

DOI: [10.34220/2311-8873-2024-52-60](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-52-60)



УДК 621-03

UDC 621-03

2.5.6 – технология машиностроения

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ  
РАЗМЕРНО-ТОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА**

**TECHNOLOGICAL JUSTIFICATION OF  
THE RATIONAL DESIGN OF  
ELECTROMECHANICAL  
SENSORS BASED ON  
DIMENSIONAL-PRECISION ANALYSIS**

✉<sup>1</sup> **Лебедев Валерий Александрович**,  
профессор, к.т.н., профессор, Донской государствен-  
ственный технический университет, г. Ростов-  
На-Дону, e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru)

✉<sup>1</sup> **Lebedev Valery Alexandrovich**,  
professor, candidate of technical sciences, professor,  
Don state technical university, Rostov-On-Don, e-  
mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru)

**Коваль Николай Сергеевич**,  
к.т.н., доцент, Донской государственный  
технический университет, г. Ростов-На-Дону,  
e-mail: [koval-nc@mail.ru](mailto:koval-nc@mail.ru)

**Koval Nikolay Sergeevich**,  
candidate of technical sciences, associate profes-  
sor, Don state technical university, Rostov-On-  
Don, e-mail: [koval-nc@mail.ru](mailto:koval-nc@mail.ru)

**Котенко Олег Николаевич**,  
аспирант, Донской государственный техни-  
ческий университет, г. Ростов-На-Дону,  
e-mail: [kotenko.on@yandex.ru](mailto:kotenko.on@yandex.ru)

**Kotenko Oleg Nikolaevich**,  
postgraduate student, Don state technical university,  
Rostov-On-Don, e-mail: [kotenko.on@yandex.ru](mailto:kotenko.on@yandex.ru)

**Аннотация.** Показано применение размерно-  
точностного анализа при разработке новых и  
совершенствовании существующих кон-  
струкций электромеханических датчиков,  
который позволяет установить причины вы-  
сокой трудоемкости пригоночных и регули-  
ровочных работ в процессе их изготовления  
и выявить пути её снижения. Представлены  
наиболее рациональные решения обеспече-  
нию точности конструкции электромехани-  
ческого датчика давления.

**Annotation.** The application of dimensional-ac-  
curacy analysis in the development of new and  
improvement of existing designs of electro-  
mechanical sensors is shown, which makes it possi-  
ble to establish the reasons for the high labor in-  
tensity of fitting and adjustment work during  
their manufacture and to identify ways to reduce  
it. The most rational solutions are presented to  
ensure the accuracy of the design of an electro-  
mechanical pressure sensor.

**Ключевые слова:** РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ,  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ДАТЧИК,  
ТОЧНОСТЬ, ТРУДОЕМКОСТЬ, РАБОТО-  
СПОСОБНОСТЬ.

**Keywords:** DIMENSIONAL ANALYSIS, ELEC-  
TROMECHANICAL SENSOR, ACCURACY,  
LABOR INTENSITY, PERFORMANCE.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

