данного узла. Рассмотрим подробнее второе слагаемое.

На производство узла затрачивается ресурс робота, изготовленного на другом заводе. Но на производство этого робота ранее тоже был затрачен труд человека. Эти затраты должны быть учтены и при производстве узла. В этом случае учитываются не прямые затраты человека, как в первой сумме (6), а косвенные с учетом коэффициента пересчета λ. Поэтому в формуле (6) вторая сумма описывает косвенные затраты труда человека на изготовление узла.

Поскольку время изготовления узла (6) является линейной функцией α, то ее минимум достигается на границах области определения (5), т.е. при значениях компонентов вектора α, равных 0 или 1. Это означает, что любую технологическую операцию следует или полностью выполнять вручную или полностью автоматизировать, чтобы минимизировать время изготовления.

Алгоритм вычисления компонентов вектора автоматизации выглядит следующим образом:

$$\text{если } a_j > \lambda_1(0)\, b_j, \text{ то } \alpha_j = 1; \quad (7)$$

$$\text{если } a_j < \lambda_1(0)\, b_j, \text{ то } \alpha_j = 0, \quad j = 1, 2, \ldots, m. \quad (8)$$

Этот алгоритм может быть строго использован, если на производстве полностью отсутствует брак. В реальной жизни так не бывает.

Узел, изготовленный за время, определяемое по формуле (6), может оказаться бракованным. Вероятность, что при данном распределении работ α не будет сделано ни одной ошибки

$$P(\alpha) = \prod_{j=1}^{m} p_j^{\alpha_j n_j} q_j^{(1-\alpha_j) n_j}, \quad (9)$$

где p_j – вероятность правильного выполнения операции j-го вида роботом;

q_j – вероятность правильного выполнения операции j-го вида человеком.

Формула для расчета среднего времени изготовления узла примет вид

$$\overline{C}(\alpha) = \frac{\sum_{j=1}^{m}(1-\alpha_j) a_j n_j + \sum_{j=1}^{m} \alpha_j n_j \lambda b_j + \sum_{j=1}^{m} n_j d_j}{\prod_{j=1}^{m} p_j^{\alpha_j n_j} q_j^{(1-\alpha_j) n_j}}. \quad (10)$$

В формуле (10) первая сумма в числителе описывает прямые затраты труда человека на производство узла с учетом вероятностного характера выполнения технологических операций, вторая сумма – косвенные затраты труда человека с учетом вероятностного характера выполнения технологических операций, третья сумма – время изготовления деталей.

Функция среднего времени изготовления годного узла (10) в отличие от времени изготовления неизвестно какого узла (6) нелинейна и может иметь гладкий экстремум внутри области (5). Можно показать, взяв соответствующие производные данные, что этим экстремумом может быть только максимум. Это означает, что и среднее время изготовления годного узла имеет минимум только тогда, когда компоненты вектора автоматизации

$$\alpha = \alpha(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_j, \ldots, \alpha_m)$$

суть только нули и единицы.

Этот минимум может не совпадать с минимумом, вычисленным по алгоритму (7–8). Точное решение может быть получено полным перебором всех 2^m вариантов. Если число подряд идущих технологических операций без контроля не превышает десяти, такой перебор можно без труда провести на современных персональных компьютерах.

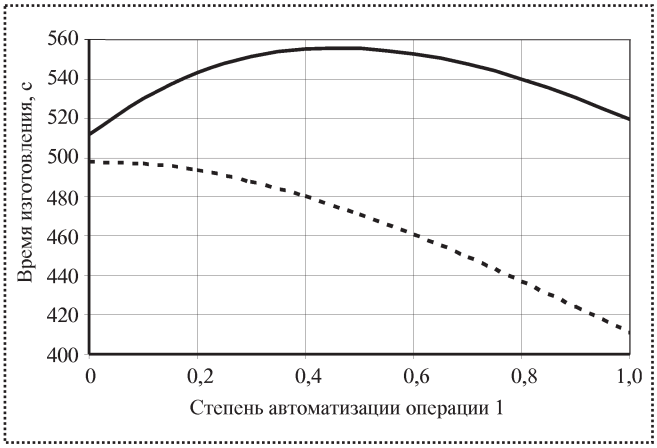
Пример. Пусть для изготовления узла требуется выполнить технологические операции двух видов, параметры которых сведены в таблицу.

Подставляя значения параметров технологических операций из этой таблицы в формулу (10), получим четыре варианта автоматизации сборки узла:

1) полностью ручная сборка – $\overline{C}(0, 0) = 512$;

Параметры технологических операций

Параметр	Человек	Робот	Общие
Время выполнения операции 1-го вида (a_1, b_1)	5	3	–
Вероятность правильного выполнения операции 1-го вида (q_1, p_1)	0,999	0,99	–
Число одинаковых операций 1-го вида (n_1)	–	–	5
Время изготовления детали, присоединяемой операцией 1-го вида (d_1)	–	–	10
Время выполнения операции 2-го вида (a_2, b_2)	4	3	–
Вероятность правильного выполнения операции 2-го вида (q_2, p_2)	0,90	0,97	–
Число одинаковых операций 2-го вида (n_2)	–	–	6
Время изготовления детали, присоединяемой операцией 2-го вида (d_2)	–	–	20
Коэффициент для пересчета времени работы робота во время работы рабочего λ	–	–	100



Зависимость среднего времени изготовления годного узла от степени автоматизации технологических операций:
—— – $\alpha_2 = 0$; - - - – $\alpha_2 = 1$

2) автоматизирована только операция 1-го вида – $\overline{C}(1, 0) = 519$;

3) автоматизирована только операция 2-го вида – $\overline{C}(0, 1) = 498$;

4) автоматизированы обе операции – $\overline{C}(1, 1) = 411$.

Минимальная стоимость достигается в четвертом варианте, когда автоматизированы все технологические операции $\overline{C}(1, 1) = 411$.

На рисунке показана зависимость среднего времени изготовления годного узла от уровня автоматизации технологической операции 1-го вида при двух фиксированных значениях уровня автоматизации операции 2-го вида.

Специально отметим, что если бы при производстве узла были автоматизированы не все технологические операции 1-го вида, а только половина, то среднее время изготовления годного узла не только не уменьшилось, а наоборот, увеличилось бы до 550 с.

Выводы

1. Минимальное среднее время изготовления годного узла получается, если все технологические операции данного вида выполняет или целиком робот, или целиком человек.

2. При разработке схемы автоматизации изготовления узла необходимо учитывать не только время выполнения технологической операции, но и вероятность ее правильного выполнения.

Библиографический список

1. **Чадеев В.М.** Стратегия автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2003. № 2. С. 7–8.

2. **Иванов А.А.** Промышленные роботы в сборочном производстве // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 1. С. 19–22.

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

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 681.5.08

А.Д. Измайлов, Чан Куанг Тьяу, А.А. Плешаков, А.Ю. Горелова,
М.Г. Кристаль, *д-р техн. наук (Волгоградский государственный технический университет)*
E-mail: crysmar@mail.ru

Способ измерения диаметра номинально цилиндрического отверстия и устройство для его осуществления

Произведен анализ погрешностей способа измерения номинально цилиндрического отверстия детали с помощью дискретно поворачивающейся измерительной головки. Описан новый метод измерения диаметра отверстия детали, исключающий влияние некоторых из приведенных погрешностей, и устройство, позволяющее его реализовать. Приведены выражения, определяющие контролируемый параметр.

The errors of method for measuring the nominally cylindrical hole's diameter of detail, that using discrete rotatable measuring head, have been analyzed. A new method for measuring hole's diameter of detail, that excluding influence of some of above errors, and a device, that allows its realization, have been described. Expressions, defining this monitored parameter, have been brought.

Ключевые слова: измерение отверстий, диаметр, измерительное устройство.

Keywords: measuring of holes, diameter, measuring device.

В работе [1] был рассмотрен способ измерения номинально цилиндрического отверстия, позволивший повысить точность измерения за счет учета погрешности базирования измерительного устройства относительно измеряемой поверхности. Однако исполнительные устройства, выполняющие поворот измерительной головки, будут вносить дополнительную погрешность δ_φ (рис. 1). Кроме того, в этом случае присутствуют погрешности:

- $\delta_{пх}, \delta_{пу}$ – установки измерительной головки в подшипниках;
- δ_γ, δ_r – положения датчиков в измерительной головке;
- $\delta_к$ – настройки средства измерения по калибрам.

Без учета указанных погрешностей диаметр отверстия детали, используя предложенный способ измерения, определяют в общем случае по формуле

$$D = 2\sqrt{\left(\frac{U_+}{2}\right)^2 + \left(r + \frac{U_-}{2}\right)^2},$$

где U_+ – сумма значений показаний датчиков U_1 и номинального размера калибра U_2, $U_+ = U_1 + U_2$.

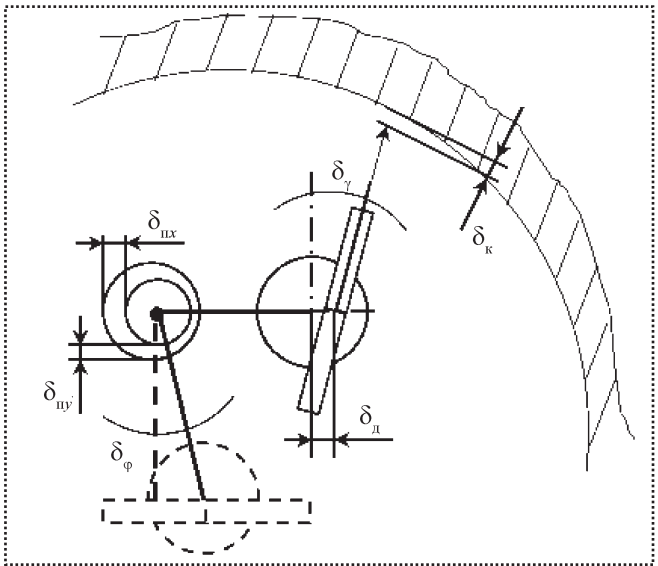


Рис. 1. Погрешности измерения

Реальный диаметр с учетом влияния погрешностей можно выразить как

$$D = 2\sqrt{\left(\frac{U_+ + \delta_+ \pm 3\sqrt{\delta_к^2 + \delta_{дат}^2 + \delta_{п\,y}^2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{r + \delta_r + U_-^{90} \pm 3\sqrt{\delta_к^2 + \delta_{дат}^2 + \delta_{п\,y}^2}}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

где U_{-}^{90} – разность значений показаний датчиков и номинального размера калибра при повороте измерительной головки на 90° $U_{-}^{90} = U_2^{90} - U_1^{90}$;

δ_+ – погрешность установки датчиков в исходном положении $\delta_+ = \sqrt{(\delta U_1)^2 + (\delta U_2)^2}$;

δ_- – погрешность установки датчиков после поворота на 90°, $\delta_- = \sqrt{(\delta^{90} U_1)^2 + (\delta^{90} U_2)^2}$.

Погрешности δU_1, δU_2, $\delta^{90} U_1$, $\delta^{90} U_2$ определяют геометрически. Принимаем в виду малости угла δ_γ значения $\sin\delta_\gamma = \delta_\gamma$, $\operatorname{tg}\delta_\gamma = \delta_\gamma$. Тогда (см. рис. 2):

$$\delta U_1 = U_1 \delta_\gamma^2; \quad \delta U_2 = U_1 \delta_\gamma^2;$$

$$\delta^{90} U_1 = U^{90} U_1 (\delta_\varphi + \delta_\gamma)^2;$$

$$\delta^{90} U_2 = U^{90} U_2 (\delta_\varphi + \delta_\gamma)^2.$$

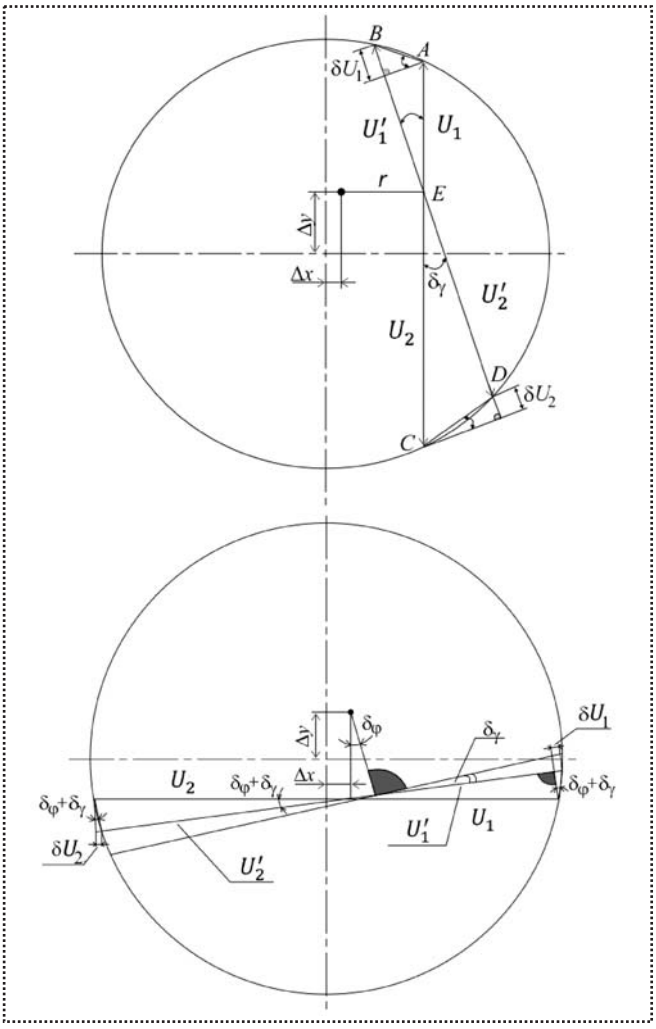


Рис. 2. Вычисление погрешностей суммарного и разностного сигналов, вызванных угловой составляющей расположения датчиков в измерительной головке

Используя принцип минимума-максимума, определим пределы погрешности измерения, например отверстия гидроцилиндра гидростойки шахтной крепи диаметром 400 H9 (допуск 155 мкм).

При использовании индуктивных датчиков размеров типа БВ-908 и радиусе $r = 30$ мм поворота измерительной головки, величина δ_γ, согласно данным работы [3] будет изменяться в пределах $\delta_\gamma = \pm 30'$.

При изготовлении деталей измерительной головки по 6-му квалитету точности погрешность δ_r размера радиуса r составит $\delta_r = \pm 8$ мкм.

Погрешность $\delta_к$ настройки датчиков по калибрам принимаем равной $\delta_к = \pm 0{,}1(D + \delta_{дат})$, где $\delta_{дат}$ – погрешность датчиков, для индуктивных датчиков типа БВ-908 $\delta_{дат} = 0{,}6$ мкм.

При использовании для поворота измерительной головки шагового двигателя ДШИ-200 через червячную передачу с передаточным отношением $\frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{25}$ погрешность δ_φ поворота на регламентированный в работе [1] угол 90° составит

$$\delta_\varphi = \frac{360°}{200}\frac{1}{25} = 0{,}072°.$$

Установка подшипников по посадке H6/f6 [2] для поворота головки приводит к дополнительной погрешности, которую можно представить в виде смещений $\delta_{пх}$ и $\delta_{пу}$ по соответствующим координатным осям. Тогда максимальное смещение по каждой из координатных осей составит 31 мкм, а минимальное – 13 мкм.

Используя выражение (1), с учетом значений перечисленных погрешностей получим, что измеряемая величина D принадлежит интервалу $D \in (399{,}9916 \ldots 400{,}0141$ мм). Таким образом, погрешность измерения составляет 0,14 от поля допуска на размер 400 мм.

Для компенсации влияния погрешностей, связанных с поворотом, предложено проводить измерения следующим образом.

Внутрь измеряемого отверстия помещают измерительное устройство с установленными на нем четырьмя датчиками, например индуктивными. Устройство базируется внутри контролируемого отверстия, обеспечивая совпадение плоскости сечения отверстия и измерительной плоскости датчиков.

В общем случае суммарный сигнал, получаемый с датчиков, предварительно настроенных на калибр, будет соответствовать хорде отверстия. Диаметр номи-

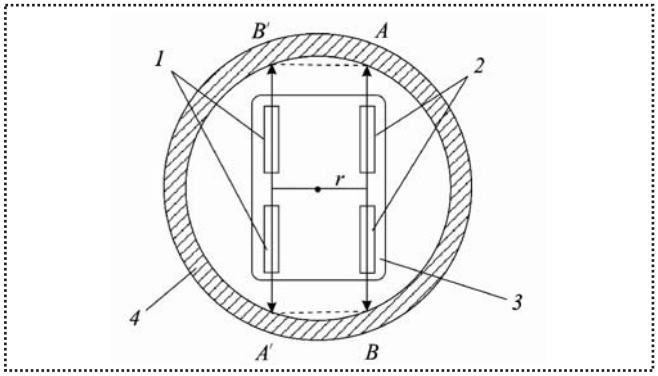


Рис. 3. Измерение диаметра отверстия детали:
1, *2* – датчики; *3* – измерительное устройство; *4* – измеряемое отверстие

нально цилиндрического отверстия можно определить, зная размер двух параллельных хорд, отстоящих друг от друга на известном расстоянии. Размеры этих хорд определяют, получая суммарные сигналы с каждой пары датчиков, лежащих на одной оси. Схема измерения приведена на рис. 3.

После получения суммарных сигналов с датчиков, у фигуры $ABA'B'$ вершины лежат на одной окружности, а основания AB и $A'B'$ параллельны. Так как все вершины лежат на одной окружности, а основания параллельны, то $ABA'B'$ – равносторонняя трапеция. Высота этой трапеции равна расстоянию между осями, на которых располагаются датчики (рис. 4).

Исходя из приведенных условий, нетрудно определить диаметр отверстия, как диаметр описанной вокруг трапеции окружности

$$D = \frac{alc}{2\sqrt{(p(p-a)(p-l)(p-c)}}.$$

Здесь диагональ трапеции l определена из прямоугольного треугольника BCB', катет $B'C$ которого равен полусумме оснований, а катет BC равен удвоенному радиусу поворота измерительной головки:

$$l = \sqrt{r^2 + \left(\frac{b+a}{2}\right)^2}.$$

Боковую сторону c определяют из прямоугольного треугольника BCA', в котором BC – удвоенный радиус поворота измерительной головки, а CA' равен половине разности оснований

$$c = \sqrt{r^2 + \left(\frac{b-a}{2}\right)^2}.$$

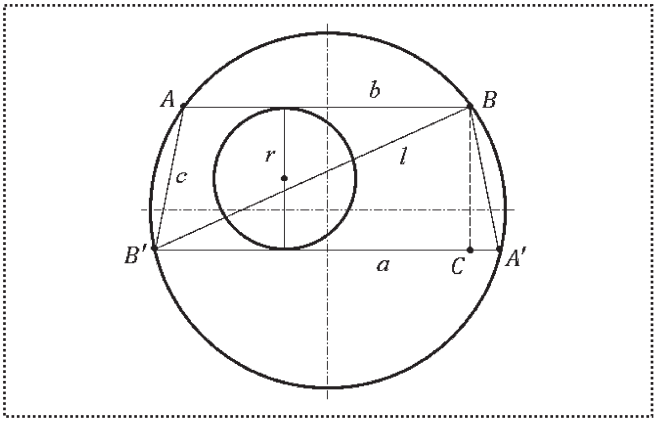


Рис. 4. Определение диаметра окружности, описанной вокруг равносторонней трапеции:
r – расстояние между осями закрепления датчиков; *l* – диагональ трапеции; *a* – большее основание; *b* – меньшее основание; *c* – боковая сторона

Тогда параметр p можно вычислить как

$$p = \frac{a+l+c}{2}.$$

Важно отметить, что a – большее основание, поэтому перед проведением расчетов необходима проверка условий:

если $U_2^{II} + U_1^{II} < U_2^{I} + U_1^{I}$, то $a = U_2^{I} + U_1^{I}$; $b = U_2^{II} + U_1^{II}$;

если $U_2^{II} + U_1^{II} > U_2^{I} + U_1^{I}$, то $a = U_2^{II} + U_1^{II}$; $b = U_2^{I} + U_1^{I}$.

Здесь U_2^{I}, U_1^{I} и U_2^{II}, U_1^{II} – сигналы первой и второй пары датчиков.

Таким образом, возможно измерение диаметра номинально цилиндрического отверстия детали с компенсацией погрешности базирования измерительной головки относительно измеряемой поверхности.

Предложенный способ, так же как и предыдущий, можно применять для измерения внешнего диаметра цилиндрической поверхности.

Библиографический список

1. **Повышение** точности измерения диаметров отверстий деталей / А.Д. Измайлов и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 5. С. 31–33.

2. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя.В 3-х т. Т. 1. М.: Машиностроение, 1979. 728 с.

3. **ГОСТ 30893.1–2002.** Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. М.: Изд-во стандартов, 2005. 6 с.

УДК 631.3-235-036

В.И. Молчанов, *канд. техн. наук (Орловский государственный аграрный университет)*
E-mail: alexred@gmail.ru

Конструирование и изготовление червячных колес из капролона для приводов промышленных и транспортных машин

Описан перспективный метод получения червячных колес из капролона – полимеризация в форме (свободное литье).

Describes a perspective method of producing a caprolon worm wheels – form polymerization (free casting).

Ключевые слова: капролон, червячное колесо, конструкция, изготовление.

Keywords: caprolon, worm wheel, construction, manufacturing.

В связи с резким повышением стоимости черных и, особенно, цветных металлов возникла необходимость ускорения поиска материалов-заменителей с высокими качественными характеристиками, малой массой и себестоимостью, обладающих конкурентоспособностью на мировом рынке. Решению этой задачи способствует применение в машинах полимерных деталей, в частности, из нового конструкционного материала – капролона [1].

Одним из направлений совершенствования приводов общемашиностроительного применения (ОМП) является исследование редукторов и мотор-редукторов с червячными передачами. Несмотря на относительно меньший по сравнению с цилиндрическими передачами КПД и необходимость применения дорогостоящих антифрикционных материалов, они благодаря меньшим размерам и удобной компановке востребованы на рынке приводов ОМП.

Этапы конструирования и учет специфических свойств полимерного материала

При конструировании пластмассовых червячных колес необходимо реализовать следующие этапы разработки:

- сформулировать требования к конструкции;
- дать технико-экономическое обоснование;
- оценить уровень показателей механических свойств материала при кратковременном и длительном нагружениях;
- определить уровень напряжений, уровень действующих на элементы конструкции внешних сил и уровень требуемой износостойкости;
- обеспечить соответствие уровней расчетных и допускаемых напряжений;
- рассмотреть конструкцию по критериям ее пригодности к изготовлению, упрочнению, монтажу, операциям производства и послепроизводственным операциям, стоимости;
- проанализировать образцы, а также уже испытанные и применяемые прототипы;
- принять окончательный вариант конструкции, разработать технические условия, провести испытания деталей, собранных в сборочный узел с указанием перерабатывающего оборудования, получить заключение о работоспособности и разработать рекомендации по производству изделий.

По сравнению с металлическими пластмассовые червячные колеса имеют ограниченную стойкость к повышенным температурам, высокий коэффициент термического линейного расширения и сравнительно низкую нагрузочную способность. Поэтому при рассмотрении конструкции важным является обеспечение отвода тепла в собранном узле при изменяющихся условиях окружающей среды и эксплуатации.

При производстве капролоновых червячных колес наиболее часто используют методы полимеризации в форме и механической обработки. Размеры колес, изготавливаемых свободным литьем, практически не ограничены, а размеры механически обрабатываемых червячных колес определяются размерами получаемых полимеризацией в форме заготовок. Экономия усилий и времени при конструировании обычно обеспечивается взаимными

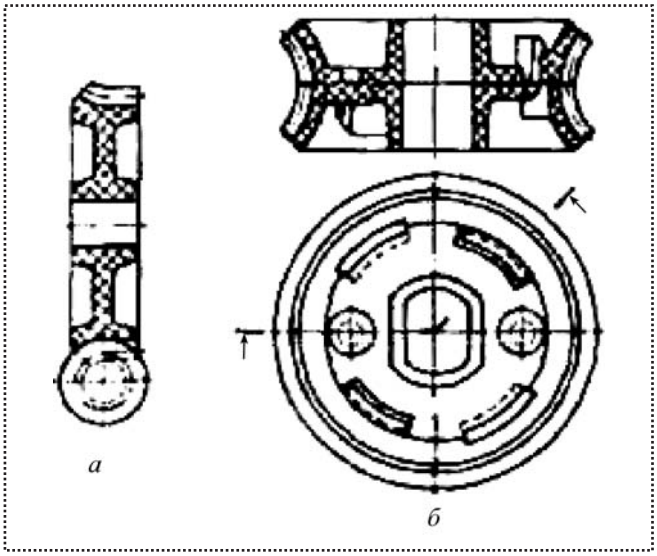


Рис. 1. Варианты конструкций червячных колес:
а – колесо с зубчатым венцом, смещенным и повернутым относительно оси поперечного сечения колеса в одной неразъемной матрице; *б* – колесо, состоящее из двух идентичных половин

консультациями конструктора, технолога и производителя материала.

При изготовлении червячных колес из пластмасс в литьевых формах возникают сложности при извлечении отливки из формы. В приборостроении при проектировании малонагруженных червячных передач для упрощения технологии изготовления пренебрегают ухудшением условий эксплуатации и используют пару "цилиндрический червяк – цилиндрическое зубчатое колесо" [2]. При этом процесс извлечения отливки из литьевой формы упрощается.

Для нагруженного привода следует использовать глобоидную червячную передачу, однако из-за сложности извлечения отливки колеса такой конструкции существенно возрастают затраты на изготовление литьевой формы. Преодолеть указанные затруднения можно, используя конструкцию колеса с зубчатым венцом, смещенным и повернутым относительно оси поперечного сечения колеса (рис. 1, *а*). Можно также изготавливать червячные колеса из двух идентичных половин, соединенных на защелках, болтами и т.п. (рис. 1, *б*). В этом случае, естественно, возрастают требования к точности литьевой формы и сборке при соединении частей колеса.

При конструировании форм для червячных колес необходимо учитывать, что при выталкивании отливка, двигаясь по зубьям матрицы как по направляющим, поворачивается на некоторый угол, определяемый углом наклона зубьев и шириной зубчатого венца, что требует применения поворотного трубчатого выталкивателя.

Армированные червячные колеса

Конструкция червячного колеса должна соответствовать его назначению, обеспечивать работоспособность колеса в заданных условиях эксплуатации. Важным требованием является технологичность конструкции, что позволяет экономить материал, упростить формующий инструмент и оснастку, снизить стоимость изготовления. Прочность, надежность и долговечность передачи зависят от применяемого материала, размеров червячных колес, наличия и расположения арматуры, точности изготовления и других факторов. Получить конструкцию, удовлетворяющую предъявленным к ней требованиям, можно лишь при условии полного учета специфических особенностей физико-механических и технологических свойств полимерных материалов.

Одним из перспективных путей повышения несущей способности полимерных червячных колес и их эксплуатационных характеристик является использование металлических армирующих элементов. Армированием пластмассовых червячных колес металлом достигается увеличение изломной прочности зубьев.

Решение этой задачи состоит в использовании арматуры, усиливающей каждый зуб колеса в отдельности (рис. 2).

Наиболее верным представляется разработанное автором конструктивное решение, основанное на введении армирующего элемента непосредственно в тело полимерного зуба и использовании металлических дисков, улучшающих крепление колеса на валу [3].

Червячное колесо (рис. 3) содержит полимерный корпус *1*, металлические диски *2* с упрочняющими ребрами *3*, выполненными прямоугольной формы. Диски *2* и ребра *3* образуют неразъемную конструкцию. Геометрический расчет основных элементов колеса произведен по рекомендации работы [4].

В процессе передачи от витков червяка вращающего момента все зубья полимерного корпуса *1* поочередно нагружаются, при этом, благодаря нали-

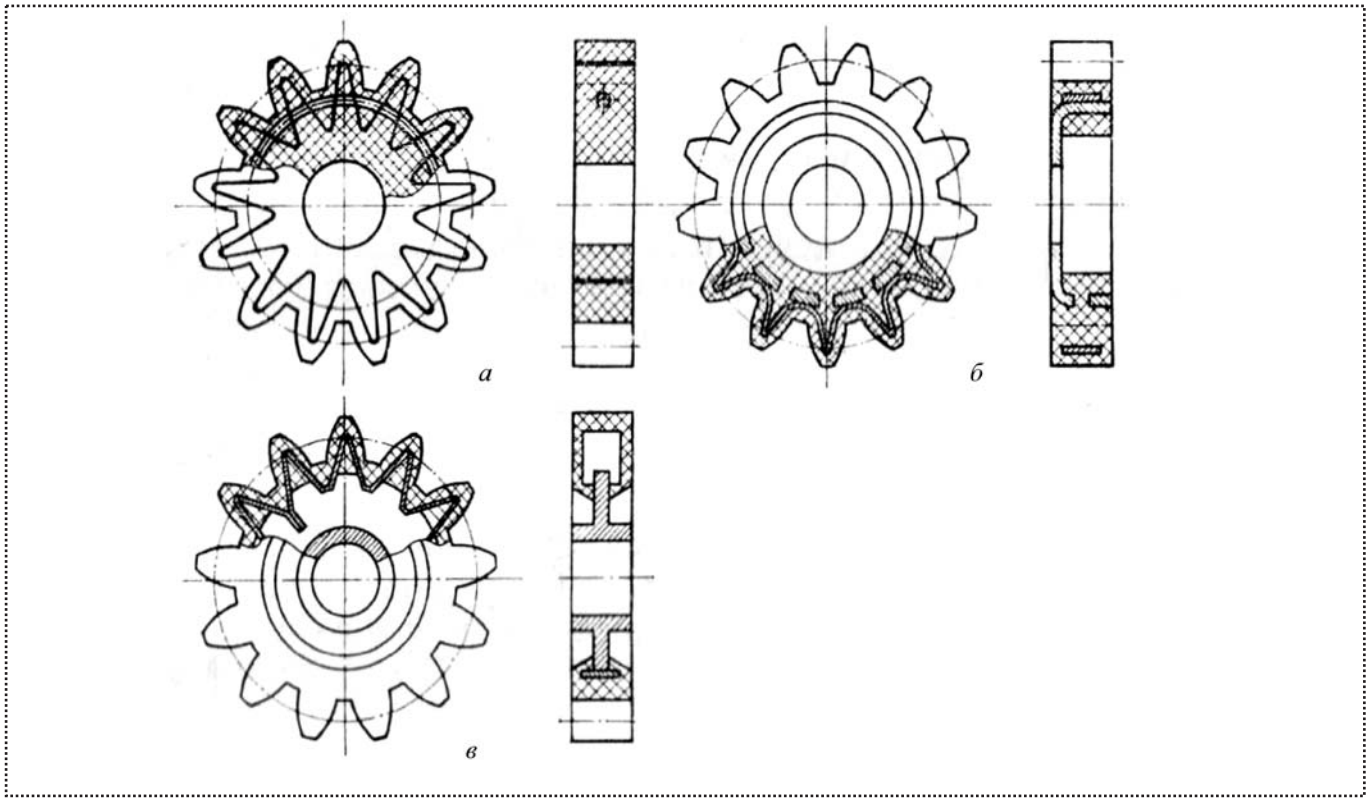


Рис. 2. Металлополимерные зубчатые колеса с ленточной арматурой, усиленной проволочным кольцом (*а*), закрепленной на периферии штампованной ступицы (*б*) и в пазах диска колеса (*в*)

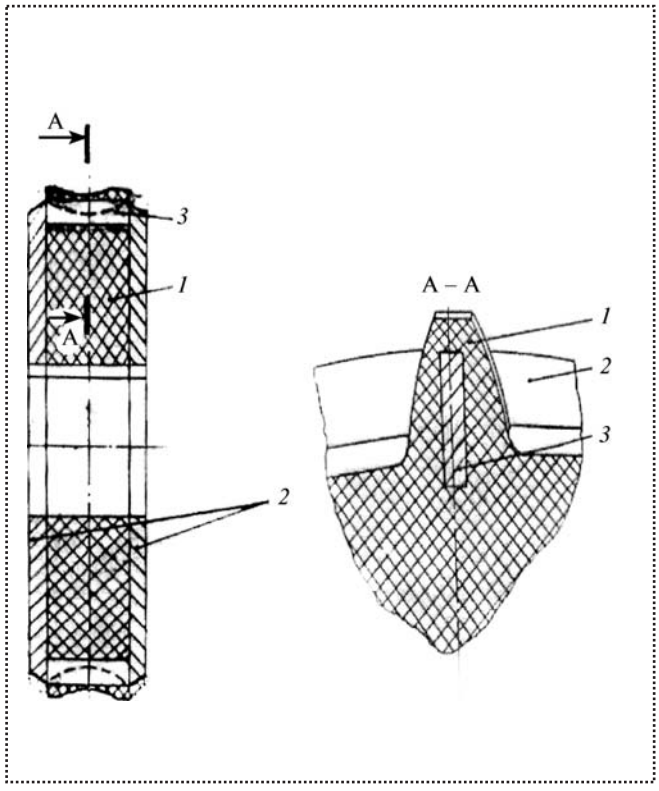


Рис. 3. Армированное червячное колесо

чию ребер *3* и металлических дисков *2*, усиливается каждый зуб колеса в отдельности.

В результате повышается изломная прочность зубьев и долговечность передачи в целом.

Кроме того, предлагаемая конструкция колеса повысит жесткость и стабильность размеров пластмассового венца при сохранении прочности и надежности соединения червячного колеса с валом. Колесо из полимерного материала (капролона В) с упрочняющими ребрами испытано в различных конструкциях и показало, что долговечность его повышается в 2,5 раза.

Технология изготовления крупногабаритных червячных колес

Производство изделий из капролона отличается от технологии изготовления деталей из известных типов полиамидов – капрона, смолы П-68 и др. Это отличие заключается в том, что полимер образуется из мономера и ионной полимеризацией непосредственно в форме. Отсутствие в технологическом процессе стадий получения расплава полимера, гранулирования, отмывки и сушки гранул с по-

следующим повторным расплавлением полуфабриката при переработке в изделия является, по-видимому, причиной более высоких молекулярной массы и физико-химических свойств капролона по сравнению с обычными полиамидами.

Изготовление заготовок из капролона методом анионной полимеризации

Сухой капролактам (с содержанием влаги не более 0,3 %) расплавляют при 90 °С в среде азота.

Смесь расплавленного капролактама с активатором (0,3 % металлического натрия) перемешивают при 143 °С в течение 0,5 ч. После этого загружают инициатор (0,3 % ацетилкапролактама); полученную смесь вновь перемешивают в течение 2...3 мин. Полученный полимер заливают в предварительно разогретые до 143 °С формы. Температуру формы с залитым полимером повышают до 200 °С и выдерживают для окончательной полимеризации полимера в течение 1 ч. Затем извлекают готовый блок.

В связи с низкой теплопроводностью капролона почти все тепло (до 99,8 %) отводит режущий инструмент, вызывая его перегрев и искажение профиля. Для исключения возможности оплавления поверхности изделия температура резания должна быть не более 160 °С.

Зубофрезерование капролона рекомендуется вести на высоких скоростях резания ($v_р \le 300$ м/мин) и при малых подачах ($S_р \ge 0{,}1$ мм/об), что способствует получению высокой чистоты поверхности зуба. Рекомендуемые режимы механической обработки червячных колес приведены в таблице.

Рекомендуемые режимы механической обработки червячных колес из капролона В

Параметр	Зубодолбление	Зубофрезерование	Шевингование
Степень точности	8–9	7–8	6–7
Скорость резания, м/мин	20...30	80...100	15...20
Подача,мм/ дв. ход долбяка или оборот заготовки	0,03...0,06	0,2...0,4	0,03...0,05

Выводы

1. Из многих известных методов переработки пластмасс для капролона рекомендуется полимеризация в форме (свободное литье) как наиболее перспективный метод получения червячных колес, совмещающий образование полимера с формообразованием изделия из него, так называемое "химическое формование".

2. По сравнению с металлическими капролоновые червячные колеса имеют ограниченную стойкость к повышенным температурам, высокий коэффициент термического линейного расширения и сравнительно низкую нагрузочную способность. Поэтому была разработана конструкция армированного червячного колеса, защищенная свидетельством на полезную модель, позволившая повысить его долговечность в 2,5 раза.

Библиографический список

1. **Молчанов В.И.** Особенности напряженно-деформированного состояния полимерного материала при трении пары сталь–капролон // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 4. С. 8–12.

2. **Krause W.** Grundlagen der konstruktion – lehrbuh fur elektroingenieure. Berlin, 1984.

3. **Свидетельство** № 1888. Червячное колесо / В.И. Молчанов, Ю.Г. Шестаков, зарегистрир. в Госреестре полезных моделей 16.03.1996. 3 с.

4. **Гавриленко В.А., Москалёв М.А., Остапенко О.И.** Мелкомодульные металлополимерные зубчатые передачи. М.: Машиностроение, 1972. 184 с.

УДК 681.183

К.Т. Чан, А.А. Плешаков, А.Ю. Горелова, А.Д. Измайлов, П.А. Федоров, М.Г. Кристаль, *д-р техн. наук*
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Пневматическое сортировочное устройство

Разработано пневматическое устройство для сортировки цилиндрических деталей по линейным размерам, осуществляющее также сортировку деталей, форма которых удовлетворяет допустимым величинам, и деталей, требующих дополнительной обработки, на отдельные подгруппы. В устройстве в качестве газовой прослойки для транспортирования деталей используется сжатый воздух.

Authors have developed the pneumatic device for the sorting of a cylindrical pieces into dimensional groups according to their linear dimensions and into subgroups depending on whether its shape fit to form tolerances or requires additional machining. The compressed air is used as a gas bearing layer for transportation of pieces.

Ключевые слова: сортировочное устройство, цилиндрическая деталь, газовая прослойка, буровая коронка.

Keywords: sorting device, cylindrical piece, gas bearing layer, drilling bit.

Для обеспечения требуемого качества сборки прецизионных соединений используют метод групповой или межгрупповой взаимозаменяемости, предусматривающий измерение размеров сопрягаемых поверхностей деталей и их сортировку на размерные группы.

Поскольку пневматическое измерительное устройство [3, 4] применяют для измерения размеров как охватываемых, так и охватывающих поверхностей, то сжатый воздух целесообразно использовать и для транспортирования деталей при их сортировке, например, в устройствах с газовой прослойкой [1, 2, 5].

Для сортировки цилиндрических деталей типа твердосплавных зубков буровых коронок предложено пневматическое сортировочное устройство (рис. 1). Устройство позволяет осуществлять разделение деталей на N размерных групп, с подгруппами $n.1$, имеющими допустимые погрешности формы (например, конусности) и подгруппами $n.2$, требующими дополнительной обработки (исправимый брак). Детали, признанные неисправимым браком, направляют в специальный отсек.

Устройство содержит секционное пневматическое транспортировочное устройство *2*, которое включает $N+1$ секций *11*, оснащенных соплами *10* для подвода сжатого воздуха к рабочей поверхности, и систему *12* пневмораспределителей; датчик *3* наличия детали, блок *13* управления транспортировочным устройством *2*, трехпозиционный пневмоцилиндр *9*, оснащенный конечными выключателями *6*, блок *7* управления пневмоцилиндром *9*, пневмораспределители *8*, рычажный механизм *5* и толкатель *4*.

Измерительный сигнал в виде последовательного кода поступает от измерительного устройства (ИУ) на блок управления транспортировочным устройством *2* (БУТУ). Он содержит информацию о размерной группе n ($n \in [1, \ldots, N]$) сортируемой детали, а также о том, удовлетворяет ли ее форма допустимой величине.

Деталь *1* поступает в транспортировочное устройство *2* с измерительной позиции ИУ и сигнал фотодатчика *3* наличия детали переводит БУТУ *13* и блок *6* управления пневмоцилиндром *9* (БУПЦ) из ждущего режима в активный. БУТУ формирует сигнал управления транспортировочным устройством *2*, который подают на систему *12* пневмораспределителей, коммутируя сопла *10* соответствующих размерной группе детали n секций с источником сжатого воздуха. На БУПЦ сигнал управления от датчика *3* наличия детали подают с временной задержкой $t_з$, равной времени перемещения детали в $(N+1)$-ю позицию.

БУТУ формирует сигналы, поступающие на соответствующие n электромагнитов $P_1 - P_n$ пневмораспределителей, посредством которых коммутируют сопла *10*, соответствующих n секций с источником сжатого воздуха, что обеспечивает переме-

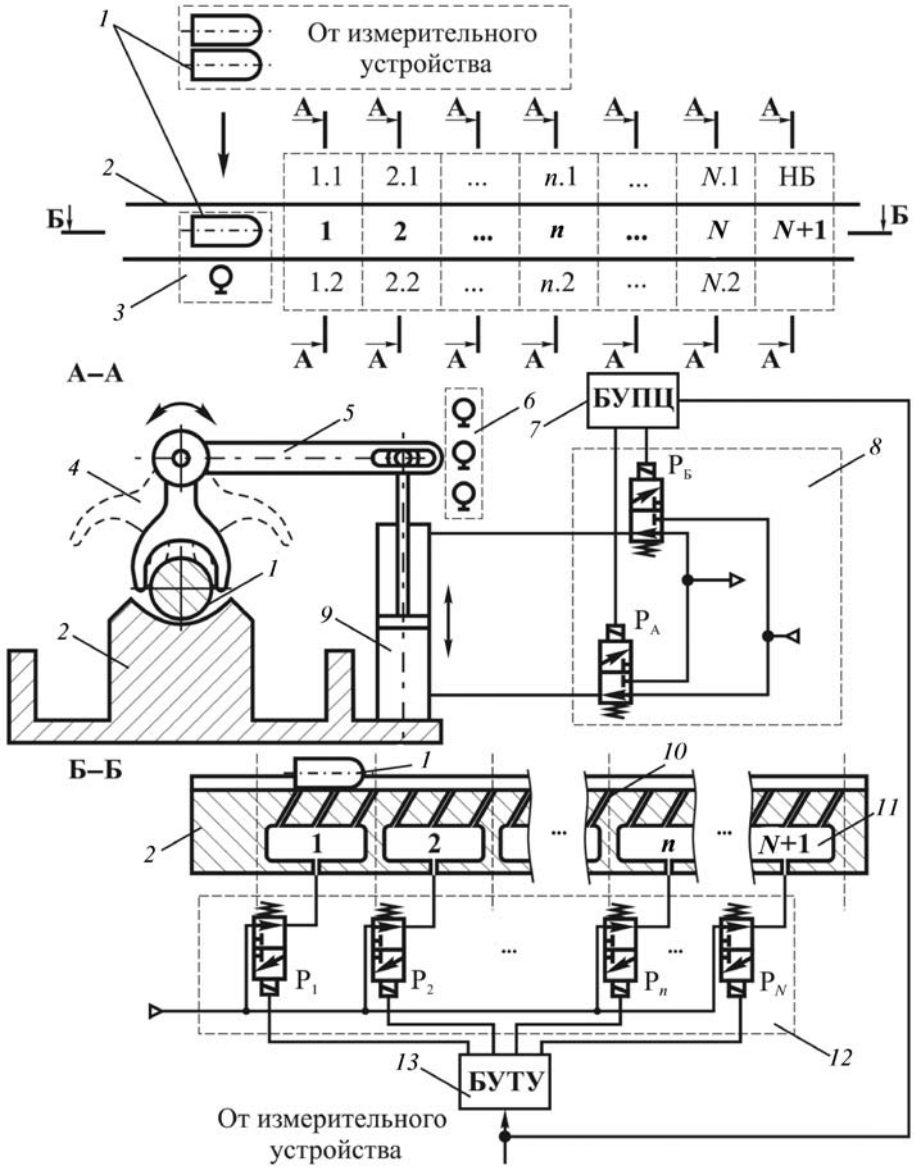


Рис. 1. Пневматическое сортировочное устройство

щение детали до n-й позиции. Если деталь признана неисправимым браком, то ее перемещают до $(N+1)$-й позиции.