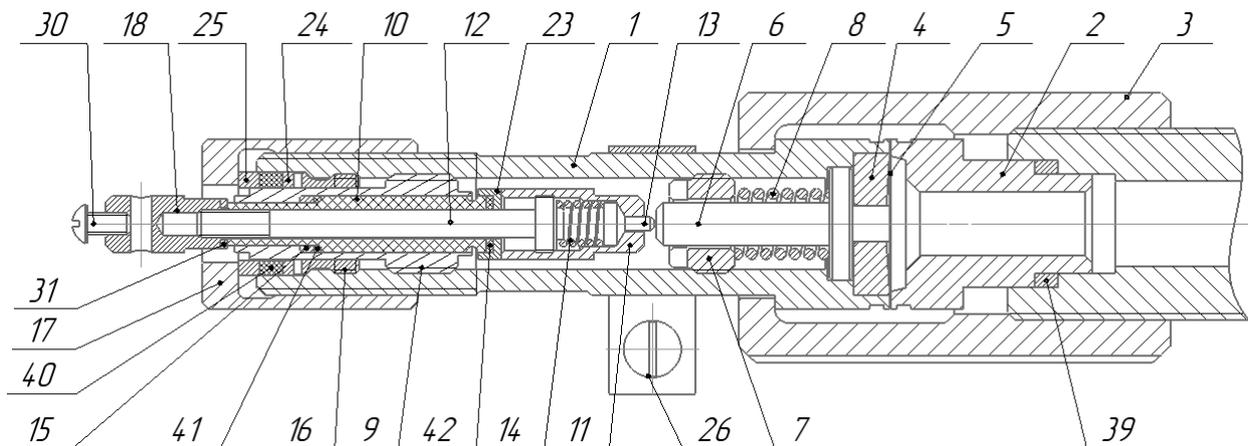
## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Одним из важнейших инструментов создания качественных изделий, способных с высокой надежностью функционировать в течение всего срока эксплуатации, является размерный анализ [1-20]. Он позволяет обеспечить требуемую точность функциональных параметров изделий и увязать между собой многие основные характеристики разных этапов жизненного цикла изделия. При этом размерный анализ также является связующим звеном между конструкторскими и технологическими этапами подготовки производства к выпуску новой продукции. Важным является и тот факт, что этот анализ является универсальным средством, пригодным для расчета любой конструкции или отдельного узла.

## 2 Материалы и методы

Предметом настоящего исследования является применение размерно-точностного анализа для оценки конструктивного исполнения электромеханического датчика с целью обоснования его наиболее рациональной конструкции, обеспечивающей с наименьшими технико-экономическими затратами выполнение его функционального назначения. В качестве примера для проведения такого анализа выбран электромеханический датчик давления, предназначенный для контроля величины давления жидкости, конструкция которого приведена на рис. 1.

Нижняя часть электромеханического датчика давления (ЭМД) включает в себя стакан 2, имеющий поверхности для установки по месту эксплуатации, и внутреннюю полость, в которую поступает жидкость.



- 1 – корпус; 2 – стакан; 3, 17 – гайка; 4 – вкладыш; 5 – мембрана; 6 – толкатель; 7 – пробка;  
 8, 14 – пружина; 9 – корпус контакта; 10 – изолятор; 11, 24, 25 – втулка; 12, 28 – винт;  
 13 – контакт; 15 – кольцо; 16 – пробка; 18 – наконечник; 23 – чашка; 26 – хомут;  
 31 – шайба; 39, 40, 41, 42 – прокладка

Рисунок 1 – Конструкция электромеханического датчика давления

Стакан совместно с мембраной 5 и корпусом 1 соединены сваркой. При росте давления жидкости до 0,2 ... 0,5 МПа происходит прилегание мембраны к вкладышу 6, что вызывает перемещение толкателя 6 и соприкосновение его торца с контактом 13. В этот момент контакт перемещается относительно втулки 11, поджимая пружину 14. При значении давления ниже 0,2 МПа детали перемещаются в исходное положение, а между контактом и толкателем должен присутствовать зазор величиной 0,3<sub>-0,1</sub> мм. В конструкции предусмотрена регулировка положения толкателя 6 в направлении вкладыша 4 с помощью пружины 8 и пробки 7.