По истечению времени задержки $t_з$ БУПЦ подает сигнал на электромагнит $Р_А$ или $Р_Б$ соответствующих пневмораспределителей, что приводит к перемещению штока пневмоцилиндра *9* из нейтрального в одно из конечных положений. Пневмоцилиндр *9* через рычажный механизм *5* приводит в движение толкатель *4*, который направляет деталь *1* либо в накопитель $n.1$, либо в накопитель $n.2$, либо в отдельную емкость НБ. После этого шток возвращают в нейтральное положение в соответствии с сигналами конечных выключателей *8*.

БУПЦ (рис. 2) содержит микроконтроллер *ATTINY2313*, управляющий работой электромагнитов $Р_А$ и $Р_Б$ пневмораспределителей.

Экспериментально было установлено, что скорость $v_{тр}$ транспортирования твердосплавных зубков на воздушной прослойке в секционном пневматическом струйном транспортном устройстве при давлении $p_{тр}$ сжатого воздуха, подаваемого в наклонные в направлении транспортирования сопла устройства, в диапазоне значений $p_{тр} = 0{,}05...0{,}09$ МПа, варь-

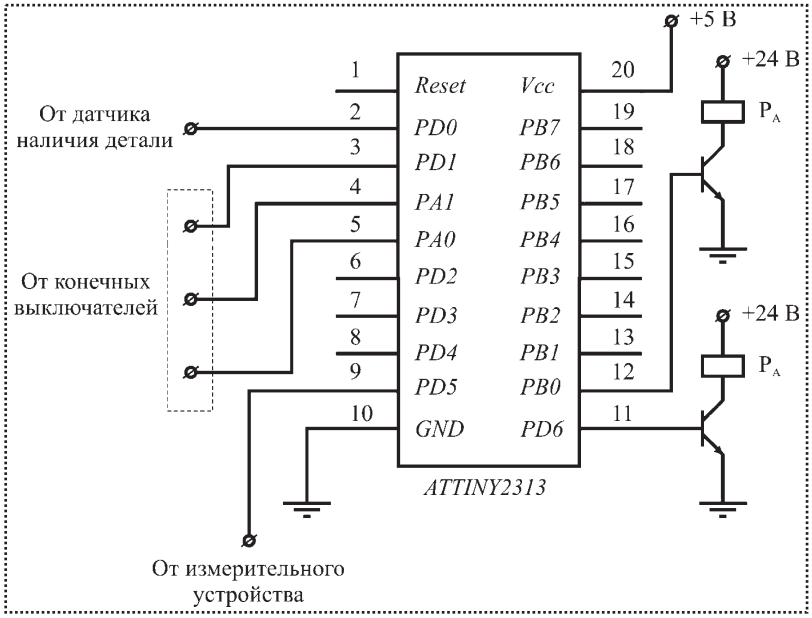


Рис. 2. Блок управления пневмоцилиндром

ируется в пределах $v_{тр}$ = 146...253 мм/с. Таким образом, средняя производительность сортировки деталей на 9 групп с использованием предложенного устройства, при протяженности одной секции 30 мм, составит около 60 шт./мин.

Библиографический список

1. **Авцинов И.А., Кристаль М.Г., Маликов Д.Ю.** Классификация устройств с газовой несущей прослойкой // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 9–11.

2. **Кристаль М.Г., Харькин О.С.** Струйное устройство контроля и сортировки деталей для сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 10. С. 21–23.

3. **П.м. 128315 РФ**, МПК G01B13/00. Пневматическое устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / М.Г. Кристаль и др. ВолгГТУ. 2013.

4. **Устройство** для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения / М.Г. Кристаль и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 3. С. 3–5.

5. **Харькин О.С., Кристаль М.Г.** Экспериментальные исследования струйных сортировочных устройств // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 3. С. 10–12.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

Головин Ю.И.

НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕ И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ

ISBN 978-5-94275-476-1 312 с. Цена 693 р.

Описаны принципы, методы и средства для реализации испытаний и определения механических свойств материалов в наношкале, которые получили в последние годы большое распространение под общим названием "наноиндентирование". Обсуждены информационные возможности этого большого и многофункционального семейства методов нано- и микромеханических испытаний. Рассмотрены различные аспекты и особенности поведения твердых тел в условиях сильно стесненной деформации, возникающей при локальном нагружении поверхности микронагрузкой. Описаны способы извлечения механических характеристик тонких приповерхностных слоев разнообразных материалов, пленок и многослойных покрытий при локальном нагружении. Особое внимание уделено физическим механизмам деформации и разрушения в этих условиях.

Книга адресована научным и инженерно-техническим работникам, занимающимся созданием, исследованием и аттестацией новых наноструктурных материалов и систем, а также будет полезна студентам и аспирантам, обучающимся по направлениям нанотехнологии и наноматериаловедения.

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

УДК 658.527.011

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

Сборка печатающих головок струйных принтеров

Представлены технологические схемы сборки одного из вариантов печатающей головки струйного принтера, включая сборку крышки, установку терморезистивной матрицы, сборку крышки с корпусом, заливку чернил и герметизацию печатающей головки.

Показаны конструктивные схемы автоматической сборочной линии модульного типа и основных сборочных узлов.

The process diagrams of the assembly of one of the variants of printhead of inkjet printer including the assembly of the cap, epy installation of the thermoresistive matrix, the assembly of the cap to the housing, ink filling and the pressurization of the printhead are represented.

The constructive schemes of the automatic assembly line of modular type and main subassemblies are shown.

Ключевые слова: печатающая головка, сборочная линия, сборочный узел, сборочный модуль.

Keywords: printhead, assembly line, subassembly, assembly module.

В одном из вариантов печатающая головка (ПГ) струйного принтера представляет собой пластмассовый корпус *6* (рис. 1), в котором размещен резиновый баллон для чернил (на рисунке не показан), и пластмассовую крышку *5* с терморезистивной матрицей *3* и соплообразующей пластиной *2*.

В крышке имеется отверстие для заливки чернил, которое после заполнения баллона чернилами запирается пластмассовым шариком *4*. Герметичное соединение крышки с корпусом достигается развальцовкой снизу четырех штифтов *1*, входящих в отверстия фланца корпуса *6*. Штифты *1* отлиты заодно с крышкой *5*.

Сборка печатающих головок выполняется на автоматизированном комплексе, состоящем из трех линий: сборки крышки, сборки корпуса, заливки чернил и запрессовки шарика. Операция подсборки терморезистивной матрицы осуществляется вне линии на специальном оборудовании.

Линия сборки крышки состоит из четырех модулей I–IV (рис. 2). На первом модуле робот *5* загружает в транспортный спутник *1* крышку *2*, которая ориентируется в вибробункере *4* и подается в выходной лоток под захват робота. Правильность установки крышки контролируется фотодатчиком.

На втором модуле на крышку устанавливается круглый сетчатый фильтр *3* для чернил. После контроля установки фильтра на следующей позиции этого модуля выполняется операция его завальцовки с помощью ультразвуковой головки *8*. Подача сетчатого фильтра под захват робота производится из вибробункера *7* с ориентацией его в магнитном накопителе *6*.

Установка на крышку *2* терморезистивной матрицы *10* с соплообразующей пластиной осуществляется роботом третьего модуля из плоской кассеты *9*. Второй робот снимает матрицу с крышки и переносит ее в позицию *11* нанесения клея на нижний периметр, и затем вновь укладывает матрицу *10* в гнездо крышки *2*. До полимеризации клея спе-

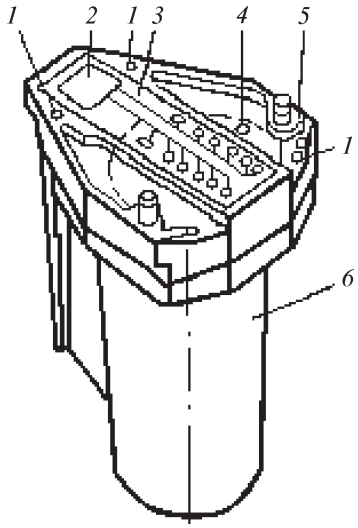


Рис. 1. Печатающая головка струйного принтера

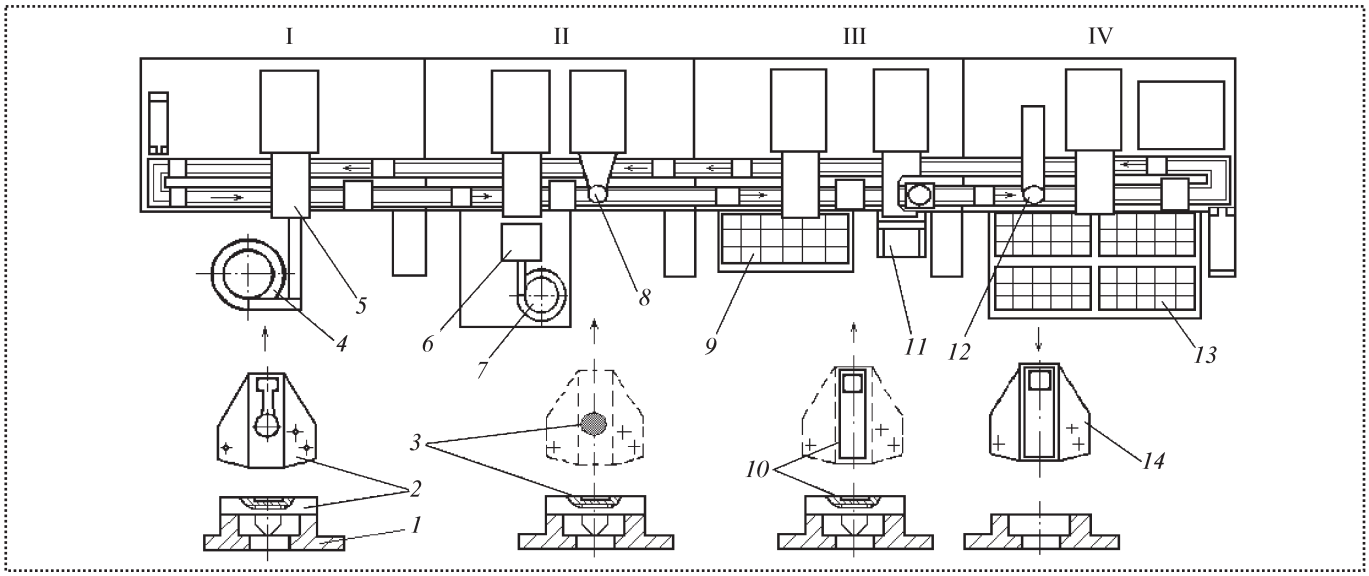


Рис. 2. Технологическая схема сборки крышки печатающей головки струйного принтера

циальное устройство обеспечивает точное базирование матрицы. Последней операцией, выполняемой на четвертом модуле, является контроль качества приклейки матрицы с помощью видеокамеры *12* и выгрузки собранного узла *14* в унифицированную плоскую кассету *13*. Кассета с собранными крышками поступает на линию сборки ПГ.

Линия сборки корпуса ПГ с крышкой состоит из пяти модулей I–V, на одном из которых организовано рабочее место оператора (рис. 3). Загрузочный робот на первом модуле перекладывает корпуса *2* ПГ из ячеек унифицированной плоской кассеты *1* в транспортные спутники *3* замкнутого конвейера линии.

На втором модуле оператор вставляет в корпус *2* резиновый баллон *4* для чернил. Баллоны располагаются на рабочем месте в таре навалом.

Затем робот третьего модуля забирает из стандартной кассеты крышку *5* и устанавливает ее на корпус *2*. При этом четыре штифта крышки должны войти в соответствующие отверстия фланца

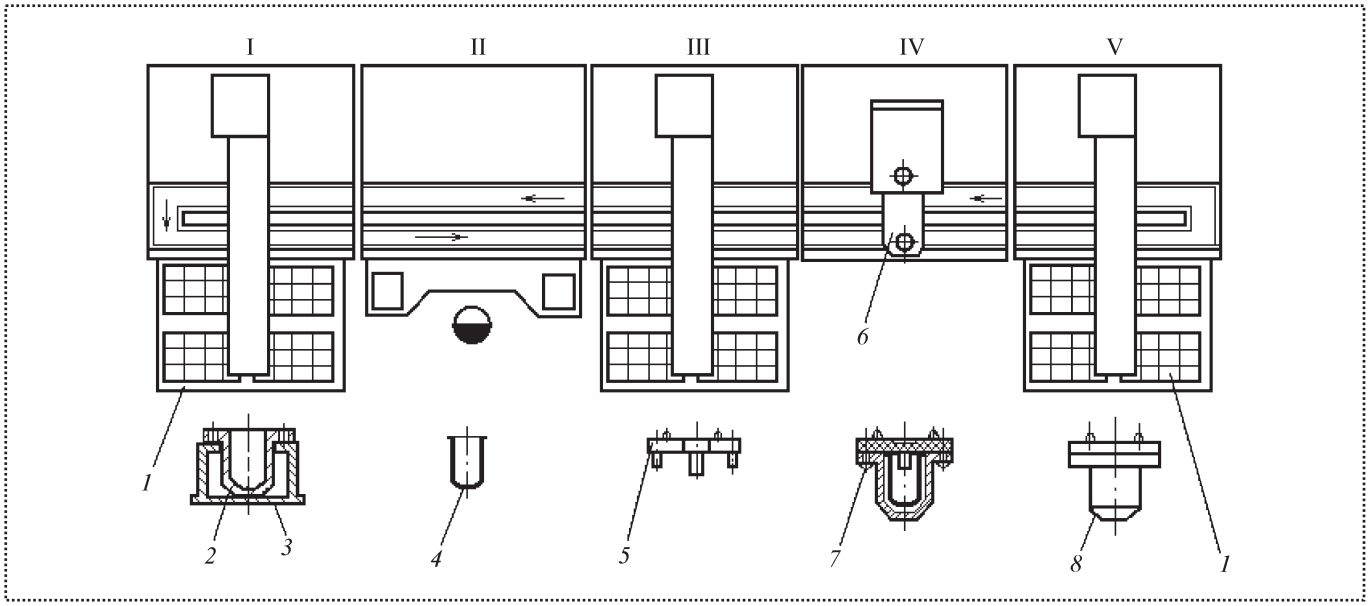


Рис. 3. Технологическая схема сборки крышки с корпусом ПГ на полуавтоматической линии

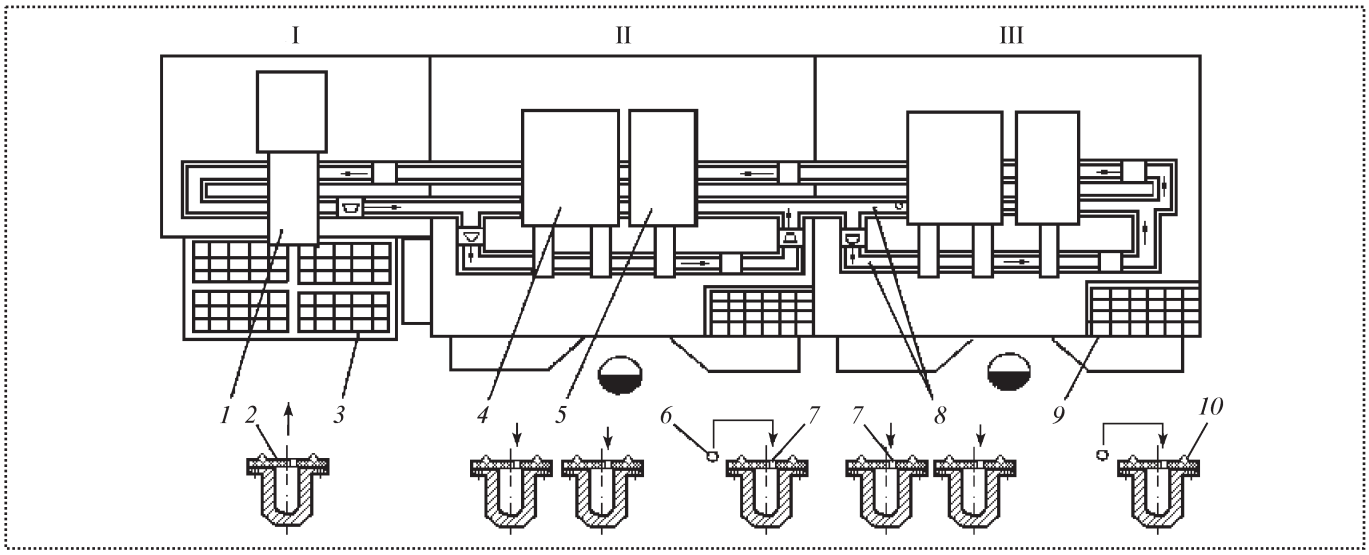


Рис. 4. Технологическая схема заливки чернил в корпус ПГ и запрессовки шарика

корпуса. На четвертом модуле УЗ головка *6* развальцовывает концы штифтов *7* крышки *5*, образуя герметичное неразъемное соединение ПГ.

После контроля качества сборки робот пятого модуля выгружает собранную печатающую головку *8* из транспортного спутника в унифицированную кассету *1*. Кассеты с собранными ПГ отправляются на линию заливки чернил.

Кассеты с собранными печатающими головками *2* устанавливаются в кассетный накопитель *3* модуля I полуавтоматической линии заливки чернил и запрессовки в корпус запирающего шарика (рис. 4). Робот *1* этого модуля перегружает ПГ из кассеты в транспортные спутники линии. Далее в линии расположены две одинаковые полуавтоматические установки II и III, на которых автоматически заливаются чернила в баллон корпуса ПГ и запирается шариком *6* заливочное отверстие *7*. Операции предварительной и окончательной заливки выполняет устройство *4*, а операцию запрессовки – механизм *5*. Операторы на этих установках выгружают готовые изделия *10* из спутников в ячейки стандартной кассеты *9*.

Размещение двух одинаковых установок дает возможность сохранить тактовое время и, следовательно, производительность линии, определяемое временем выполнения перегрузочной операции на первом модуле. Транспортная система *8* каждой полуавтоматической установки разветвляется на две параллельные линии, что позволяет без задержек распределять спутники между установками.

С линии заливки чернил кассеты с ПГ отправляются на участок контроля функционирования ПГ. При необходимости на последующей стадии автоматизации процесса сборки ПГ полуавтоматические установки заливки чернил и запрессовки шарика могут быть довольно легко превращены в автоматы за счет дооснащения установок двумя унифицированными узлами базового модуля: загрузочным роботом и кассетным накопителем.

Технологическая схема сборки крышек ПГ, показанная на рис. 2, реализуется на автоматической линии, общий вид которой представлен на рис. 5.

Линия содержит четыре базовых сборочных модуля, причем на каждом модуле предусмотрены изоляторы брака *4*, в которые специальным механизмом передаются спутники с забракованными узлами. На общем виде линии сборки крышек (передний план) выделим сменные узлы: напольное вибробункерное устройство *1* загрузки крышек, загрузочное устройство *5* для фильтров, кассетные накопители матриц *7* и собранных крышек *9*, ультразвуковую сборочную головку *6*, механизм нанесения клея *8*.

Состав унифицированных узлов стандартный: транспортная система в виде замкнутого конвейера спутников, загрузочный робот *3*, блок управления модулем *2*, СТЗ с видеокамерой *10* и монитором *11* и др.

Производительность линии – не менее 600 сборок в час. Точность позиционирования захвата робота и шаговой подачи кассет составляет ±0,1 мм, а точность фиксации спутников в позиции сборки

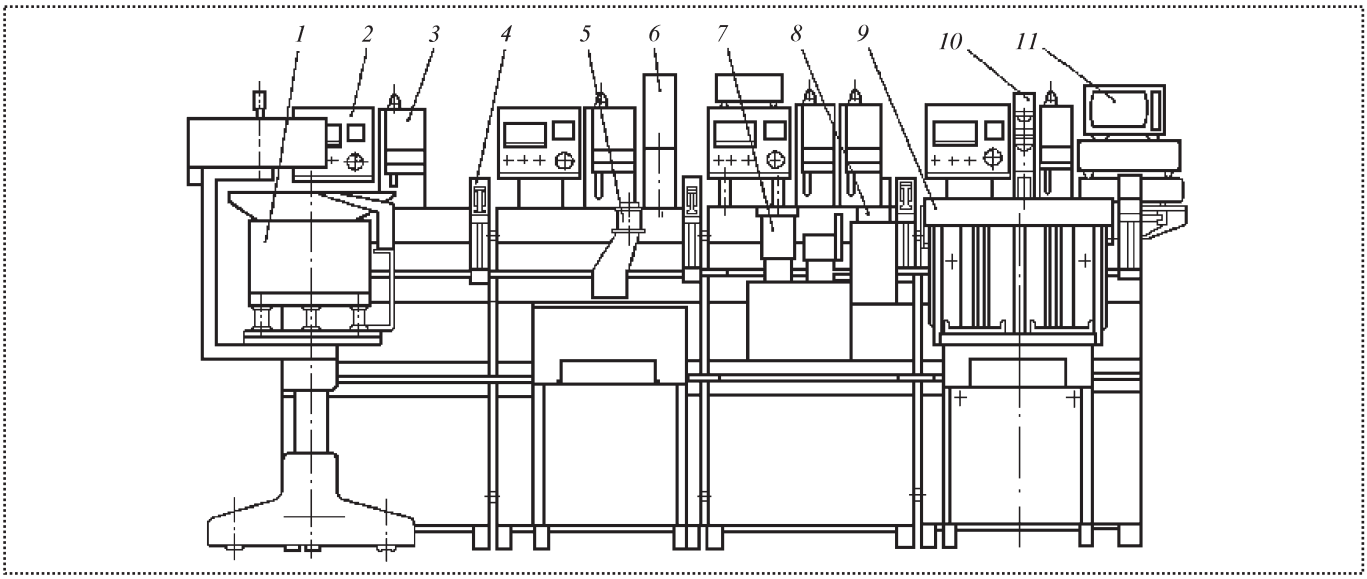


Рис. 5. Автоматическая линия сборки крышки печатающей головки (передний план)

±0,05 мм. Давление сжатого воздуха в пневмосети линии равно $(4,5...5,0)\cdot10^5$ Па, а давление в вакуумной сети – $0,67\cdot10^5$ Па. Линия может использоваться как в автономном режиме, так и в составе гибких сборочных производств.

Сборка крышки на линии ведется в унифицированном спутнике, в котором крышка базируется четырьмя штифтами в отверстия спутника. Крышка устанавливается в спутник загрузочным роботом на первом модуле сборочной линии.

На установке сборки терморезистивных матриц *6* оператор предварительно наносит на них клей и

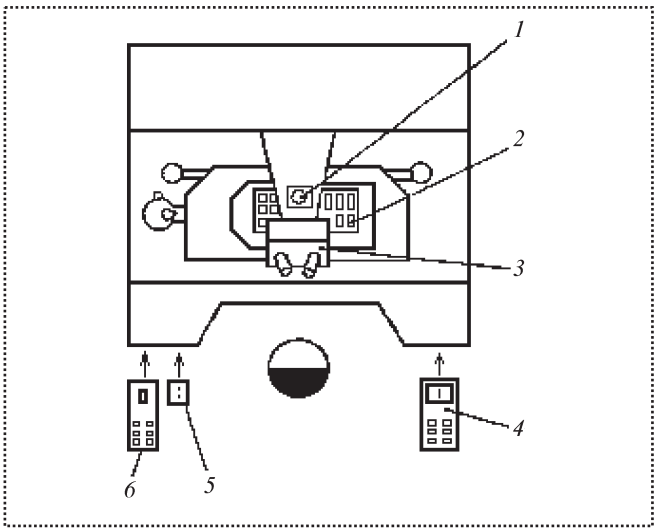


Рис. 6. Установка для сборки терморезистивной матрицы

укладывает в кассету *2*, в которой матрицы выдерживаются для подсушки клеевого слоя (рис. 6). После подсушки кассета с матрицами ставится в позицию сборки, где матрица подогревается до температуры 200 °С и на нее с помощью манипулятора *1* устанавливается соплообразующая пластина *5*.

Для контроля точности установки пластины используется микроскоп *3*. Пластины размещаются в специальной плоской кассете.

Матрицы с установленными соплообразующими пластинами выдерживаются в течение двух часов, пока идет полимеризация клея. Затем кассета *2* с собранными матрицами *4* поступает на линию сборки крышек (см. рис. 2 и 5).

Описанная технология клеевого соединения связана с особенностями конструкции матрицы и пластины и высокими требованиями к точности сборки, которая составляет ±0,03 мм. Соплообразующая пластина, изготовленная из никеля методом гальванопластики, имеет ряд из 12 отверстий диаметром 0,055 мм. В установке сборки предусмотрена возможность изменения усилия поджатия пластины к матрице в диапазоне 0,4...2,0 Н. Производительность установки – 400 сборок в час.

Подача матриц на сборку производится с помощью бесконтактного струйного захвата [1, 3].

В позиции дозированной заливки чернил в баллон собранной ПГ корпус *2* ПГ фиксируется прижимом *3* (спутник *1* на транспортном тракте линии не фиксируется) и в отверстие крышки ПГ входит

заправочный шприц *4* , который смонтирован на каретке *5* вертикального хода (рис. 7, *а*).

Затем включается гидропневматический клапан (ГПК), и в баллон корпуса ПГ заливается необходимая доза чернил с точностью ±0,1 см^3. Одновременно с подъемом каретки *5* отключается ГПК, в результате чего в подводящем канале *6* создается локальное разрежение, достаточное для удержания чернил в шприце *4*.

За время вывода шприца из корпуса ПГ и перемещения спутника на следующую позицию происходит естественное удаление пузырьков воздуха из баллона корпуса ПГ.

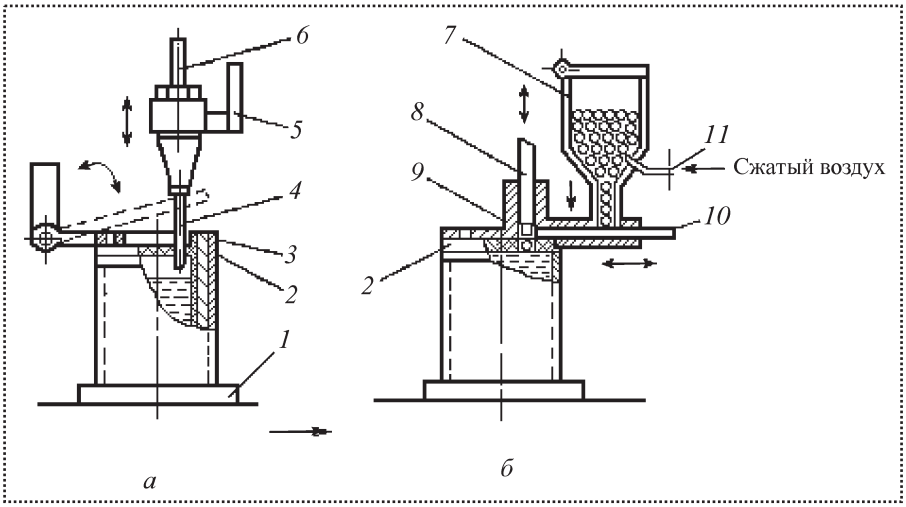


Рис. 7. Дозированная заливка чернил (*а*) и запрессовки пластмассового шарика в корпус ПГ (*б*)

Герметизация корпуса ПГ осуществляется путем запрессовки пластмассового шарика *9* в заливочное отверстие крышки печатающей головки с помощью штока *8* (рис. 7, *б*). В канал запрессовки шарик досылается шибером-отсекателем *10* из вертикального накопителя бункера *7*. Сжатый воздух, подводимый в бункер через сопло *11*, обеспечивает активное ворошение шариков в емкости с целью исключения их зависания и заклинивания в узкой части бункера.

Усилие запрессовки шарика диаметром 2,55 мм составляет 85±2,5 Н. Бункер устройства вмещает до 5000 шариков, а вертикальный накопитель – 4–6 шт. Давление сжатого воздуха, подаваемого в бункер, равно 10^4 Па.

Гидропневматическая система линии заливки включает бак для чернил емкостью 8 л, блоки подготовки сжатого воздуха высокого и низкого давления и набор гидро- и электропневмоклапанов. Бак, рассчитанный на питание одновременно двух установок заливки чернил, обеспечивает непрерывную работу линии в течение 4 ч. При заливке бака, когда уровень чернил достигает максимального, загорается зеленая лампа, а при выработке чернил, когда уровень опустится до минимального, загорается красная лампа. Перед заливочной головкой расположен фильтр, состоящий из отстойника и фильтрующего элемента. Штатный блок подготовки сжатого воздуха высокого давления служит для очистки воздуха от влаги, масла и регулирования давления в пределах $(4{,}5...5{,}0)\cdot10^5$ Па. Блок подготовки сжатого воздуха низкого давления предназначен для поддержания давления в баке для чернил в пределах $(0{,}2...0{,}7)\cdot10^5$ Па. Конструкции основных узлов линий сборки ПГ приведены в работах [1, 2].

Вывод

Представленные технологические схемы сборки одного из вариантов печатающей головки струйного принтера содержат ряд интересных инженерно-технических решений, включая бесконтактный струйный захват загрузочного робота, вибропневматические и вибромагнитные устройства ориентации накопления и поштучной подачи деталей на сборку, а также операции клеевого и ультразвукового соединений.

Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Автоматизированные сборочные системы: учебник. Н. Новгород: НГТУ, 2007. 347 с.

2. **Иванов А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие. М.: Форум, 2011. 224 с.

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

УДК 621.757

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

Фазовый портрет способа автоматизированной сборки, реализующего синхронное позиционирование

Разработана математическая модель процесса адаптации положения деталей для способа автоматизированной сборки, реализующего синхронное позиционирование. Представлены результаты имитационного моделирования процесса совмещения деталей для способа синхронного позиционирования на фазовой плоскости.

The mathematical model of process of adaptation of detail's position for automated assembly technique of synchronous stationing is developed. The results of simulation process of overlapping of details on phase plane for synchronous stationing technique are presented.

Ключевые слова: имитационное моделирование, способ автоматизированной сборки, устройство синхронного позиционирования, фазовый портрет.

Keywords: imitation modeling, automated assembly technique, device of synchronous stationing, phase portrait, simulation.

Введение

При создании средств автоматизации сборочных операций необходимо иметь информацию о предшествующих разработках и результатах сравнительного анализа существующих методов и средств автоматизированной сборки. Как правило, эта информация носит обзорный и описательный характер, не выходит за рамки потребностей отрасли или предприятия и не дает объективного представления о достигнутом уровне характеристик средств автоматизации.

Проведение сравнительного анализа средств автоматизированной сборки затруднено неопределенностью количественных критериев сравнения и чаще всего заменяется качественной оценкой устройств по конструктивным характеристикам. В основе этой оценки лежит конструктивная схема устройства или ее описание. При этом результаты оценки, как правило, не являются объективными.

Сравнение методов или способов автоматизированной сборки является еще более сложной задачей, так как требует достаточно точной и объективной формулировки сути способа и формализации его содержания, а также критериев для сравнения. Однако сборочное устройство и реализуемый им способ сборки представляется возможным отобразить в обобщенной форме в виде фазового портрета совмещения сборочных компонент на фазовой плоскости [1, 2].

Переход к перемещениям и их производным процесса автоматизированного совмещения деталей позволяет отвлечься от конструктивных параметров сборочного устройства, оценив исключительно способ сборки. В данной статье рассмотрен пример компьютерного моделирования на фазовой плоскости способа автоматизированной сборки, реализующего синхронное позиционирование [3].

1. Способ синхронного позиционирования и реализующее его устройство

Обоснование способа, разработка конструктивных схем устройства синхронного позиционирования изложены в работах [1, 3]. Способ синхронного позиционирования характеризуется разделением этапов адаптации между деталями и отсутствием фиксации базовой детали.

Достижение согласованного положения сборочных компонент обеспечивается за счет предварительной и окончательной адаптации присоединяемой детали. Последовательность действий, соответствующая способу синхронного позиционирования, следующая:

• транспортирование базовой детали в зону сборки;

• одновременная (синхронная) предварительная адаптация соединяемых деталей относительно

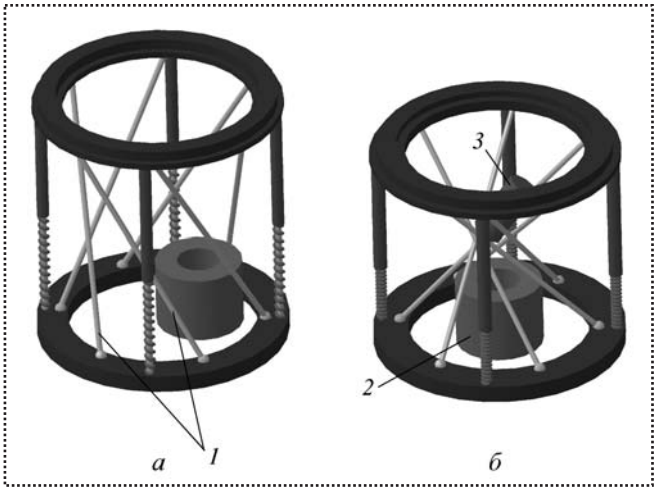


Рис. 1. Устройство синхронного позиционирования:
а – 1-й этап адаптации; *б* – *i*-й этап адаптации; *1* – перемещающие элементы; *2* – втулка; *3* – вал

устройства адаптации, ось которого является осью совмещения;

• угловая адаптация присоединяемой детали при обратном ходе рабочего органа;

• совмещение сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Данный способ может быть реализован сборочным устройством синхронного позиционирования, трехмерная модель которого представлена на рис. 1.

Рассмотрим движение нижней детали (втулки) в устройстве. Разделим этот этап на участки, соответствующие движению детали между моментами контактного взаимодействия с перемещающими элементами:

1-й участок – движение детали в результате контакта с одним перемещающим элементом;

2-й участок – движение детали в результате контакта с двумя перемещающими элементами;

i-й участок – движение детали в результате контакта с *i* перемещающими элементами.

2. Движение детали в устройстве при контакте с одним перемещающим элементом

Движение детали на 1-м участке иллюстрируется схемами сил на рис. 2.

К верхнему основанию устройства приложен крутящий момент $M_{кр}$, который может быть представлен как сумма моментов окружных (тангенциальных) сил $P_{окр}$, действующих на верхние шарниры перемещающих элементов:

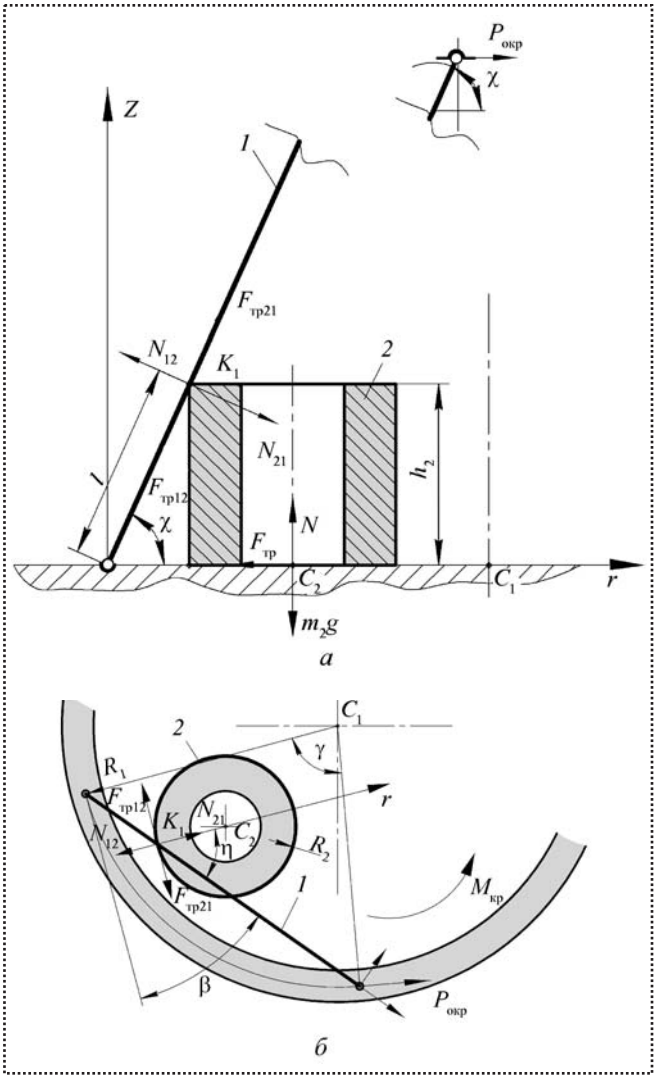


Рис. 2. Силы, действующие на деталь на 1-м участке этапа предварительной адаптации:
1 – перемещающий элемент; *2* – деталь

$$M_{кр} = R_1 \sum_{i=1}^{n} P_{окр\,i} = R_1\, n\, P_{окр};$$
$$P_{окр} = \frac{M_{кр}}{n R_1}, \qquad (1)$$

где R_1 – радиус верхнего основания устройства;

n – число перемещающих элементов.

При контакте детали с одним перемещающим элементом возникают нормальные силы реакции N_{12} и N_{21} и силы трения в зоне контакта $F_{тр\,12}$ и $F_{тр\,21}$. Кроме того, на деталь действуют сила тяжести $m_2 g$, сила нормальной реакции со стороны основания N

и сила трения $F_{тр}$. Текущее положение перемещающего элемента определяется радиальным углом наклона χ (рис. 2, *а*) и тангенциальным углом β (рис. 2, *б*). Введем также угол η между проекцией перемещающего элемента на плоскость *XOY* и диаметром детали, проходящим через точку контакта. Размеры детали – h_2 (высота) и R_2 (радиус).

Из анализа статического равновесия сил (при установившемся движении) получены выражения для нормальных сил реакции, действующих на деталь со стороны перемещающего элемента:

$$N_{21} = \frac{2 P_{окр} R_1 \sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta}{h_2 \sin\chi\cos\chi(1+a)}; \qquad (2)$$

$$N = m_2 g + \frac{2 P_{окр} R_1 \sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta}{h_2 \sin\chi}, \qquad (3)$$

где $\beta = \arcsin\sqrt{\frac{\varepsilon(2-\varepsilon)}{4\rho^2 - \varepsilon(2-\varepsilon)}}$;

$\gamma = \arcsin\sqrt{\frac{\varepsilon(2-\varepsilon)[4\rho^2 - \varepsilon(2-\varepsilon)]}{2\rho^2}}$; $\chi = \arcsin(1-\varepsilon)$;

$\varepsilon = \frac{S}{a}$; $\rho = \frac{R_1}{a}$.

Здесь: R_1 – радиус верхнего основания;

a – длина перемещающего элемента;

m_2 – масса детали;

g – ускорение свободного падения;

S – вертикальное перемещение верхнего основания.

Движение детали в направлении оси r (рис. 2) описывается в линейном приближении уравнением:

$$m_2\ddot{r} + \mu\dot{r} = N_{12}\sin\chi - fN, \qquad (4)$$

где μ – коэффициент вязкого трения между деталью и основанием;

f – коэффициент сухого трения между деталью и основанием.

Подставив в уравнение (4) зависимости (2) и (3), получим:

$$m_2\ddot{r} + \mu\dot{r} = \frac{2 P_{окр} R_1 \sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta\sin\chi}{h_2 \sin\chi\cos\chi(1+\alpha)} - \frac{2 f P_{окр} R_1 \sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta}{h_2 \sin\chi} - f m_2 g,$$

или

$$m_2\ddot{r} + \mu\dot{r} = \frac{2 P_{окр} R_1 \sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta}{h_2 \sin\chi}\left[\frac{\sin\chi}{\cos\chi(1+a)} - f\right] - f m_2 g. \qquad (5)$$

3. Движение детали в устройстве при контакте с двумя перемещающими элементами

На втором участке этапа относительной адаптации возможно контактирование детали с двумя перемещающими элементами устройства. Схема взаимодействия детали и адаптирующего устройства приведена на рис. 3. Точки контакта детали *2* и перемещающих элементов *1* обозначены как K_1 и K_2. Движущей силой будет равнодействующая N_Σ сил реакции перемещающих элементов N_{21} и N'_{21}. Угол между этими векторами γ_1 может быть определен из построений, приведенных на рис. 3.

Точки приложения усилий K_1 и K_2 являются точками пересечения перемещающих элементов *1* с верхней плоскостью детали *2*. Они являются точками одного уровня для всех перемещающих элементов и, следовательно, лежат на окружности радиуса R_{1k}, проведенной из центра C_1 через точки K_1 и $K_2 \ldots K_i$.

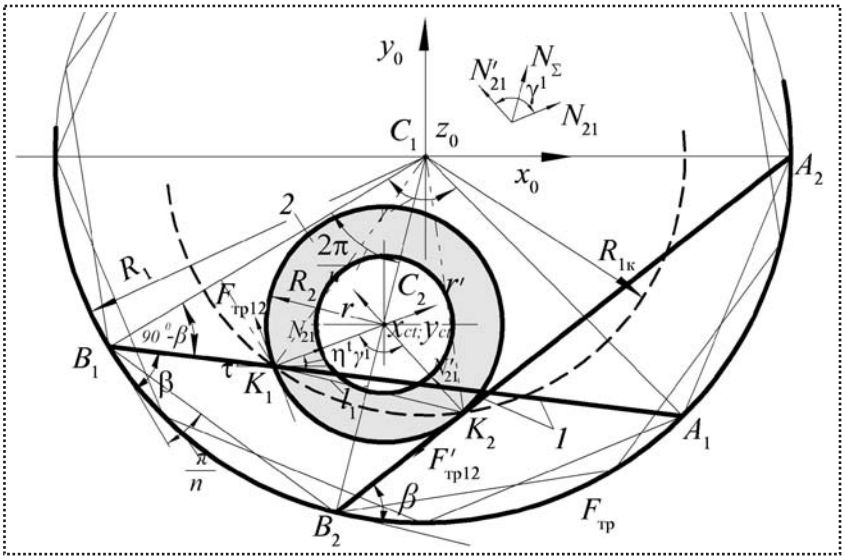


Рис. 3. Силы, действующие на деталь на 2-м участке этапа предварительной адаптации:
1 – перемещающий элемент; *2* – деталь

Расстояния между соседними точками контакта K_1 и K_2

$$l_1 = 2R_{1k}\sin\frac{\pi}{n}.$$

Величина R_{1k} найдется из соотношения

$$R_{1k} = \sqrt{R_1^2 + \frac{h_2^2}{\mathrm{tg}^2\chi} - \frac{2R_1 h_2}{\mathrm{tg}\,\chi}\sin\beta},$$

где $\chi = \arcsin(1-\varepsilon)$; h_2 – высота детали; $\beta = \arcsin\sqrt{\frac{\varepsilon(2-\varepsilon)}{4\rho^2 - \varepsilon(2-\varepsilon)}}$.

Угол между векторами N_{21} и N'_{21}

$$\gamma_1 = 2\arcsin\left(\frac{R_{1k}}{R_2}\sin\frac{\pi}{n}\right) =$$

$$= 2\arcsin\left[\frac{\sqrt{R_1^2 + \frac{h_2^2}{\mathrm{tg}^2\chi} - \frac{2R_1 h_2}{\mathrm{tg}\,\chi}\sin\beta}}{R_2}\sin\frac{\pi}{n}\right],$$

где R_2 – внешний радиус детали.

Значение суммарной силы N_Σ найдется из соотношения:

$$N_\Sigma = 2N_{21}\cos\frac{\gamma_1}{2},$$

при этом предполагается равенство реакций N_{21} и N'_{21}. Значение реакции $N'_{21} = -N_{21}$ может быть найдено из зависимости (2).