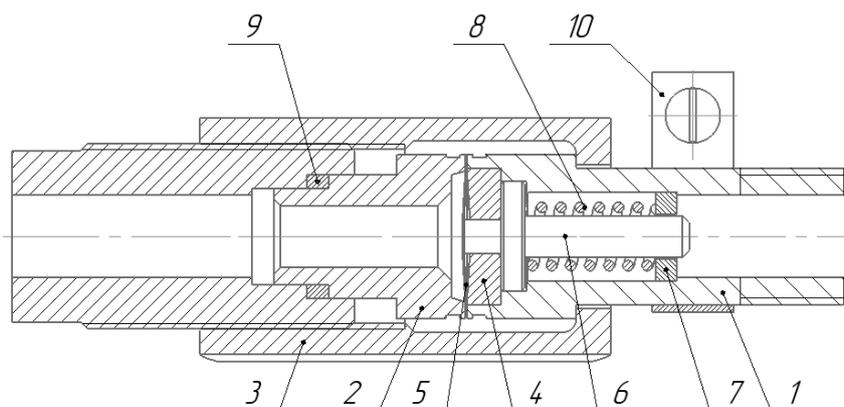
Детали и узлы в верхней части ЭМД предназначены для обеспечения требуемого положения контакта относительно корпуса *1* и толкателя *6* и возможности его регулирования. Корпус *11*, в котором находится контакт *13*, через винт *12* соединен с керамическим изолятором *10*, который, в свою очередь, жестко соединен с корпусом *9*. Корпус посредством резьбового соединения перемещается относительно корпуса *1*, за счет чего и реализуется регулировка. Остальные детали обеспечивают неподвижность достигнутого положения корпуса *9*. На винт *12* устанавливаются шайба и наконечник *18* с винтом *30*. Одновременно с этим в осевом направлении создается нагрузка, обеспечивающая поджатие деталей к изолятору.

В процессе испытаний ЭМД на срабатывание к наконечнику *18* подводится напряжение 24 В, а к хомуту *26* – щупы измерительного прибора. В случае соприкосновения поверхностей деталей *6*, *13*, на хомуте присутствует напряжение, а при наличии зазора между упомянутыми деталями напряжение отсутствует. Наличие токопроводящей цепи в конструкции возможно благодаря использованию керамического изолятора *10*.

В качестве основного недостатка существующей конструкции можно выделить высокую трудоемкость изготовления и сборки ЭМД ввиду наличия большого объема пригоночных и регулировочных работ. Дальнейший анализ позволит установить причины их проведения и выявить пути снижения трудоемкости изготовления ЭМД.

### 3 Результаты исследований

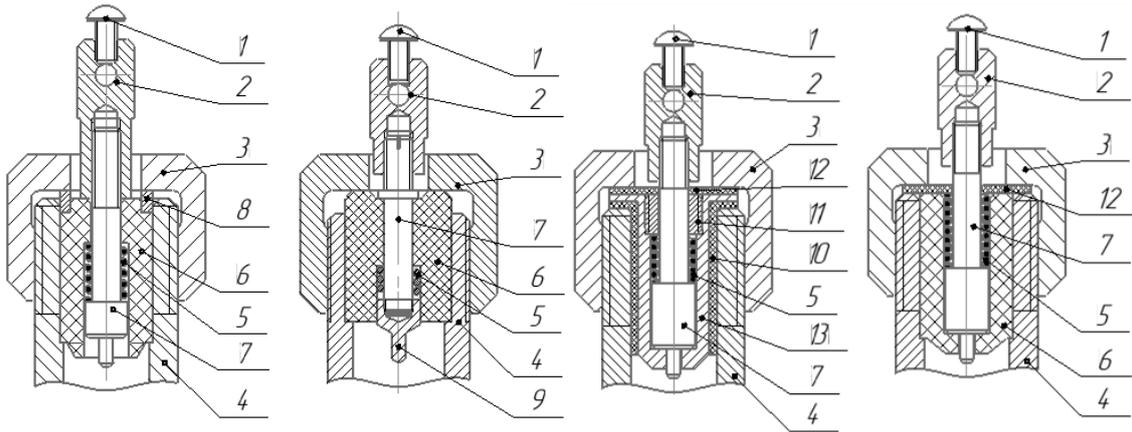
На рис. 2 представлено новое решение нижней части ЭМД. Она отличается от исходной отсутствием механизма регулировки положения толкателя, реализующегося за счет поджатия пружины резьбовой пробкой. Вместо нее предусмотрена шайба, которая устанавливается во внутреннюю проточку корпуса. Параметры пружины и величину ее поджатия приняты равными исходным.