Минимальный радиус детали, для которого будет возможен контакт с двумя перемещающими элементами, будет определятся стороной ($K_1O = K_2O$) равнобедренного треугольника, для которого K_2O перпендикулярно B_2K_2. В точке K_2 будет касание детали со вторым перемещающим элементом.

Уравнение движения детали на втором участке этапа предварительной адаптации будет иметь вид:

$$m_2\ddot{r}_1 + \mu\dot{r}_1 = \frac{4\cos\frac{\gamma_1}{2}P_{\text{окр}}R_1\sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta\sin\chi}{h_2\sin\chi\cos\chi(1+a)} -$$

$$-\frac{2fP_{\text{окр}}R_1\sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta}{h_2\sin\chi} - fm_2g,$$

или

$$m_2\ddot{r}_1 + \mu\dot{r}_1 =$$

$$= \frac{2P_{\text{окр}}R_1\sin\frac{\gamma}{2}\cos\beta}{h_2\sin\chi}\left[\frac{2\cos\frac{\gamma_1}{2}\sin\chi}{\cos\chi(1+a)} - f\right] - fm_2g. \quad (6)$$

Направление радиального смещения детали определяется вектором $\overline{N}_\Sigma$. В процессе движения этот вектор поворачивается вместе с поворотом проекций перемещающих элементов A_1B_1, A_2B_2 к центру устройства (увеличение угла β). Движение детали при взаимодействии с двумя перемещающими элементами является основным для этапа предварительной адаптации.

4. Движение детали в устройстве при контакте с *i* перемещающими элементами

Контакт детали с тремя, четырьмя, $n-1$ перемещающими элементами в процессе адаптации невозможен. Это вытекает из условия принадлежности точек контакта двум окружностям: окружности внешнего радиуса детали и окружности, задаваемой точками перемещающих элементов, находящихся в данный момент времени на уровне h_2 (высота детали) от нижнего основания устройства (радиус $R_{1к}$ на рис. 3).

Последний участок движения детали соответствует окончанию этапа предварительной адаптации (взаимодействие детали со всеми перемещающими элементами).

Суммарная движущая сила, действующая на деталь на этом участке, складывается из реакций N'_{21}. Если считать, что эти реакции одинаковы, то суммарная движущая сила будет равна:

$$N_\Sigma = N_{21}\sum_{i=0}^{n-1}\cos\frac{i2\pi}{n}.$$

При четном числе перемещающих элементов $n = 2k$:

$$N_\Sigma = N_{21}\sum_{i=0}^{2k-1}\cos\frac{i\pi}{k}. \quad (7)$$

Сумма в левой части выражения (7) для любого $k \geq 2$ равна нулю. Поэтому $N_{\Sigma} = 0$ и движение детали прекращается. При наличии контакта с n перемещающими элементами деталь теряет поступательные степени подвижности и фиксируется горловым сечением гиперболоида, образованного перемещающими элементами.

5. Математическая модель способа синхронного позиционирования

Математическая модель способа синхронного позиционирования, построенная на базе уравнений (1)–(7), представлена на рис. 4. Выходными параметрами модели являются фазовые координаты относительной адаптации q, $\frac{dq}{dt}$.

Моделирование фазового портрета относительной адаптации для способа сборки, реализующего синхронное позиционирование, проводили при следующих значениях исходных данных: $m_2 = 0{,}1$ кг; $R_2 = 0{,}02$ м; $h_2 = 0{,}04$ м; $\mu = 0{,}05$ (с·Н)/м; $g = 9{,}8$ м/с^2; $f = 0{,}09$; $R_1 = 0{,}1$ м; $a = 0{,}25$ м; $S = 1t$ (линейный закон движения); $P_{окр} = 1$ Н; $n = 8$. Исходное положение детали на сборочной позиции: $x_{c0} = -0{,}047$ м; $y_{c0} = -0{,}069$ м; $\eta_0 = 27°$.

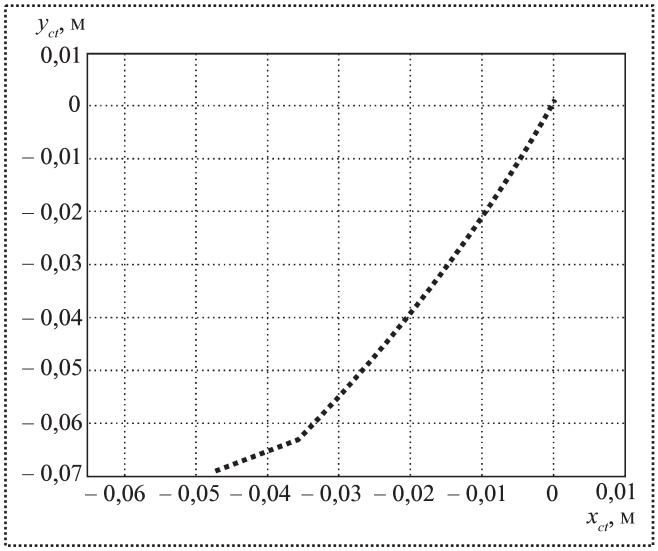


Рис. 5. Траектория движения детали (втулки) в устройстве синхронного позиционирования на этапе относительной адаптации

Результаты математического моделирования процесса адаптации положения соединяемых деталей для рассматриваемого способа автоматизированной сборки представлены на рис. 5 и 6.

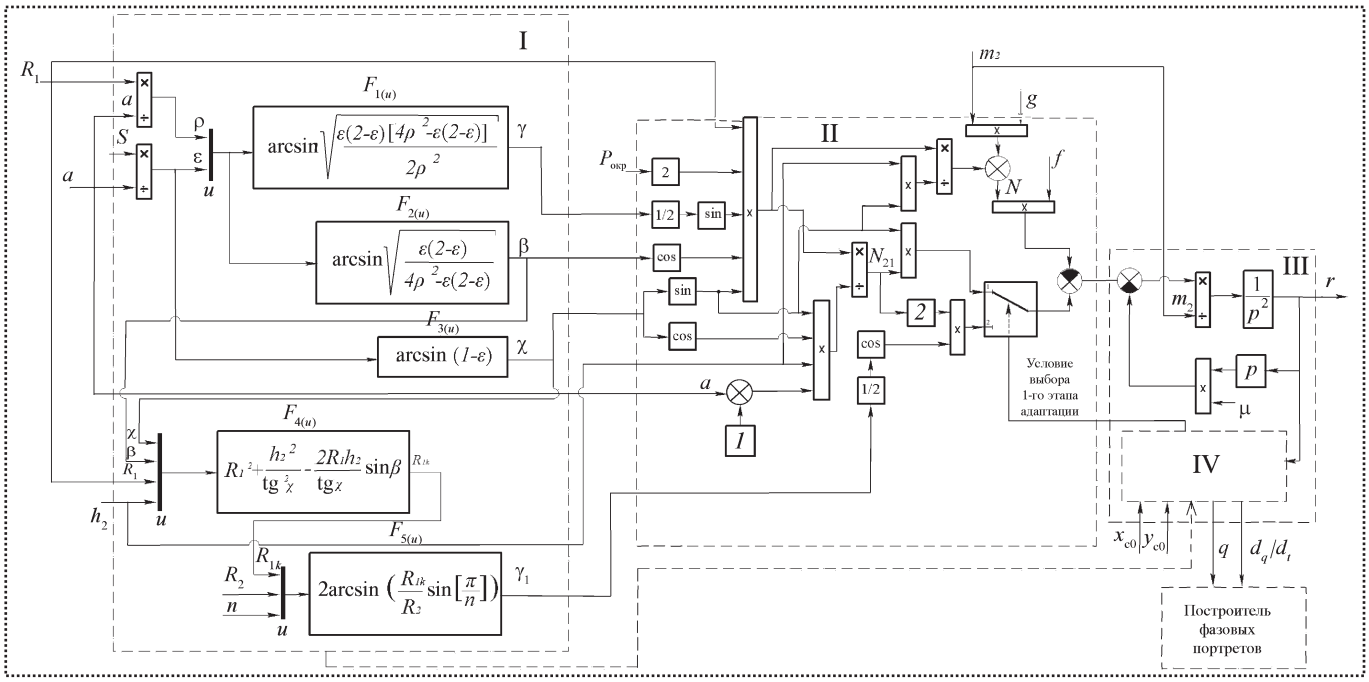


Рис. 4. Математическая модель способа синхронного позиционирования. Римскими цифрами обозначены подсистемы:
I – геометрии устройства синхронного позиционирования; II – силовых воздействий, определяемых этапом адаптации; III – детали "Втулка"; IV – перерасчета координат движения детали x_{ct}, y_{ct} в фазовые координаты q и q^*

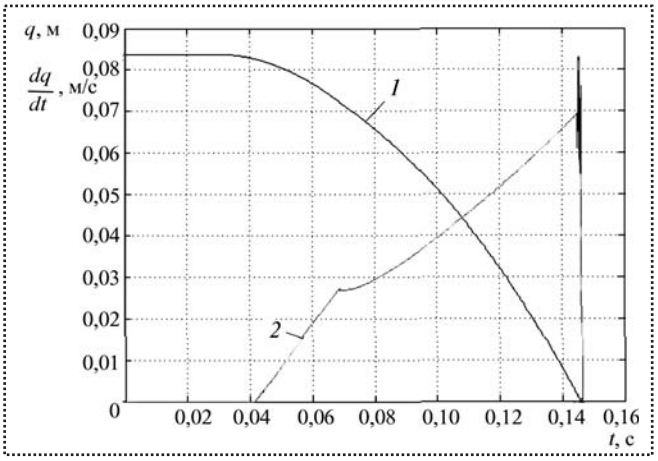


Рис. 6. Результаты моделирования способа синхронного позиционирования:
1 – переходный процесс обобщенной координаты относительного совмещения *q*; *2* – переходный процесс производной обобщенной координаты относительного совмещения *dq / dt*

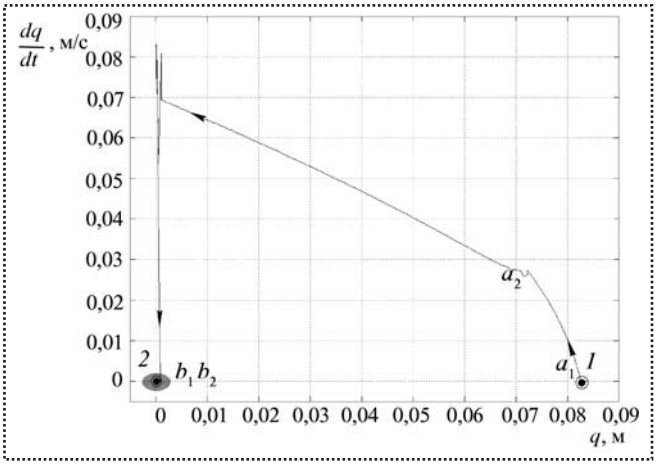


Рис. 7. Фазовый портрет способа синхронного позиционирования

6. Представление способа сборки на фазовой плоскости

На основании результатов моделирования динамики процессов адаптации положения соединяемых деталей устройством построен фазовый портрет способа автоматизированной сборки, реализующий синхронное позиционирование (рис. 7).

Следует отметить, что уравнения динамики процесса адаптации положения охватываемой детали (вала) устройством подробно изложены в работе [1], а в рамках статьи только представлены результаты моделирования на фазовой плоскости.

Фазовый портрет отражает следующее: в начальный момент времени соединяемые детали *1* и *2* располагаются в зоне относительной адаптации (0,3 ... 0,5 *d*), определяемой конструктивными параметрами устройства синхронного позиционирования. Устройство адаптации формирует управляющее воздействие на 1-ю деталь. Процесс адаптации относительного положения для 2-й детали начинается в момент, когда 1-я деталь попадает в зону допустимого рассогласования. Однако на фазовом портрете 2-я деталь не совершает перемещение по фазовой плоскости, располагаясь в зоне допустимого рассогласования, поскольку, в рассматриваемом примере при расчете фазовой координаты относительного совмещения *q* не учитывалось перемещение деталей вдоль вертикальной оси *z* (транспортный этап). Построение фазовых траекторий транспортного этапа, а также траекторий углового совмещения для способа синхронного позиционирования может быть выполнено аналогично рассуждениям, приведенным в работе [1].

Заключение

Получение геометрических образов способов автоматизированной сборки на фазовой плоскости представляет сложную задачу, требующую в каждом конкретном случае индивидуальных путей решения, как и в случае анализа динамики нелинейных систем. Однако затраченные разносторонние усилия, такие как разработка математической модели, описывающей динамику движения деталей в процессе сборки, поиск путей машинной реализации систем уравнений на ЭВМ, компенсируются приведенным к единообразию результатом в виде фазовых портретов способов автоматизированной сборки. Дальнейшая работа в этой области направлена на создание фазовых портретов других способов автоматизированной сборки, что позволит дополнить базу геометрических образов на плоскости или в пространстве фазовых координат для последующего анализа.

Библиографический список

1. **Симаков А.Л., Кузнецова С.В.** Методы и средства автоматизированной сборки: представление в фазовом пространстве. Ковров: КГТА им. В.А. Дегтярева, 2013. 176 с.

2. **Кузнецова С.В., Симаков А.Л.** Фазовые портреты относительного и углового совмещения деталей при автоматизированной сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 2. С. 12–20.

3. **Кабаева О.Н., Симаков А.Л.** Выбор кинематической схемы устройства пассивной адаптации и ее конструктивная реализация // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 2. С. 20–24.

УДК 621.98.044; 621.9.07

А.А. Черепахин, В.М. Виноградов, *канд-ты техн. наук*
(Московский государственный машиностроительный университет)
E-mail: tkm1410@yandex.ru

Особенности холодного калибрования зубчатых колес

Рассмотрено влияние припуска под холодное калибрование на качественные показатели обработанной поверхности. Приведены расчетные зависимости по расчету припусков по хорде окружности вершин зубьев или в пересчете на межцентровое расстояние. Проведен анализ погрешностей обработки. Выявлено, что на стабильность обработки наибольшее влияние оказывает колебание припуска после черновой обработки зубчатого колеса. Даны практические рекомендации по стабилизации припуска после черновой обработки.

Influence of allowance under the cold calibrated to quality-indicators of machined surface was considered. Calculation depending on the calculation of allowances on the chord of circle tops of teeths or distance was shown. The analysis of error handling carried out. Found that the stability of the process the greatest influence has oscillation allowance after roughing gear. Practical recommendations are given to stabilize the allowance after roughing.

Ключевые слова: зубчатое колесо, холодное калибрование, припуск, точность, стабильность, шевингование.

Keywords: gear wheel, cold calibration, allowance, precision, stability, shaving.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт холодного калибрования зубьев цилиндрических колес средних модулей наилучшие результаты по точности калиброванных колес были достигнуты при оптимальном припуске на сторону зуба по хорде делительной окружности в пределах 0,02... 0,08 мм.

Заниженный припуск под холодное калибрование зубьев недопустим, так как сглаживаются только вершины микронеровностей (рис. 1, *б*), но не устраняются следы предшествующей обработки (следы обработки резанием, погрешности профиля, направления зуба, биение зубчатого венца и прочие дефекты).

При увеличенном припуске (натяге) возможны "наплывы" (рис. 1, *г*) и потеря запаса пластичности материала – так называемое "шелушение поверхности" (рис. 1, *д*, *е*), что приводит к появлению микротрещин. Одновременно, при увеличенном припуске увеличивается размер зубьев, снижается точность обработки. На торцах зубьев, вершине и в основании зуба происходит избыточное выдавливание металла. Возможно также появление складок материала в зоне делительной окружности и возможна поломка зубьев накатника.

Поэтому припуск по хорде делительной окружности не должен превышать значений, приведенных в табл. 1.

Значение припуска по хорде окружности вершин зубьев определяем по формуле:

$$h_{sa} = \frac{h_s \cos\alpha\, R_{\text{пр. }\omega}}{R_{\text{пр. }a} \cos\alpha_{2a}},$$

где h_s – припуск по хорде делительной окружности;

$R_{\text{пр. }\omega}$ – приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей в полюсе зацепления:

$$R_{\text{пр. }\omega} = \frac{m Z_1 Z_2 \cos\alpha\ \text{tg}\,\alpha_{2a}\,\text{tg}\,\alpha_{\omega}}{2(Z_1 + Z_2)}$$

(m – модуль зубьев; Z_1 и Z_2 – числа зубьев колес; α_ω – угол профиля в полюсе зацепления);

$R_{\text{пр. }a}$ – приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей в крайней верхней точке активного профиля калибруемого колеса:

$$R_{\text{пр. }a} = \frac{m Z_1 Z_2 \cos\alpha\ \text{tg}\,\alpha_{2a}\,\text{tg}\,\alpha_{1p}}{2(Z_1\,\text{tg}\,\alpha_{1p} + Z_2\,\text{tg}\,\alpha_{2a})};$$

α_{2a} – угол профиля на окружности вершин зубьев калибруемого колеса;

α_{1p} – угол профиля в крайней нижней точке активного профиля зуба накатника.

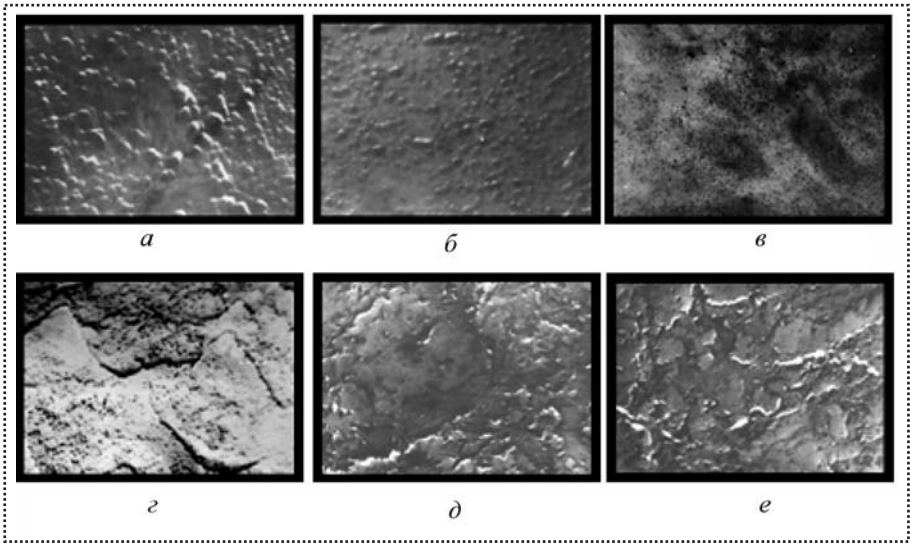


Рис. 1. Микрофотографии поверхности после холодного калибрования:
а – исходная поверхность; при натяге: *б* – 0,01 мм; *в* – 0,07 мм; *г* – 0,08 мм; *д* – 0,09 мм; *е* – 0,1 мм. ×1200

Значение припуска в пересчете на межцентровое расстояние равно:

$$h_r = \frac{h_s}{2\,\mathrm{tg}\,\alpha}.$$

Для обеспечения высокой точности калибрования необходимо обеспечить стабильность припуска под калибрование. Погрешность заготовок под калибрование не должна превышать значений, приведенных в табл. 2.

Учитывая низкую стабильность качества на предварительной операции (фрезерование червячными фрезами классов АА, А и В на зубофрезерных станках нормальной точности) необходимо применять дополнительные меры для стабилизации припуска под калибрование.

Производительность, стабильность, точность и экономическая эффективность зубообработки цилиндрических колес холодным калиброванием в производственных условиях могут быть существенно повышены при использовании специального станка для холодного калибрования зубьев двумя накатниками (разработка Технологической лаборатории Университета машиностроения), снабженного узлом стабилизации припуска под отделочную обработку пластическим деформированием металла (рис. 2).

В этом станке перед позицией холодного калибрования зубьев предусмотрена позиция однопроходного шевингования без радиальной подачи по укороченному циклу при постоянном межосевом расстоянии шевера и обрабатываемого зубчатого колеса. Это расстояние выбирают таким образом, чтобы все зубчатые колеса с завышенным припуском после такого шевингования имели одинаковый припуск, равный по значению оптимальному. Шевер, выполненный с заходным

Таблица 1

Наибольший припуск по хорде делительной окружности

Модуль, мм	Размер припуска на толщину зуба при диаметре делительной окружности калибруемого колеса, мм		
	До 100	100...150	Свыше 150
3	0,050	0,060	0,070
4	0,055	0,065	0,075
5	0,060	0,070	0,080

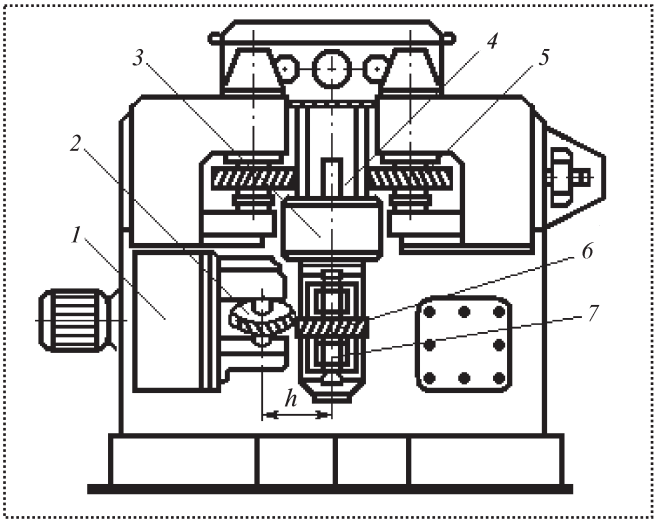


Рис. 2. Компоновка шевинговально-прикатного станка:
1 – узел стабилизации припуска; *2* – шевер; *3* – камера удаления стружки; *4* – вертикальные направляющие; *5* – накатник; *6* – обрабатываемая шестерня; *7* – каретка; *h* – межосевое расстояние

Таблица 2

Погрешность заготовок под калибрование

Контролируемый параметр по ГОСТ 1643–81	Погрешность, мкм, при диаметре делительной окружности калибруемого колеса, мм		
	До 125	125...150	Свыше 150
$F_{i\,r}''$	54	60	67
$F_{r\,r}$	40	45	50
F_{vwr}	25	28	30
$F_{p\,r}$	36	39	45
$f_{i\,r}''$	20	22	25
$f_{f\,r}$	15	18	20
$f_{p\,t\,r}$	12	15	17
$F_{\beta\,t\,r}$	Не более 15 мкм на 40 мм ширины венца		

конусом, при такой установке на станке срезает излишний припуск и тем самым стабилизирует как размер припуска под калибрование зубьев, так и сам процесс холодного калибрования.

Узел стабилизации припуска *1* выполнен в виде шевинговальной головки с шевером *2* для однопроходного шевингования при постоянном межосевом расстоянии *h*. Для удаления стружки, возникающей при шевинговании, служит камера *3*, выполненная в виде закрытого с четырех сторон кожуха с возможностью подачи в него под давлением моющей жидкости. Указанная камера расположена на станке перед позицией холодного калибрования зубьев обрабатываемой шестерни *6* и предназначена для гарантированного исключения наиболее часто встречающегося в практике порока – закатов стружки в поверхность зубьев колеса. Для перемещения обрабатываемого изделия из рабочей зоны стабилизации припуска через камеру удаления стружки в рабочую зону холодного калибрования служит каретка *7*, перемещаемая по вертикальным направляющим *4*.

Циклограмма перемещений обрабатываемого изделия на станке показана на рис. 3.

Цикл перемещения каретки состоит из подачи при стабилизации припуска, ускоренного перемещения в зону холодного калибрования и быстрого возврата в исходное положение. Продолжительность цикла обработки зубчатого колеса коробки перемены передач автомобиля на новом станке составляет 0,85 мин, что в 3–4 раза меньше, чем при шевинговании.

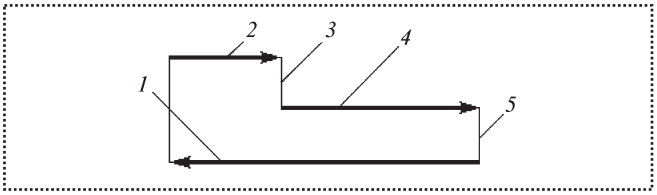


Рис. 3. Циклограмма перемещения обрабатываемого изделия: *1* – быстрый возврат каретки в исходное положение; *2* – рабочая подача при шевинговании; *3* – отключение привода вращения шевера и включение быстрого подвода каретки на позицию холодной прикатки (за 3...5 мм до выхода обрабатываемой шестерни из зацепления с шевером); *4* – быстрый подвод на позицию холодной прикатки; *5* – выстой в течение времени, необходимого для выгрузки обрабатываемой шестерни

Последовательное выполнение операций однопроходного шевингования без радиальной подачи и холодного калибрования зубьев цилиндрических колес на одном станке позволяет получить следующие преимущества:

- наиболее полно реализовать принцип концентрации операций на одном станке;
- высвободить производственную площадь;
- снизить трудоемкость обработки на 20 % за счет совмещения вспомогательного времени с машинным;
- полностью исключить контроль зубчатых колес перед холодным калиброванием зубьев и гарантировать оптимальный размер припуска под калибрование;
- стабилизировать процесс холодного калибрования при использовании на предварительных операциях зубонарезания зубофрезерных станков обычной точности класса Н;
- повысить производительность отделочной обработки зубьев в 4–5 раз по сравнению с традиционным шевингованием зубьев.

С целью исследования исправляющей способности процесса холодного калибрования с предварительной стабилизацией припуска была обработана партия зубчатых колес ($m_{\text{н}}$ = 3,5 мм, Z = 38, β = 20°40′ и b_w = 28 мм). Зубонарезание осуществляли на зубофрезерном станке Pfauter P630. Предварительное шевингование выполняли на станке

Таблица 3

Режимы обработки экспериментальной партии шестерен

Этапы обработки	Скорость резания $v_р$, м/мин	Скорость движения подачи S	Сила калибрования, кН
Зубофрезерование	50	3 мм/об	–
Однопроходное шевингование	115	0,56 мм/об	–
Холодное калибрование	38	60 м/мин	50

мод. 5702 шевером для однопроходного шевингования с углом заборного конуса $\gamma = 5°$; холодное калибрование зубьев проводили на модернизированном профиленакатном станке мод. UWP 25×100. Режимы обработки экспериментальной партии приведены в табл. 3.

На точечной диаграмме (рис. 4) показаны колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса при зацеплении с эталонным колесом по этапам обработки:

1-й этап – зубофрезерование червячной фрезой;

2-й этап – однопроходное зубошевингование;

3-й – холодное калибрование зубьев непосредственно после зубофрезерования;

4-й этап – холодное калибрование зубьев колеса с предварительной стабилизацией припуска.

Как видно из диаграммы, 100 % зубчатых колес, обработанных холодным калиброванием после предварительного однопроходного шевингования с постоянным межосевым расстоянием соответствуют техническим условиям (6-я степень точности), в то время как холодное калибрование непосредственно после зубофрезерования не обеспечивает 100 %-ной точности.

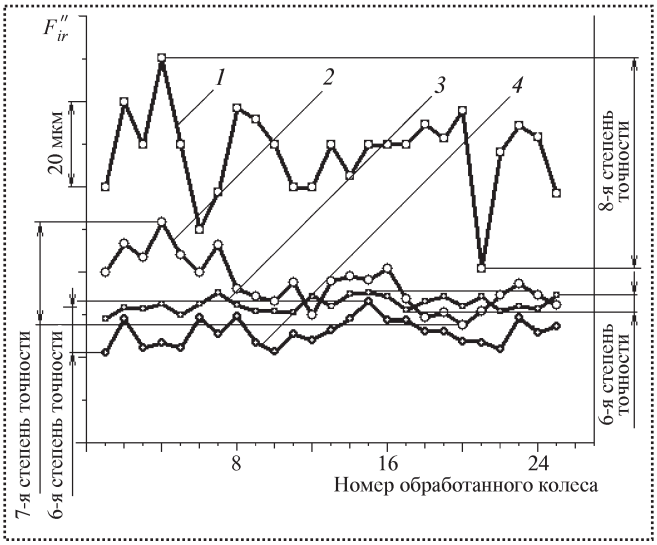


Рис. 4. Точечная диаграмма:
1 – зубофрезерование; *2* – однопроходное шевингование; *3* – холодное калибрование со стабилизацией припуска; *4* – холодное калибрование непосредственно после зубофрезерования

Таким образом, предварительная стабилизация припуска под холодное калибрование зубьев при отделочной обработке трансмиссионных зубчатых колес автомобилей позволяет гарантированно обеспечить заданную высокую точность обработки зубчатых венцов при использовании на предварительном зубофрезеровании станков нормальной точности (класса Н) и червячных фрез классов АА, А и В.

Вывод

Традиционная схема холодного калибрования зубчатых колес требует стабилизации предварительной механической обработки. Предварительное нарезание зубчатого венца червячными фрезами классов АА, А и В не позволяет обеспечить стабильность припуска под калибрование. Одним из методов стабилизации припуска является применение специального станка для холодного калибрования зубьев, снабженного узлом стабилизации припуска.

УДК 621.317

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

Авиационная гравиметрическая система

Решена задача анализа возможности сборки известных наиболее применяемых навигационных систем в общую авиационную гравиметрическую систему.

The task of analyzing the possibility of assembling the most well-known and used navigation systems in general aviation gravimetric system is considered.

Ключевые слова: авиационная гравиметрическая система, навигационная система.

Keywords: aviation gravimetric system, navigation system.

Введение

Применение. Сегодня авиационные гравиметрические измерения широко используют в аэрокосмической отрасли для коррекции показаний инерциальных навигационных систем (ИНС), в геологии и геофизике для разведки полезных ископаемых и коррекции формы Земли, для прогноза землетрясений, цунами и в других направлениях [1].

Для изучения параметров гравитационного поля Земли (гравитационного ускорения g или его аномалий Δg) может быть использована авиационная гравиметрическая система (АГС), чувствительным элементом которой является гравиметр [2]. Исследовано и применяется большое число гравиметров [3]. Известны также отдельные навигационные компоненты, которые используют в АГС [4].

Но отсутствует анализ возможности сборки известных и наиболее применяемых отдельных навигационных систем в общую АГС, обеспечивающую измерение g или Δg с заданной точностью 1...3 мГал [1].

Актуальность рассматриваемой проблемы состоит в следующем: заданную точность измерения g или Δg в 1...3 мГал можно обеспечить только в том случае, если отдельные сборочные приборные компоненты, в данном случае – навигационные системы, определяют основные навигационные показатели (скорость, курс, ускорение и др.) с требуемой точностью.

В известной литературе [1–5] такие решения заданной проблемы отсутствуют. Имеющиеся АГС не обеспечивают измерения g или Δg с указанной точностью. Поэтому задача возможности сборки известных навигационных компонентов в общую АГС заданной точности является актуальной.

Постановка задачи. В работе [1] приведен анализ методических погрешностей АГС, исходя из заданной точности ее измерений 1...3 мГал. Установлено, что погрешности определения основных навигационных параметров сборочными приборными компонентами АГС должны соответствовать приведенным в табл. 1.

Задача данной работы: решить проблему анализа и выбора конкретных сборочных навигационных компонентов, определяющих перечисленные навигационные параметры с заданной точностью, исходя из того, что общая точность измерения АГС g или Δg составляет 1...3 мГал.

Таблица 1

Допустимые погрешности измерения основных навигационных параметров

№	Погрешности измерения	Значение погрешности
1	Скорость v, м/с	0,05...0,15
2	Курс k, угл. мин	1,56...4,66
3	Географическая широта φ, угл. мин	0,5...1,5
4	Высота h, м	3,3...10,0
5	Вертикальная скорость $\Delta\dot{h}$, м/с	$(0,5...1,0)\cdot10^{2}$
6	Вертикальное ускорение $\Delta\ddot{h}$, м/с^2	$(1,0...3,0)\cdot10^{-5}$

Средства определения навигационных параметров на самолетах

Проанализируем известные системы определения навигационных параметров и разработаем рекомендации по целесообразности применения той или иной системы в АГС в зависимости от рельефа местности, над которой пролетает самолет. Координаты местонахождения самолета (широту φ, долготу λ и курс k) можно определить различными способами.

Методы навигации классифицируют по определенным признакам. Существенными из них являются: способ определения координат местоположения и природа измеряемых физических величин. В соответствии с первым признаком, методы навигации разделяют на следующие группы:

- вычисления пути;
- позиционные методы;
- обзорно-сравнительные.

Методы первой группы основаны на измерении составляющих ускорения или скорости движения объекта и интегрировании во времени этих составляющих для определения координат местонахождения.

Позиционные методы навигации основаны на измерении физических величин, если можно получить линию или поверхность нахождения объекта. Для определения двух или трех координат местонахождения объекта требуется иметь, соответственно, две или три взаимно пересекающиеся поверхности положения.

Обзорно-сравнительные методы навигации основаны на обзоре окружающей местности и сравнении ее изображения с картой или системой ориентиров, заложенных в память ЭВМ.

Выбор того или иного метода или совокупности методов навигации для использования на конкретном типе самолета определяется следующими условиями:

- диапазоном измерения навигационных параметров (дальности, скорости, ускорения);
- необходимой точностью измерения навигационных параметров;
- уровнем автономности, помехозащищенности и надежности навигационных измерений;
- степенью физической реализуемости метода навигации (т.е. возможностью создания навигационных устройств, которые удовлетворяют эксплуатационным требованиям).

Сравнительный анализ различных методов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ методов навигации

Наименование системы	Краткое описание	Достоинства системы	Недостатки системы
Методы вычисления пути			
Аэрометрические навигационные автоматы	Для вычисления пути в полете измеряются первичные навигационные параметры. Обработка информации от аэрометрических датчиков и датчиков курса осуществляется, в основном, аналоговыми вычислительными устройствами	Автономность измерений; непрерывность получения исходной навигационной информации	Датчики воздушной скорости не измеряют скорость ветра. Это является основным источником погрешностей
Допплеровские автоматы	Основаны на автоматическом вычислении пути относительно земной поверхности. В качестве датчика скорости используют радиолокационные допплеровские измерители путевой скорости и угла сноса. Принцип действия основан на эффекте Допплера: радиосигнал определенной частоты, посланный с борта самолета в сторону Земли, отражается от ее поверхности и принимается на борту с измененной частотой. Это изменение частоты зависит от скорости самолета	Независимость точности измерений от метеорологических условий, от формы поверхности Земли; возможность проводить измерения над водной поверхностью; неограниченный диапазон измерений скорости; высокая точность измерений путевой скорости; достаточная помехозащищенность	Датчик курса – основной источник погрешностей; явление "мертвой высоты" есть на кратных высотах, когда отраженный сигнал проходит в момент, близкий к моменту излучения следующего импульса передатчика. При этом отраженный импульс может быть совершенно подавлен

Окончание табл. 2

Наименование системы	Краткое описание	Достоинства системы	Недостатки системы
Системы инерциальной навигации	Скорость и координаты расположения определяются в результате однократного и двукратного интегрирования выходных сигналов акселерометров	Автономность, помехозащищенность, неограниченный диапазон измерений навигационных параметров	Необходимо создание акселерометров высокой точности. Инструментальные погрешности: нулевой сигнал; наклон платформы; уход гироскопов
Позиционные методы навигации			
Астрономические ориентиры	Предназначены для определения координат расположения на основании астрономических измерений	Высокая точность навигационных измерений, которые не зависят от продолжительности, высоты и скорости полета; измерения могут производиться во всех географических районах Земли	Ограниченно автономны, поскольку ограничена видимость небесных светил. Необходима информация о координатах расположения светил
Радиотехнические угломерные системы	Основаны на использовании радиопеленгаторов и радиомаяков. Радиоволны распространяются по кратчайшему пути между источником и приемником. По результатам измерений параметров радиосигналов определяют координаты	Высокая степень точности, непрерывность значений	Затруднено применение в горной местности
Разностно-дальномерные системы	Определяют поверхность положения, измеряя разность расстояний от самолета до двух наземных станций (главной и вспомогательной)	Не накапливают погрешности с течением времени, применяются при взлете и посадке, при управлении самолетом на маршруте	Использование карт; дискретность незащищенность от помех; неавтономность
Обзорно-сравнительные методы			
Навигационный глобус, панорамные радиолокаторы	Основаны на определении месторасположения путем сравнения изображения местности на карте или в системах памяти с фактическим видом поверхности Земли. Если изображение местности и ее фактический вид совпадают, месторасположение самолета считается опознанным	Высокая достоверность и точность результатов измерений, особое значение такие системы получают при подходах к цели (аэродром) или при посадке	Применение этих систем возможно только при видимости поверхности Земли и наличии характерных точек-ориентиров. Системы не применимы при полете над морями, пустынями и при плохих метеорологических условиях

Таблица 3

Сравнительный анализ навигационных приборов и систем

Прибор, система	Принцип действия	Диапазон скорости, км/ч	Точность	Погрешность
Навигационный индикатор НИ-50БМ	Индикатор состоит из датчика воздушной скорости, автомата курса, счетчика координат, распределительной коробки, приемника температуры	200...1100	3...5 % пройденного пути от точки начала счисления	Инструментальная погрешность составляет 5...7 % от номинала
Допплеровский измеритель ДИСС-013	Принцип действия основан на эффекте Допплера	180...1300	–	Не более 0,35 %

Окончание табл. 3

Прибор, система	Принцип действия	Диапазон скорости, км/ч	Точность	Погрешность
Центральная гировертикаль ЦГВ	Принцип действия основан на использовании трехстепенного астатического гироскопа и датчиков угловых сигналов	–	–	±2°
Астроориентатор	Определение путем пеленгации двух светил текущего местоположения самолета в географической и ортодромической системах координат и его истинного или ортодромического курса следования	200...1100	–	1,75 %
Радиотехническая система ближней навигации РСБН-2С	Дальность определяется путем измерения на самолете времени распространения запросного сигнала от наземного маяка до самолета и от самолета до наземного маяка	–	±200 м по дальности; ±0,25° – по азимуту	–
Радиодальномерная система РДС-2	Состоит из одной ведущей (установленной на самолете) и трех ведомых станций. Координаты местоположения определяются по разности расстояний до станции	До 1500	–	–

Характеристики некоторых наиболее известных и широко применяемых навигационных систем из числа разработанных и построенных в соответствии с изложенными в табл.2 методами, приведены в табл. 3.

Средства определения навигационных параметров при авиационных гравиметрических измерениях

Проанализировав достоинства, недостатки, технические характеристики приведенных способов определения навигационных параметров (табл. 1 и 2), сопоставив их с требованиями к точности определения параметров движения самолета, можно сделать вывод о том, что наиболее приемлемыми для авиационных гравиметрических измерений являются ИНС, допплеровские навигационные системы, геодезические разностно-дальномерные системы, радиотехнические угломерные системы навигации.

Сравним технические параметры некоторых основных систем, разработанных в СНГ и США, и остановимся кратко на возможностях применения этих систем в АГС в зависимости от рельефа местности, над которой пролетает самолет (табл. 4).

К современным допплеровским системам, разработанным в США, относятся AN ACN-105 и в СНГ ДИСС-013, ДИСС-013-134, НАС-1А, НАС-1Б. Заметим, что погрешность по углу сноса для всех отечественных навигационных систем составляет 15′ по импульсному выходу, и 20′ – по аналоговому. Дальность учета пути для всех без исключения систем не превышает 10 тыс. км при боковом отклонении ±1000 км. Известно, что чаще всего используют радиотехническую угломерную систему навигации РСНБ-2, разработанную в

Таблица 4

Технические параметры доплеровских систем

Тип навигационной системы	Ошибка определения			Диапазон измерения		Диапазон рабочих высот, м	Мощность передатчика, Вт
	путевой скорости, %	местоположения, град.	пути, %	путевой скорости, км/ч	углов сноса, град.		
AN ACN-105	0,7 (0,588 км), протяженность полета 200 км	±0,3	±0,3	180...1300	±30	100...15 000	10
ДИСС-013	0,35 по импульсному выходу; 0,5 – по аналоговому выходу	–	±3	180...1300	±30	100...15 000	8
ДИСС-013-134	0,35 по импульсному выходу; 0,5 – по аналоговому выходу	–	±2,5	–	±30	–	8
НАС-1А	0,5	–	±3	500...1100	±20	500...15 000	5,5
НАС-1Б	0,5	–	±3	300...800	±20	500...15 000	5,5

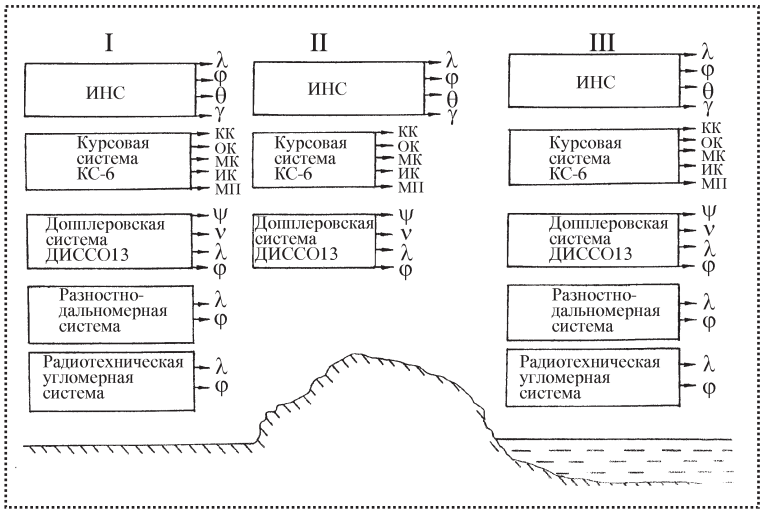
СНГ, которая позволяет определить местоположение самолета с точностью ±200 м по дальности и ±0,25° по азимуту.

Заметим, что приведенные параметры систем навигации (см. табл. 3) соответствуют неблагоприятным условиям их использования. Авиационные гравиметрические измерения осуществляют при исключительно хороших условиях полета. Следовательно, есть основания считать, что точностные параметры навигационных систем гораздо выше.

Разностно-дальномерные или угломерные навигационные системы, которые действуют в средневолновом, коротковолновом и ультракоротковолновом диапазонах, обеспечивают необходимую точность определения текущих координат самолета. Однако, при использовании таких систем нужно привязывать их к исходному пункту до начала съемочных работ. Кроме того, использование таких систем невозможно в горной местности, где нельзя создать устойчивое фазовое поле. А в случае измерений над морем не всегда можно обеспечить необходимое количество известных радиостанций.

Не свободны от недостатков и допплеровские навигационные системы. У моря, когда волнение не превышает один балл, и над горными районами допплеровские системы работают неустойчиво и не могут обеспечить необходимую высокую точность измерений навигационных параметров. Поэтому основным источником навигационной информации является ИНС.

Точность современных ИНС вполне удовлетворительна для их применения в АГС. Достаточна для нужд авиационной гравиметрии и точность современной курсовой системы. Например, погрешность ТКС-6 не превышает 5′ при самых неблагоприятных условиях. Очевидно, что в случае авиационных гравиметрических измерений целесооб-



Применение различных систем определения навигационных параметров в зависимости от рельефа местности:
λ – долгота; ψ – угол сноса; φ – широта; θ – тангаж; γ – крен; КК – компасной курс; ОК – ортодромический курс; МП – магнитный курс, ИК – истинный курс, МП – магнитный пеленг; v – путевая скорость; I – место взлета, II – повышение местности; III – уровень моря

разно использовать различные системы определения навигационных параметров в зависимости от рельефа местности, над которой пролетает самолет (см. рисунок).