*1* – корпус; *2* – стакан; *3* – гайка; *4* – вкладыш; *5* – мембрана; *6* – толкатель;  
*7* – шайба; *8* – пружина; *9* – прокладка; *10* – хомут

Рисунок 2 – Конструкция нижней части ЭМД

Конструкция верхней части может быть выполнена в нескольких вариантах (рис. 3). Первый вариант предусматривает установку изолятора в корпус ЭМД и фиксацию его с помощью прокладки и гайки. В изоляторе предусмотрено отверстие для установки пружины с винтом. Винт имеет аналогичные с контактом поверхности для взаимодействия с толкателем. Для определения положения винта в осевом положении предусмотрена резьба, на которую накручивается наконечник. Он упирается в изолятор, ограничивая ход винта.



1 – винт; 2 – наконечник; 3 – гайка; 4 – корпус; 5 – пружина; 6 – изолятор; 7 – винт; 8 – втулка; 9 – контакт; 10, 13 – стакан; 11 – пробка резьбовая; 12 – прокладка

Рисунок 3 – Конструкция верхней части ЭМД

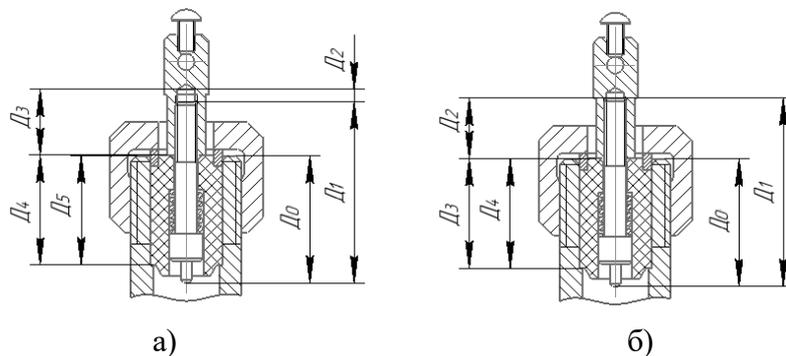
Второй вариант отличается от первого наличием контакта, который накручивается на винт. Винт имеет ограничитель осевого перемещения в виде ступени, расположенной в верхней части конструкции. Изолятор устанавливается в корпус без прокладки.

Следующий вариант предусматривает использование стального стакана для базирования винта. Для ограничения перемещения винта в осевом направлении предусмотрена резьбовая пробка, закручивание которой увеличивает усилие, создаваемое пружиной. Для обеспечения электрической изоляции корпуса относительно винта предусмотрен стакан и прокладка, изготовленные из диэлектрического материала.

Последняя конструкция предусматривает установку винта с пружиной в керамический изолятор. Изолятор помещен в корпус и закреплен через прокладку гайкой.

Ниже приведен размерный анализ вариантов конструкции с целью определения возможности достижения заданной точности положения толкателя относительно торца корпуса.

Размерная цепь для первого варианта конструкции ЭМД показана на рис. 4, в которой с целью реализации регулировки введено звено  $D_2$ .



а – метод регулирования; б – метод неполной взаимозаменяемости

Рисунок 4 – Размерная цепь, описывающая достижение точности ЭМД первого варианта конструкции

Это позволяет, как показано в табл. 1, значительно расширить допуски деталей. Однако операция регулировки повлечет за собой дополнительные затраты в процессе сборки ЭМД.

Таблица 1 – Физическая сущность звеньев размерной цепи  $D$  (метод регулирования)

Звено	Физическая сущность звеньев	Размер, мм
$D_0$	Положение торца винта относительно торца корпуса	$23,5^{+0,1}$
$D_1$	Длина винта	$32,5h14(-0,62)$
$D_2$	Запас хода винта по резьбе наконечника	$2^{+1}$
$D_3$	Глубина нарезки резьбы в отверстии наконечника	$11^{+0,5}$
$D_4$	Размер изолятора	$20h14(-0,52)$
$D_5$	Размер проточки корпуса	$20H14(+0,52)$

Для достижения точности методом неполной взаимозаменяемости наконечник должен накручиваться на винт до упора (конца резьбы), что позволяет исключить звено  $D_2$ . Результаты расчета допуска звена  $D_0$  с учетом точности деталей в пределах 11 квалитета для этого случая представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Физическая сущность звеньев размерной цепи  $D$  (метод неполной взаимозаменяемости)

Звено	Физическая сущность звеньев	Размер, мм
$D_0$	Положение торца винта относительно торца корпуса	$21,5^{+0,367}_{-0,553}$
$D_1$	Длина винта	$32,5h11(-0,16)$
$D_2$	Глубина нарезки резьбы в отверстии наконечника	$11^{+0,5}$
$D_3$	Размер изолятора	$20h11(-0,13)$
$D_4$	Размер проточки корпуса	$20H11(+0,13)$

Как видно из табл. 2, величина допуска звена  $D_0$  составляет 0,186 мм. Это значение больше половины (62 %) от общего допуска замыкающего звена (0,3 мм). Для снижения доли допуска необходимо сузить допуски на составляющие звенья до 9-11 квалитета.

Размерная цепь для второго варианта конструкции ЭМД показана на рис. 5, а физическая сущность звеньев сведена в табл. 3.

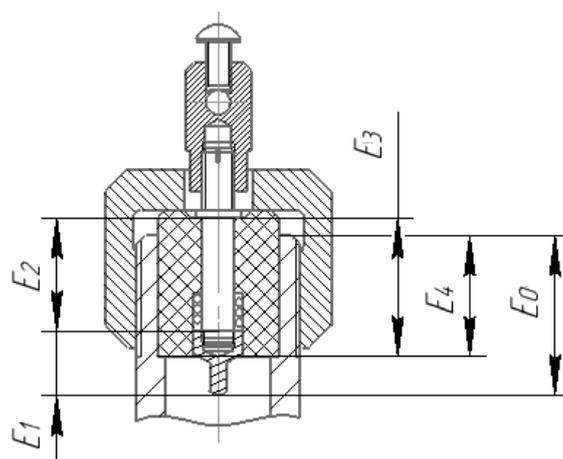


Рисунок 5 – Размерная цепь, описывающая достижение точности ЭМД второго варианта конструкции

Общее количество составляющих звеньев в рассматриваемой размерной цепи – 4. Заданную точность достичь будет проще, чем в первом варианте конструкции ЭМД по методу неполной взаимозаменяемости. Величина допуска звена  $E_0$  составляет 0,07 мм. Это значение составляет менее трети (23 %) от общего допуска замыкающего звена (0,3 мм).

Таблица 3 – Физическая сущность звеньев размерной цепи  $E$

Звено	Физическая сущность звеньев	Размер, мм
$E_0$	Положение торца винта относительно торца корпуса	$20^{+0.045}_{-0.025}$
$E_1$	Длина наконечника	$8h11(-0,09)$
$E_2$	Размер винта	$14h11(-0,11)$
$E_3$	Размер корпуса	$17h11(-0,11)$
$E_4$	Размер проточки корпуса	$15H11(+0,11)$

Размерная цепь для третьего варианта конструкции СП показана на рис. 6, а физическая сущность звеньев сведена в табл. 4.

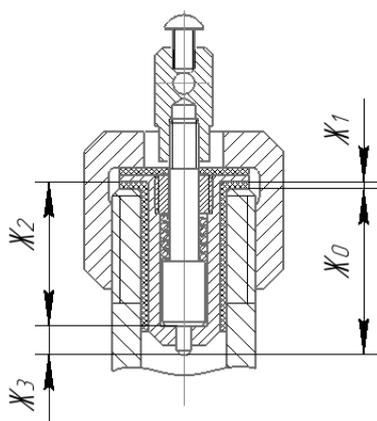


Рисунок 6 – Размерная цепь, описывающая достижение точности ЭМД третьего варианта конструкции