Выводы

Вследствие анализа систем навигации с точки зрения возможности их применения в АГС, можно сделать такой вывод: при полете в горах навигационные параметры можно определить с помощью ИНС, а также совместно – доплеровской и курсовой системами с одновременной аэрофотосъемкой достаточного числа опорных точек вдоль маршрута.

Над равнинными местностями можно использовать ИНС, а также удобно применять разностно-дальномерные и угломерные радиотехнические или допплеровские системы вместе с курсовыми системами. Над морем целесообразно комплексное применение перечисленных систем.

Данные рекомендации по применению конкретных типов навигационных систем в зависимости от рельефа местности, над которой пролетает самолет, успешно подтверждено экспериментальными исследованиями АГС с гироскопическим гравиметром [5].

Библиографический список

1. **Безвесільна О.М.** Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: монографія. 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.** П'єзоелектричний гравіметр авіаційної гравіметричної системи. Житомир: ЖДТУ, 2013. 240 с.

4. **Пешехонов В.Г.** Применение гривиинерциальных технологий в геофизике: сб. ст. и докл. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2002. 199 с.

5. **Безвесільна О.М.** Дослідження нової прецизійної інерціальної навігаційної системи при авіаційних гравіметричних вимірюваннях. Житомир: ЖДТУ, 2012. 476 с.

Читайте в следующем номере

☑ **Погодаев Л.И., Кузьмин А.А., Чулкин С.Г.** Повышение надежности зубчатых передач путем электроэрозионной обработки поверхности зубьев

☑ **Житников Б.Ю., Житников Ю.З.** Сборочный автомат для установки упругих уплотнительных колец в наружные канавки цилиндрических деталей

☑ **Иванов А.А.** Аналитические условия автоматической сборки

☑ **Руднева Л.Ю.** Современные методы оценки жесткости высокоточных сложнопрофильных деталей при сборке агрегатов специальных изделий

УДК 331.101.6:629.5.024

А.Я. Розинов, *д-р техн. наук,* **Ю.И. Поляков**
(Центр технологии судостроения и судоремонта),
А.Ю. Бескровный *(Корпорация оборонной технологии)*
E-mail: mail@kompensator.ru

Совершенствование методики прогнозирования производительности процессов изготовления судовых конструкций, основанных на применении средств технологического оснащения с ручным приводом их действия

Приведены физиологические основы производительности ручного труда, перечислены факторы, оказывающие вредное действие на жизнедеятельность, здоровье и работоспособность человека. Рассмотрены энергетические возможности ручного труда с разделением его на легкий, средний и тяжелый труд соответственно энерготратам, представлены кинематические модели расчета энерготрат при использовании сборочных клиньев, сборочных приспособлений с нажимными винтами и сборочных прижимов с гидравлическими домкратами. Дан пример расчетного прогнозирования производительности средств технологического оснащения с ручным приводом их действия.

Physiological bases of productivity of manual skills are given, factors of harmful action on activity, health and efficiency of the person are listed, and also his power opportunities with division into an easy, average and hard work according to power expenditure are considered. Kinematic models of calculation of power expenditure are presented when using assembly wedges. Assembly adaptations with press screws and assembly clips with hydraulic jacks, the example of settlement forecasting of productivity of means of technological equipment with the manual drive of their action is given.

Ключевые слова: производительность процессов изготовления, технический паспорт, прогноз, монтажное условие, пространственное положение, трудный доступ, ручной привод, физиологическая характеристика, жизнедеятельность, работоспособность, мышечные усилия, затраты энергии, классификация физической тяжести работы, односторонний нажимной винт, гидравлический домкрат, отклонение монтажных кромок.

Keywords: productivity of processes of production, technical data sheet, forecast, assembly condition, spatial provision, difficult access, manual drive, physiological characteristic, activity, health, working capacity, muscular efforts, energy expense, classification of physical weight of work, unilateral press screw, hydraulic jack, deviation of assembly edges.

Практикой установлено, что показатели производительности процессов изготовления различных видов конструкций определяются производительностью применяемых при этом средств технологического оснащения.

В современном судостроении и судоремонте основными средствами технологического оснащения являются станки, автоматическое оборудование и роботы, производительность которых определяется законами механики. Это позволяет в технических паспортах указанных средств технологического оснащения наряду с их массогабаритными характеристиками обязательно приводить данные, характеризующие численные значения показателей производительности. Последнее позволяет технически точно обосновывать прогноз ожидаемой производительности новой технологии или совершенствования существующих процессов изготовления судовых конструкций.

Между тем наряду со станочным и автоматизированным оборудованием в практике современного судостроения и судоремонта используют средства так называемой малой механизации и средств технологического оснащения с ручным приводом их действия, что диктуется условиями изготовления судовых конструкций в монтажных условиях, отличающихся различием пространственного положения и трудностью доступа к местам выполнения работ.

До сего времени производительность процессов изготовления судовых конструкций, основанных на применении средств технологического оснащения с ручным приводом их действия, прогнозируют на основе интуитивных и субъективных умозаключений. Этот подход явно не приемлем в условиях сегодняшней экономики, когда конкурентная борьба за получение заказов требует оценки пред-

лагаемых технических разработок в конкретных цифрах рублей, а не соблюдение предварительно оформленной юридической договоренности штрафуется и ведет к потере престижа надежного партнерства.

Исследования технологических особенностей средств технологического оснащения с ручным приводом их действия свидетельствует о том, что показатели производительности этих средств определяются, в первую очередь, физиологическими характеристиками пользователей указанных средств технологического оснащения.

Физиологами труда установлено, что в каждом случае выполнения производственных процессов технологически необходимые средства их осуществления следует выбирать с таким расчетом, чтобы при обеспечении необходимой производительности труда снижалась степень вредного воздействия факторов, влияющих на жизнедеятельность, здоровье и работоспособность человеческого организма.

Исследованиями физиолога труда Г. Лемана определено, что величина мышечных усилий, которые может развивать организм человека, определяется не количеством механической работы, выполненной за определенное время, а затраченной за это время энергией. Физиологические наблюдения свидетельствуют, что однозначной зависимости между величиной механической работы и затраченной при этом энергией человеческого организма не существует. Механический коэффициент тепловыделения, выражающийся для машин и механизмов в виде соотношения 1 кал = 4270 Н·см, не определяется при работе человеческого организма аналогичным соотношением. Из-за сопутствующих движений собственного тела и влияния статических элементов мышц, коэффициент полезного действия мышечной работы колеблется в пределах 1,2...34,0 %. Поэтому ручной труд производственных процессов оценивают количеством затраченной энергии и степенью напряжения мышечного аппарата работающего.

Проведенными исследованиями установлено, что фактически наивысшая величина энергопотребления при выполнении производственных процессов с использованием средств технологического оснащения, имеющих ручной привод их действия, составляет порядка 6000 ккал. Однако столь высокие энерготраты ведут к интенсивному истощению человеческого организма и одновременной потере массы человеческого тела, которое составляет в течение одних суток 0,3...0,7 кг.

Верхним пределом суточных энерготрат человека, исключающих опасности перенапряжения при выполнении ежедневной производственной работы, являются 4500 ккал в день. При этом на долю работы средствами технологического оснащения с ручным приводом их действия должно приходиться 2500 ккал за смену, 275 – за час, 4,6 – за минуту.

При нормальной работе, обеспечивающей прогрессивную производительность труда, мужчина не должен расходовать более 3,7 ккал в минуту, а женщина – 3 ккал в минуту. При этом в условиях ручного труда, обеспечивающего выполнение процессов изготовления судовых конструкций, ежеминутный расход энергии, согласно действующим санитарным нормам, должен составлять не более 2,5 ккал в минуту.

Приведенные данные позволяют выполнить прогнозирование производительности процесса сборки, выполняемого с применением средств технологического оснащения с ручным приводом их действия.

Методика проведения расчетного прогнозирования может быть рассмотрена на основе оценки показателей производительности корпусосборочных работ, выполняемых с использованием сборочных клиньев, забиваемых вручную кувалдой, приспособлений с завинчиваемыми вручную нажимными винтами и прижимов с ручными гидравлическими насосами.

Для осуществления монтажной сборки обычно применяют односторонние клинья, при забивании которых выполняют работу $A_к$, затрачиваемую на создание распорного усилия $P_к$ с целью ликвидации разностенности Δ соединяемых элементов корпусных конструкций. Величину этой работы определяют из выражения

$$A_к = [1 + \operatorname{ctg}\alpha_к (f_1 + f_2) P_к \Delta, \qquad (1)$$

где $\alpha_к$ – угол заострения клина, град;

f_1 и f_2 – коэффициенты трения материала клина по материалу элементов корпусных конструкций.

Соответственно силовой схеме действия клиньев, работа $A_к$ численно равна суммарной кинетической энергии $N_к$ ударов используемой кувалдой, характеризующейся формулой

$$N_к = \frac{2[1+\operatorname{ctg}\alpha_к (f_1+f_2)](m_1+m_2)}{m_1^2 U_0^2} P_к \Delta, \qquad (2)$$

где m_1 и m_2 – массы кувалды и клина, кг;

U_0 – скорость кувалды при ударе по клину, м/с.

При использовании приспособлений с нажимными винтами энерготраты определяют как работу общего числа поворотов винта, т. е. момент сил на рукоятке винта $M_{рук}$, соответствующий выражению:

$$M_{рук} = P_в \operatorname{tg}(\alpha_в + \alpha_{тр}) \frac{d_{ср}}{2} + \\ + \frac{1}{4} f_{тр} P_в (d_{оп} + d_{ср}), \qquad (3)$$

где $P_в$ – осевое усилие на нажимном винте, Н;

$\alpha_в$ – угол наклона резьбы нажимного винта, град;

$\alpha_{тр}$ – угол трения на резьбе, град;

$d_{ср}$ – средний диаметр резьбы нажимного винта, м;

$f_{тр}$ – коэффициент трения материала винта по материалу опорной пяты;

$d_{оп}$ – диаметр опорной поверхности нажимного винта, м.

Соответственно условиям самоторможения $\alpha_{тр} = 5°42'$, при этом $f_{тр} = 0{,}2$ и конструктивно $d_{оп} = (0{,}6...0{,}7)\alpha_{ср}$, поэтому работа $A_в$, выполняемая при использовании винтовых приспособлений, составляет

$$A_в = \frac{\pi d_{ср}[\operatorname{tg}(\alpha_в + 5°42') + 0{,}17]}{h_в} P_в \Delta, \qquad (4)$$

где $h_в$ – шаг нажимного винта, м.

С целью существенного сокращения энерготрат ручного труда при выполнении монтажной сборки используют сборочные устройства, обеспечивающие силовое воздействие на соединяемые элементы корпусных конструкций с помощью прижимов с ручными гидравлическими домкратами.

При использовании таких прижимов создаваемое ими сборочное усилие передается на соединяемые элементы корпусных конструкций через плунжер гидравлического домкрата, приводимого в действие рукояткой насоса. Эта рукоятка, связанная с поршнем насоса, образует рычаг первого или второго рода. Число качаний рукоятки гидравлического насоса $N_д$, необходимых для создания усилий $P_д$, обеспечивающих исключение разностенности соединяемых элементов корпусных конструкций определяется выражением

$$N_д = 6{,}37 \frac{k_д^2}{r_н d_н^2 [\sigma] \sin\frac{\alpha_н}{2}} P_д \Delta, \qquad (5)$$

где $k_д$ – коэффициент соотношения диаметра поршня домкрата и диаметра его плунжера;

$r_н$ – расстояние между осью вращения рукоятки насоса и местом ее скрепления с плунжером, м;

$d_н$ – диаметр поршня гидравлического насоса, м;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала, из которого изготовлен плунжер гидравлического домкрата, Па;

$\alpha_н$ – угол сектора поворота рукоятки насоса при перекачивании масла в домкрат, град.

В процессе перекачивания масла совершается работа $A_д$, необходимая на создание в гидравлическом домкрате рабочего давления жидкости, преодоление сопротивлений этой жидкости при ее обратном вытекании и преодоление трения в уплотнениях насоса и гидравлического домкрата. Значение указанной работы может быть определено зависимостью вида

$$A_д = 440 \frac{k_д^2 \alpha_н r_р}{360° r_н d_н^2 [\sigma] \sin\frac{\alpha_н}{2}} P_д \Delta, \qquad (6)$$

где $r_р$ – длина рукоятки гидравлического насоса от оси вращения до места приложения работающей руки, м.

Составной частью результирующих выражений (2), (4) и (6) является разностенность Δ соединяемых элементов корпусных конструкций и сборочных усилий, создаваемых клином ($P_к$), нажимным винтом ($P_в$) и гидравлическим домкратом ($P_д$).

Путем замеров и статистической обработки установлено, что наибольшие относительные отклонения монтажных кромок соответствуют наименьшей толщине обшивки.

При этом в процессе выполнения монтажных соединений кромок обшивки затрачивают сборочные усилия, величина которых тем выше, чем толще обшивка (рис. 1).

Согласно данным физиологов труда определено, что на каждый удар кувалдой затрачивается по 545 кал, при использовании нажимных винтов на

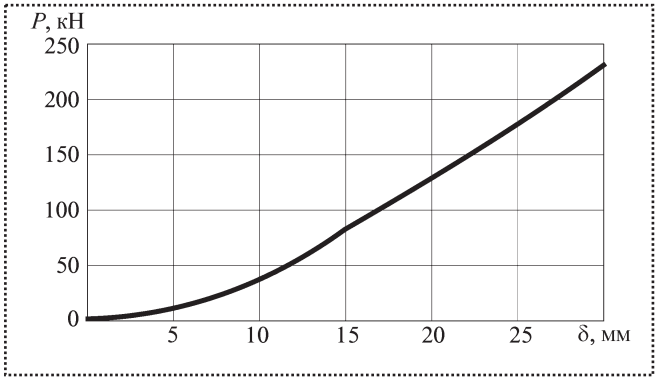


Рис. 1. Зависимость сборочных усилий *P* при выполнении монтажных соединений от толщины δ кромок обшивки

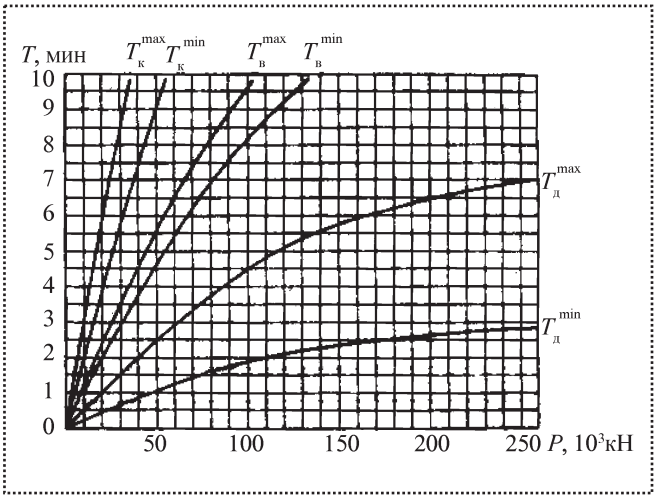


Рис. 2. Продолжительность сведения монтажных кромок судокорпусных конструкций с помощью различных средств сборки с ручным приводом их действия

10 н·м работы расходуется до 10 кал, а на 10 н·м работы рукояткой гидравлического насоса затрачивается до 30 кал. С учетом этого, а также данных, представленных на рис. 1, на основе выражений (2), (4) и (6) рассчитано значение общих энерготрат процесса сборки монтажных соединений судокорпусных конструкций с применением различных средств сборки с ручным приводом их действия. После этого, исходя из нормального расхода общих энерготрат, составляющего 3,7 ккал в минуту, построен график продолжительности сведения монтажных кромок этих конструкций при помощи клина ($T_к$), винта ($T_в$) и гидравлического прижима с ручным приводом ($T_д$) – см. рис. 2.

Приведенный пример расчета свидетельствует о том, что объективность прогнозирования производительности процесса сборки, выполняемого с применением средств технологического оснащения с ручным приводом их действия, а также, соответственно, прогнозирования производительности процессов изготовления судовых конструкций, основанных на использовании указанных средств, может быть достигнута путем построения кинематической модели применения этих средств с проведением по ней расчета энерготрат исполнителей в нормальных условиях производства.

Библиографический список

1. **Корюкаев Ю.С.** Физиологические основы рационализации режимов труда и отдыха // Судостроение. 1969. № 6. С. 51–55.

2. **Косилов С.А.** Очерки физиологии труда. М.: Медицина, 1965. 302 с.

3. **Леман Г.** Практическая физиология труда. М.: Медицина, 1967. 680 с.

4. **Марутов В.А., Павловский С.А.** Гидроцилиндры. М.: Машиностроение, 1966. 280 с.

УДК 621.757

А.Г. Холодкова, *канд. техн. наук*
(Московский государственный машиностроительный университет – МАМИ)
E-mail: grigorevamary23@gmail.com

Технологичность конструкции изделий в автоматической сборке

Рассмотрена методика оценки технологичности изделий для условий автоматической сборки с учетом современных научных исследований конструкторских и технологических разработок.

Assessment technique of fabricability of items is considered for conditions of automated assembly procedure taking into account latest scientific research, design and processing developments.

Ключевые слова: автоматизация, сборка, безотказность, сборочный процесс, ориентация, базы, погрешности формы, фактический зазор и натяг.

Keywords: fabricability, automation, assembly, failure-free performance, assembly process, alignment, bases, form error, actual positive and negative allowances.

На всех этапах жизненного цикла изделия к его конструкции предъявляются определенные требования, обеспечивающие низкую трудоемкость, себестоимость и конкурентоспособность изделия.

Для успешного выполнения сборочного процесса необходимо, чтобы конструкция:

• легко собиралась и разбиралась, т.е. была ремонтопригодной;

• состояла из отдельных взаимозаменяемых сборочных единиц;

• обладала конструктивной преемственностью;

• обеспечивала точность сборки методом полной взаимозаменяемости с минимальным объемом или полным отсутствием пригоночных и регулировочных работ;

• компоновалась из унифицированных деталей и сборочных единиц и т.д.

Помимо этих требований автоматизация сборочного процесса предъявляет ряд особых дополнительных требований к конструкции собираемого изделия и его элементов. Невыполнение этих требований приводит к снижению безотказности сборочного процесса, качества сборки, повышенным затратам труда, средств, а зачастую делает невозможной автоматизацию сборочного процесса.

В 60–70-х годах прошлого века было установлено, что одной из причин низкой производительности автоматического сборочного оборудования является нетехнологичность конструкций собираемых изделий. Причина заключалась в том, что конструкторы, проектирующие эти изделия, не были знакомы с теми требованиями, которые предъявляет к конструкции самого изделия и его элементов автоматическая сборка:

• обеспечение вертикального сборочного движения, при котором масса присоединяемой детали помогает выполнению соединения;

• наличие ориентирующих элементов на сопрягаемых поверхностях;

• сокращение числа сборочных движений, обеспечивающее отсутствие кантования собираемого узла;

• создание надежных баз для ориентации в пространстве собираемых деталей и т.п.

В СССР в 80-х годах прошлого века в автотракторной и приборостроительной промышленности были разработаны отраслевые методики оценки технологичности конструкции для условий автоматической сборки [1, 5].

Процесс автоматического выполнения соединения состоит из ряда последовательно выполняемых этапов: загрузки и предварительной ориентации деталей; подачи их в зону сборки; базирования и взаимной ориентации; выполнения соединения и удаления собранного изделия или сборочной единицы со сборочной позиции.

Конструкции собираемых деталей и их элементов, которые взаимодействуют с ориентирующими, транспортными и исполнительными сборочными механизмами, должны обеспечивать безотказное выполнение всех этапов сборочного процесса с сохранением требуемого качества деталей и сборочных единиц. Поэтому в методике комплексной

многоуровневой оценки технологичности конструкции, разработанананной коллективами НПО "Автопромсборка" (г. Минск) и кафедры "Технология машиностроения" МГТУ им. Н.Э. Баумана (ее схема представлена на рис. 1 [1]), рассмотрены факторы-конструкции элементов деталей и сборочных единиц, влияющие на выполнение каждого этапа сборочного процесса:

ориентацию детали и подачу ее в зону сборки, оцененную комплексным показателем технологичности $K_{тд}$;

возможность качественного и безотказного выполнения соединения описанную комплексным показателем $K_{тс}$;

структуру и состав сборочного оборудования с учетом производительности и капитальных затрат, выраженную комплексным показателем $K_{ти}$.

Методика расчета комплексных показателей соответствовала ГОСТ 4201–83. Частные показатели $K_{ті}$ рассчитывались на основе многолетних теоретических, экспериментальных и производственных исследований, коэффициенты экономической эффективности $K_{э.эі}$ каждого частного показателя – по результатам экспериментальных и производственно-статистических исследований и на основе экспертных оценок.

За прошедшие 30 лет новые исследования и конструктивные разработки в области автоматической сборки потребовали внести добавления и коррективы в существующую методику.