Таблица 4 – Физическая сущность звеньев размерной цепи  $J$

Звено	Физическая сущность звеньев	Размер, мм
$J_0$	Положение торца винта относительно торца корпуса	$23^{+0.029}_{-0.044}$
$J_1$	Толщина фланца диэлектрического стакана	$1h11(-0,06)$
$J_2$	Размер стального стакана	$20 \pm 0,1$
$J_3$	Размер винта	$4h11(-0,075)$

Общее количество составляющих звеньев в рассматриваемой размерной цепи – 3. Заданную точность достичь будет проще, чем в предыдущих вариантах конструкции ЭМД. Величина допуска звена  $J_0$  составляет 0,073 мм. Полученное значение несколько выше, чем в предыдущем варианте, не смотря на меньшее количество звеньев. Величина допуска составляет менее трети (24 %) от общего допуска замыкающего звена (0,3 мм).

Размерная цепь для четвертого варианта конструкции ЭМД показана на рис. 7, а физическая сущность звеньев сведена в табл. 5.

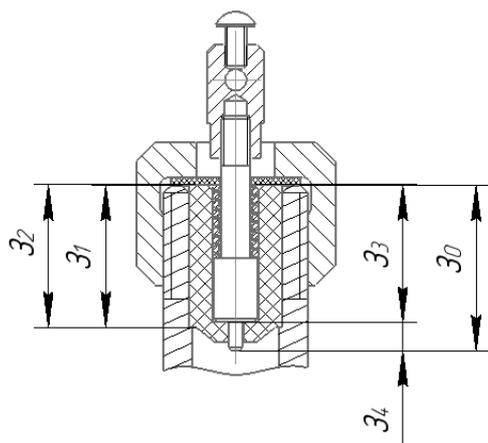


Рисунок 7 – Размерная цепь, описывающая достижение точности ЭМД четвертого варианта конструкции

Таблица 5 - Физическая сущность звеньев размерной цепи 3

Звено	Физическая сущность звеньев	Размер, мм
$Z_0$	Положение торца винта относительно торца корпуса	$23_{-0.142}^{-0.063}$
$Z_1$	Размер проточки корпуса	$20H11^{(+0,13)}$
$Z_2$	Размер изолятора	$20H11_{(-0,13)}$
$Z_3$	Размер изолятора	$19H11^{(+0,13)}$
$Z_4$	Размер винта	$4h11_{(-0,075)}$

Общее количество составляющих звеньев в рассматриваемой размерной цепи – 4. Величина допуска звена  $Z_0$  составляет 0,079 мм. Величина допуска составляет менее трети (26 %) от общего допуска замыкающего звена (0,3 мм).

#### 4 Обсуждение и заключение

Проведенный размерно-точностной анализ предложенных новых конструктивных решений верхней части ЭМД показал, что наиболее предпочтительными для дальнейшей проработки следует принять первый вариант конструкции с учетом использования регулировки и третий вариант, включающий в себя наименьшее число составляющих звеньев и достаточно малую величину допуска замыкающего звена. Окончательный выбор конструкции ЭМД можно произвести только после технико-экономической оценки и анализа результатов моделирования их работоспособности в условиях эксплуатации.

#### Список литературы

- 1 Безъязычный, В. Ф., Обеспечение качества изделий при сборке [Текст] / В. Ф., Безъязычный, В. В. Непомилуев, А. Н. Семенов. – Издательский дом «Спектр». – 2002. – 204 с.
- 2 Дальский, А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин [Текст] / А. М. Дальский. – М., Машиностроение, 1975-223 с.
- 3 Польский, Е. А. Технологическое обеспечение точности наукоемких сборочных узлов на жизненного цикла [Текст] / Е. А. Польский, О. А. Никонов, Н. С. Митраков, Ф. Д. Звягинцев. – Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Вып. 8. – Ч. 2. – С. 328-335.
- 4 Сулов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений [Текст] / А. Г. Сулов, В. П. Федоров, О. А. Горленко [и др.]; под общ. ред. А. Г. Сулова. – Москва : Машиностроение, 2006. – 447 с.
- 5 Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. – Том 1. Под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. – Москва, изд-во "Машиностроение", 1968.

- 6 Датчики тепловых физических и механических параметров: Справочник в трех томах / Под общ. ред. Ю. Н. Коптева. Под ред. Е. Е. Багдатьяева, А. В. Гориша, Я. В. Малкова. – М.: ИПРЖР, Т.1, 1998 – 548 с; Т. 1 (кн. 2) 1999 – 512 с.
- 7 Карпов, В. И. Оценка механической надежности элементов конструкции датчика. – Датчики систем измерения, контроля и управления.: Меж. вуз. сб. науч. тр. – Пенза: Пенз. политех. ин-т, 1981. – Вып.1. – С. 139-143.
- 8 Антонюк, В. Е. Динамическая стабилизация в производстве маложестких деталей / В. Е. Антонюк. – Минск: Беларуская навука. – 2017. – 190 с.
- 9 Хенкин, М. Л., Локшин И. Х. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении [Текст] / М. Л. Хенкин, И. Х. Локшин. – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
- 10 Гаврюсов, В. И. Размерная стабильность материалов и элементов конструкций [Текст] / В. И. Гаврюсов. – Л.: ЦНИИ «Румб», 1990. – 113 с.
- 11 Яковлева, С. А. Размерная стабильность материалов и элементов конструкций в приборостроении [Текст] / С. А. Яковлева, О. С. Юльметова. – Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – № 8. – С. 23-26.
- 12 Ильицкий, В. Б. Модель обеспечения качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей [Текст] / В. Б. Ильицкий, Е. А. Польский, Д. М. Филькин // Справочник. Инженерный журнал. – 2010. – №4. – С. 51-56.
- 13 Хромов, В. Н. Расчет размерной цепи с учетом эксплуатационных изменений звеньев [Текст] / В. Н. Хромов, М. Г. Дегтярев, З. П. Лисовская. – Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – №9. – С. 19-21.
- 14 Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. Т.2. / А. М. Дальский, А. Г. Косилова, [и др.]. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
- 15 Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин [Текст] / Э. В. Рыжов, А. Г. Суслов, В. П. Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
- 16 Оськин, Д. А. Совершенствование расчета технологических размеров на основе выявления обратных связей между допусками и условиями обработки [Текст] / Д. А. Оськин, В. Б. Масягин // Технология машиностроения. – 2007. – №8. – С. 18-23.
- 17 Непомилуев, В. В. Способы регулирования нежестких размерных цепей [Текст] / В. В. Непомилуев, В. Ю. Ерошков, М. Е. Ильина // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2005. – №3. – С. 24-27.
- 18 Маталин, А. А. Технология машиностроения [Текст]: учеб, для вузов / А. А. Маталин. – Изд. 2 испр. – СПб: Лань, 2008. – 511 с.
- 19 Коганов, И. А. Основы размерного анализа технологических процессов: учеб пособие [Текст] / И. А. Коганов, Б. В. Морозов. – Тула: Тул. гос. тех. ун-т., 1994. – 67 с.
- 20 Горленко, О. А. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных показателей деталей машин [Текст] / О. А. Горленко // Трение и износ. – 1997. – Т.18. – №3. – С. 361-368.

## References

- 1 Bezyazychny, V. F., Ensuring the quality of products during assembly [Text] / V. F., Bezyazychny, V. V Nepomiluev, A. N Semenov. – Spektr Publishing House. - 2002. - 204 p.
- 2 Dalsky, A. M. Technological support for the reliability of high-precision machine parts [Text] / A. M. Dalsky. – M., Mechanical Engineering, 1975-223 p.
- 3 Polsky, E. A. Technological support for the accuracy of high-tech assembly units during the life cycle [Text] / E. A. Polsky, O. A. Nikonov, N. S. Mitnikov, F. D. Zvyagintsev. – News of Tula State University. Technical science. – 2017. – Issue. 8. - Part 2. - pp. 328-335.
- 4 Suslov, A. G. Technological support and improvement of operational properties of parts and their connections [Text] / A. G. Suslov, V. P. Fedorov, O. A. Gorlenko [etc.]; under general ed. A. G. Suslova. – Moscow: Mechanical Engineering, 2006. – 447 p.