Так, например, при оценке технологичности детали учитывались ее ориентация и подача в зону сборки с использованием вибрационного бункерно-загрузочного устройства (ВБЗУ). При этом оценивались такие качества детали, как отсутствие сцепляемости, устойчивость и неповреждаемость поверхности, достаточность размеров ориентирующих элементов, симметричность формы. Однако очень часто при применении робототехнологических сборочных комплексов (РТСК) детали на сборочную позицию подаются полностью ориентированными. В этом случае на надежность сборочного процесса влияет форма и размеры поверхности детали, с которой контактирует зажимное устройство робота (схват). Существуют разнообразные конструкции схватов: механический, вакуумный, магнитный, адаптивного типов и др. При различных комбинациях поверхностей собираемых деталей под захват приходится иметь магазин схватов большого объема и тратить вспомогательное время на их замену – 7...10 с. В этом случае показатель технологичности $K_{т.сх}$ можно определить как

$$K_{т.сх} = N_{сх} / n_д,$$

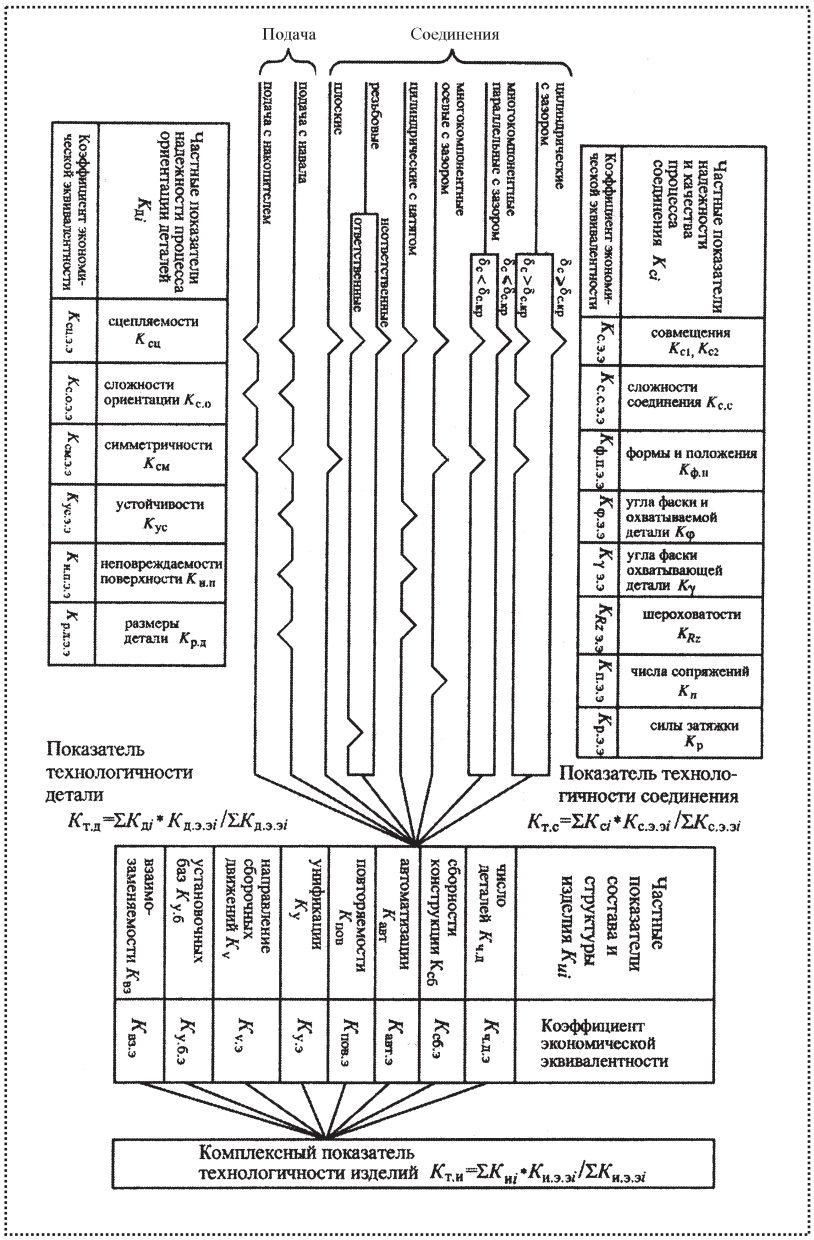


Рис. 1. Схема многоуровневой оценки технологичности конструкции изделия при автоматической сборке

где $N_{сх}$ – число используемых схватов при сборке изделия;

$n_д$ – число собираемых деталей.

При этом необходимо учитывать сложность конструкции схвата коэффициентом $K_{с.о}$, который оценивает стоимость захватного устройства:

$$K_{с.о} = S_{min} / S_i,$$

где S_{min} – стоимость простого по конструкции механического схвата;

S_i – стоимость применяемого схвата.

При экспериментальных исследованиях процесса автоматического выполнения цилиндрических соединений с зазором была установлена следующая закономерность. При определенной величине зазора в соединении $\delta_с$ достаточно сориентировать сопрягаемые поверхности, чтобы сборка деталей выполнялась безотказно под действием сборочной силы – $P_{сб}$ (досылателя) с помощью простых по конструкции сборочных исполнительных механизмов методом пассивной компенсации за счет зазоров между деталью и ориентирующим устройством (ловителем) исполнительного механизма (ИМ) (рис. 2, *а*) или снижения жесткости ИМ (рис. 2, *б*).

При меньших зазорах иногда происходило заклинивание деталей уже при выполнении самого соединения. Причем, чем меньше была величина зазора $\delta_с$, тем выше вероятность заклинивания. Такой зазор был назван критическим $\delta_{с.кр}$ и его величина зависела от диаметра сопрягаемых поверхностей и высоты присоединяемой детали (длины сопряжения). Для безотказного выполнения таких соединений приходилось вращать присоединяемую деталь с частотой 40...60 мин$^{-1}$, что существенно усложняло исполнительный сборочный механизм и повышало его стоимость (рис. 3).

Для экспериментов с деталями диаметром d = = 20, 30 мм и высотой A, равной (1...1,5)d величина критического зазора составила 0,03 мм. Причем,

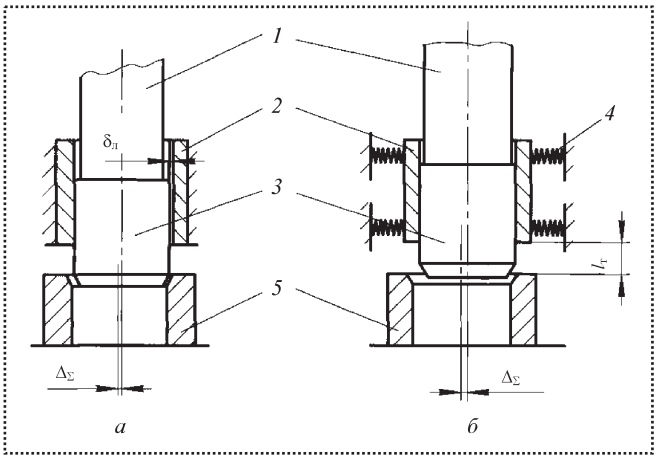


Рис. 2. Способы пассивной компенсации погрешностей:
а – с помощью зазора между ориентирующим устройством ловителем и присоединяемой деталью; *б* – с помощью упругих отжатий ловителя;
1 – шток-досылатель; *2* – ловитель; *3* – присоединяемая деталь; *4* – упругий элемент; *5* – базовая деталь

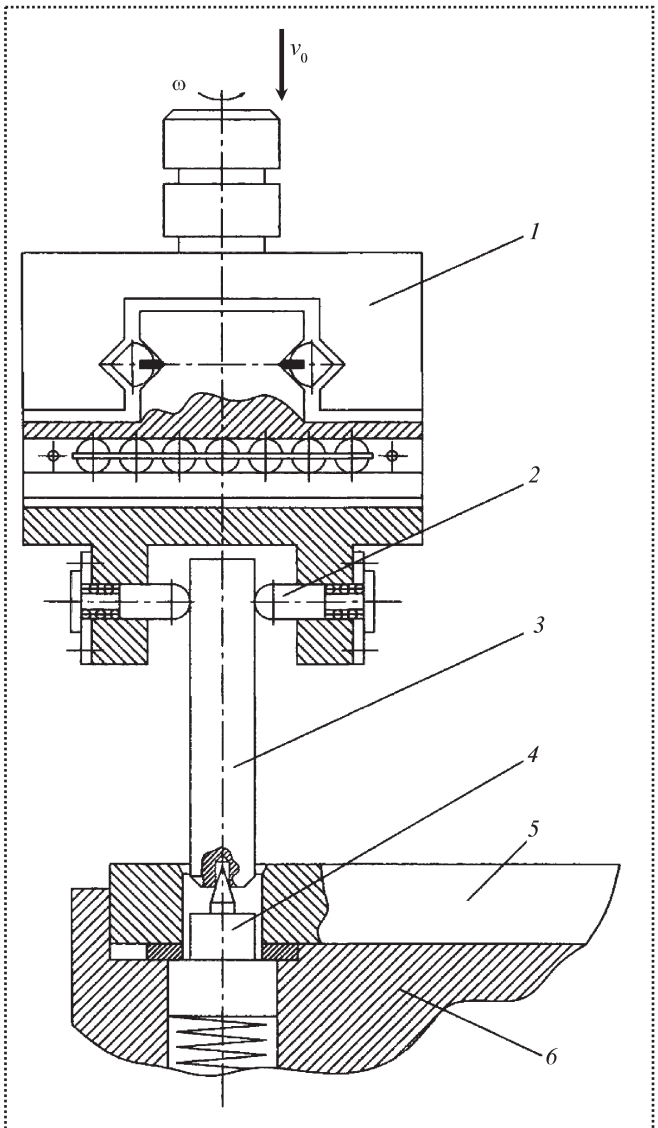


Рис. 3. Схема исполнительного механизма с устройством активного поиска:
1 – компенсирующая крестовая муфта; *2* – сферические захваты; *3* – присоединяемая деталь; *4* – подпружиненный центр; *5* – базовая деталь; *6* – сборочное приспособление

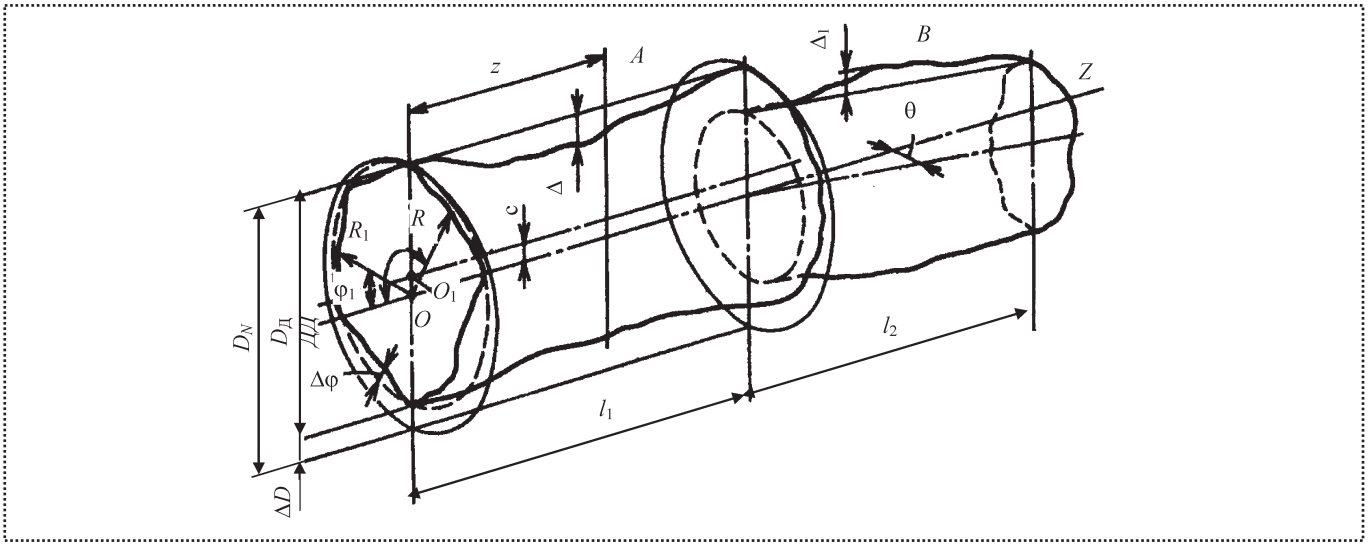


Рис. 4. Схема отклонений параметров реальных поверхностей двухступенчатого вала

при изготовлении образцов погрешность формы и пространственные погрешности сопрягаемых поверхностей не оговаривались.

Когда в дальнейшем при расчете условий собираемости были учтены эти погрешности, то оказалось, что даже при зазорах больших, чем минимальные при неблагоприятных сочетаниях погрешностей формы сопрягаемых поверхностей (овальность, трехгранка, конусность и т.п.) зазор мог уменьшиться до минимального значения. А в связи с тем, что реальные сопрягаемые поверхности деталей отличаются от цилиндрической формы [4], как показано на рис. 4, фактический центр окружности O_i не совпадает с геометрическим центром О на оси симметрии. Следовательно, ось действительного контура в общем виде не является прямой линией, а в каждом сечении смещена от геометрической оси на величину e_i (эксцентриситета). Отклонения параметров реальной поверхности удобно записывать с помощью рядов Фурье или тригонометрическим полиномом в полярной системе координат:

$$f(\varphi) = \frac{CO}{2} + \sum_{k=1}^{k=n} C_k \cos(\tau\varphi + \varphi_k),$$

где n – порядковый номер высшей гармоники; $CO/2$ – отклонение размера; $C_1 \cos(\tau\varphi + \varphi_k)$ – первый член, характеризующий расстояние между центрами OO_i, т.е. величину эксцентриситета e_i.

При неблагоприятном расположении эксцентриситетов сопрягаемых поверхностей величина фактического зазора будет равна

$$\delta_{c\,min} = \delta_{c\,min} - (e_{iв} + e_{kотв}).$$

Такое уменьшение зазора даже при незначительном угле перекоса сопрягаемых поверхностей может привести к заклиниванию собираемых деталей.

Коэффициент технологичности K_e, оценивающий эту возможность,

$$K_e = 1 - \frac{\Sigma I_{i\,max}}{\delta_{c\,min}}.$$

Еще сильнее на безотказность сборочного процесса оказывают влияние погрешности формы и пространственные (несоосности) сопрягаемых поверхностей при выполнении параллельных соосных многопосадочных соединений (многоопорные валы, распределительные валы в двигателе и т.п.).

Помимо соединений с зазором погрешности сопрягаемых поверхностей оказывают влияние на выполнение соединений с натягом. Однако они не влияют на безотказность сборочного автоматического процесса, а определяют качество выполняемого соединения. Многочисленные исследования [3] установили, что фактическая площадь контакта прессового соединения не превышает 5...7 % от расчетной (πdl). Причем, это обусловлено не столько влиянием шероховатости, сколько отклонением от геометрической формы сопрягаемых поверхно-

стей: трехгранкой отверстий втулок, овальностью валов и т.п. Фактический натяг в соединении подсчитывают с учетом погрешностей формы, волнистости и максимальной высоты микронеровностей [4]. Поэтому более корректно коэффициент шероховатости K_{Rz} заменить коэффициентом качества поверхности:

$$K_{\text{кач}} = \delta_{\text{с.ф}} / \delta_{\text{с}},$$

где $\delta_{\text{с.ф}}, \delta_{\text{с}}$ – соответственно фактический и расчетный натяг в соединении, $\delta_{\text{с.ф}} = \delta_{\text{с}} - 0{,}5[\Delta_{\text{фо}} + \Delta_{\text{фв}} + W_{\text{о}} + W_{\text{в}} + 1{,}2(R_{z\text{о}} + R_{z\text{в}})]$. В свою очередь, $\Delta_{\text{ф}}$, W, R_z – погрешности формы, волнистости и средней высоты микронеровностей соответственно отверстия и вала.

Для повышения прочности прессового соединения с натягом необходимо, чтобы погрешность формы сопрягаемых поверхностей не превышала 12 % от допуска на диаметральный размер T_d.

Для выполнения расчетов частных и комплексных показателей технологичности конструкции изделий применительно к автоматической сборке была разработана программа, являющаяся подсистемой программы проектирования технологического процесса автоматической сборки.

Проблема оценки технологичности конструкции изделий для автоматической сборки получила развитие в работах [6], позволяющая на предпроектных расчетах определить основные параметры технологического процесса сборки и сборочного оборудования.

Библиографический список

1. **Технология** автоматической сборки / А.Г. Холодкова и др; под ред. А.Г. Холодковой. М.: Машиностроение, 2010. 560 с.

2. **Холодкова А.Г.** Особенности автоматического выполнения цилиндрических соединений с малыми зазорами // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2004. № 4. С. 14–18.

3. **Зенкин А.С., Арпентьев Б.М.** Сборка неподвижных соединений термическими методами; уч. пособие. М.: Машиностроение, 1988. 128 с.

4. **Качество** машин: справочник. В 2-х т. Т. 1 / под общ. ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 1995. 253 с.

5. **Методика** и нормативы оценки технологичности конструкции деталей и сборочных единиц при автоматической сборке: РД, Минск, 1985. 405 с.

6. **Ламин И.И.** Оптимизация параметров сборочного оборудования на основе имитационной модели автомобильного и тракторного производства // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2005. № 7. С. 3–9.

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 14.04.14 г. Подписано в печать 03.06.14 г. Формат 60×88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "ПКФ "Союз-Пресс", г. Ярославль, Полушкина роща, 16.

ПАМЯТИ В.М. БЕДРИНА

На 84-м году ушел из жизни Владимир Матвеевич Бедрин, одаренный инженер, один из самых авторитетных и известных специалистов-сборщиков страны. Практически вся профессиональная жизнь В.М. Бедрина, выпускника Мосстанкина, была связана с заводом им. И.А. Лихачева. Более полувека работал Владимир Матвеевич в Управлении главного конструктора по технологической оснастке и станкам. Им созданы десятки технологических процессов сборки, сотни типоразмеров сборочных средств технологического оснащения: от сравнительно простых гайковертов и заклепочных скоб до сложнейшего высокоавтоматизированного участка сборки многометровых рам автомобилей семейства ЗИЛ.

Практически все конструкции и технологические процессы, созданные В.М. Бедриным, надежно работали в производственных условиях с первого предъявления, не требуя уточнений, исправлений и т.п. Заметной вехой в профессиональной деятельности В.М. Бедрина явились разработки по механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных складских и транспортных работ. Технические и организационные решения, предложенные бригадой инженеров ЗИЛа, работавшей под руководством В.М. Бедрина, отличались доступной реализацией, хорошей эффективностью, позволили значительно сократить привлечение малоквалифицированного ручного труда, получили поддержку инженерно-технической общественности, ряда центральных изданий (газеты "Правда", "Экономическая газета"), машиностроительных министерств и ГКНТ СССР.

Последние годы В.М. Бедрин активно работал в области пневмовихревой сборки. Вместе с изобретателем этого новейшего метода Д.М. Левгуном он проводил экспериментальные и производственные исследования, разрабатывал типовые технологические процессы и средства технологического оснащения пневмовихревой сборки. Использование механических колебаний позволяет выполнять сборку не только в воздушной, но и в жидкой среде, собирать детали разнообразных форм и выполненные из материалов с различными модулями упругости, иметь первоначальные смещения собираемых деталей в десятки и сотни миллиметров, автоматически выполнять сопряжения с микрометрическими зазорами, осуществлять сборку со 100%-ной надежностью и высокой производительностью. Гамма пневмовихревого сборочного оборудования, созданная В.М. Бедриным, была удостоена первого приза на крупнейшей выставке, посвященной автомобилестроению (Германия).

Владимир Матвеевич отнюдь не был "сухим технарем", жил интересами коллектива завода. В молодые годы избирался в состав комитета комсомола и слета молодых специалистов ЗИЛа, в зрелые – активно работал в профсоюзной и партийной организациях. Родной завод-гигант знал до последнего участка. И не случайно В.М. Бедрину руководство завода доверило создать книгу, посвященную 75-летнему юбилею завода.

В.М. Бедрин был инициатором создания журнала "Сборка в машиностроении и приборостроении", членом редакционного совета которого он был все эти годы. На страницах журнала, объединившего ведущих специалистов-сборщиков страны, В.М. Бедриным было опубликовано много статей.

Все, кому посчастливилось работать рядом с В.М. Бедриным, запомнят его как яркого профессионала и надежного товарища.

Международный союз машиностроителей, Донецкий национальный технический университет и ряд ведущих университетов и организаций различных стран 15–20 сентября 2014 г. в городе Севастополе проводят XXI международную научно-техническую конференцию

"МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА"

Целью конференции является обмен научно-технической информацией, определение перспективных путей создания и развития новой техники и технологий, разработка совместных научных программ, развитие международного сотрудничества, установление деловых контактов и коммерческих связей в данной области.

В предыдущей конференции приняли участие ученые и ведущие специалисты из **16 стран мира**. Широкое участие ученых и практиков из различных стран способствовало развитию перспективных связей и формированию традиций совместного обсуждения насущных проблем. Работа данной конференции будет направлена на дальнейшую консолидацию ученых, специалистов и представителей промышленных предприятий для содействия процессу дальнейшего развития техники и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики. В период работы конференции будет проведен **XV съезд Международного союза машиностроителей (МСМ)**. Желающие участвовать в работе МСМ и представлять его в своих странах и регионах могут вступить здесь в члены МСМ.

Оргкомитет приглашает Вас принять участие в работе этой конференции и поручить специалистам Вашей организации выступить с докладами или сообщениями.

ОСНОВНАЯ ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Практика и перспективы создания и применения прогрессивных и нетрадиционных технологий. Интегрированные технологии. Сборка в машиностроении, приборостроении. Абразивные и виброабразивные технологии.

2. Механизация и автоматизация производственных процессов. Прогрессивное оборудование.

3. Комплексная автоматизация проектирования, подготовки и управления производством. Экономические проблемы техносферы.

4. Проблемы создания и применения прогрессивных инструментов и инструментальных материалов.

5. Управление качеством продукции и технических систем. Проблемы инженерии поверхностного слоя изделий.

6. Современные проблемы машиноведения и деталей машин.

7. Современные проблемы инженерии материалов, процессов и материаловедения в машиностроении. Упрочняющие технологии и покрытия изделий машиностроения. Наноматериалы и нанотехнологии.

8. Вопросы моделирования и расчетов технических систем.

9. Специальная техника и технологии техносферы. Экологические проблемы техносферы.

10. Современные проблемы инженерного образования. Евроинтеграция в образовании.

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА

Украина, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГВУЗ ДонНТУ, кафедра "Технология машиностроения", Оргкомитет

☎ Тел./факс: +38 062 305-01-04, +38 062 301-08-05;

❩ Моб. тел.: +38 050 620-23-96

✉ E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua или mntk21@mail.ru

🖳 http://konf-sev.donntu.edu.ua http://iumb.donntu.edu.ua http://www.dgtu.donetsk.ua

Михайлов Александр Николаевич – *председатель,*

Голубов Николай Васильевич – *ученый секретарь*