5 Strength, stability, vibrations. A reference book in three volumes. – Volume 1. Ed. I. A. Birger and Y. G. Panovko. – Moscow, publishing house "Machine Building", 1968.

6 Sensors of thermophysical and mechanical parameters: A reference book in three volumes / Under the general. ed. Yu. N. Kopteva. Ed. E. E. Bagdatyeva, A. V. Gorisha, Y. V. Malkova. – M.: IPRZHR, T.1, 1998 – 548 p.; T. 1 (book 2) 1999 – 512 p.

7 Karpov, V.I. Assessment of mechanical reliability of sensor design elements. – Sensors for measurement, monitoring and control systems: Inter. university collection of scientific tr. – Penza: Penz. Polytech. Institute, 1981. – Issue 1. – pp. 139-143.

8 Antonyuk, V. E. Dynamic stabilization in the production of low-rigid parts / V. E. Antonyuk. – Minsk: Belarusian science. - 2017. - 190 p.

9 Khenkin, M. L., Lokshin I. Kh. Dimensional stability of metals and alloys in precision engineering and instrument making [Text] / M. L. Khenkin, I. Kh. Lokshin. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 256 p.

10 Gavryusev, V. I. Dimensional stability of materials and structural elements [Text] / V. I. Gavryusev. – L.: Central Research Institute "Rumb", 1990. – 113 p.

11 Yakovleva, S. A. Dimensional stability of materials and structural elements in instrument engineering [Text] / S. A. Yakovleva, O. S. Yulmetova. – Izv. universities Instrumentation. – 2010. – T. 53. – No. 8. – P. 23-26.

12 Ilyitsky, V. B. Model for ensuring the quality of assembly units based on the analysis of dimensional relationships [Text] / V. B. Ilyitsky, E. A. Polsky, D. M. Filkin // Handbook. Engineering magazine. – 2010. – No. 4. – P. 51-56.

13 Khromov, V. N. Calculation of a dimensional chain taking into account operational changes in links [Text] / V. N. Khromov, M. G. Degtyarev, Z. P. Lisovskaya. – Assembly in mechanical engineering, instrument making. – 2004. – No. 9. – pp. 19-21.

14 Handbook of mechanical engineering technologist [Text]: in 2 volumes. T.2. / A. M. Dalsky, A. G. Kosilova, [etc.]. – M.: Mashinostroenie, 2001. – 912 p.

15 Ryzhov, E. V. Technological support of the operational properties of machine parts [Text] / E. V. Ryzhov, A. G. Suslov, V. P. Fedorov. - M.: Mechanical Engineering, 1979. – 176 p.

16 Oskin, D. A. Improving the calculation of technological dimensions based on identifying feedback between tolerances and processing conditions [Text] / D. A. Oskin, V. B. Masyagin // Mechanical Engineering Technology. – 2007. – No. 8. – pp. 18-23.

17 Nepomiluev, V.V. Methods for regulating non-rigid dimensional chains [Text] / V.V. Nepomiluev, V.Yu. Eroshkov, M.E. Ilyina // Assembly in mechanical engineering, instrument making. – 2005. – No. Z. – pp. 24-27.

18 Matalin, A. A. Mechanical engineering technology [Text]: textbook for universities / A. A. Matalin. – Ed. 2 rev. – St. Petersburg: Lan, 2008. – 511 p.

19 Koganov, I. A. Fundamentals of dimensional analysis of technological processes: textbook [Text] / I. A. Koganov, B. V. Morozov. – Tula: Tula State Technical University, 1994. – 67 p.

20 Gorlenko, O. A. Technological support and increasing the performance indicators of machine parts [Text] / O. A. Gorlenko // Friction and wear. - 1997. - T.18. - No. 3. – P.361-368.

© Лебедев В.А., Коваль Н.С., Котенко О.Н., 2024