УДК 621.9
doi: 10.18323/2073-5073-2020-4-15-24

Совершенствование математического, методического и алгоритмического обеспечения реализации укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий

© 2020

Назарьев Александр Викторович*[1,3], кандидат технических наук, инженер-конструктор 1-й категории
Бочкарев Петр Юрьевич[2,4], доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технология машиностроения и прикладная механика» Камышинского института
[1]*Филиал ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» – «Производственное объединение «Корпус», Саратов (Россия)*
[2]*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград (Россия)*

***E-mail: alex121989@mail.ru**

[3]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0610-6060
[4]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0587-6338

Аннотация: В современных условиях потребность в изготовлении большого числа высокоточных приборов и машин возросла многократно. Именно поэтому проблема совершенствования изготовления подобных изделий приобретает первостепенное значение, так как к ним предъявляются постоянно ужесточающиеся требования. Существующие подходы к обеспечению качества и точности сборки не обладают достаточной степенью универсальности и не всегда могут быть реализованы при производстве высокоточной продукции. Для комплексного решения данной проблемы предложен комплексный подход – комплекс формализованных проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки. Однако для установления связи между конструкторской и технологической подготовкой многономенклатурного производства, перехода к оценке производственной технологичности изделий и более глубокой интеграции данной системы в структуру системы автоматизированного планирования технологических процессов необходим поиск путей совершенствования существующих подходов разработанной системы. В статье подробно рассмотрен укрупненный блок проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий, так как данный этап непосредственно связан с конструкторской подготовкой производства, а исходные данные, полученные в ходе его реализации, обеспечивают качество выбора рациональных технологических процессов изготовления деталей. Предложены методы совершенствования математического, методического и алгоритмического обеспечения реализации данного укрупненного блока. Внедрение предложенных решений позволит эффективно выполнять конструкторский размерный анализ высокоточной сборочной единицы в автоматизированном режиме и формировать множество требований к сборке, что, как следствие, позволит обеспечить развитие цифровизации конструкторской и технологической подготовки производства и переход к интеллектуальным производственным системам.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства; высокоточное изделие; структурный элемент; требование к сборке; размерный анализ; КРА; СТСТПМ.

Для цитирования: Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Совершенствование математического, методического и алгоритмического обеспечения реализации укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2020. № 4. С. 15–24. DOI: 10.18323/2073-5073-2020-4-15-24.

ВВЕДЕНИЕ

Сборочные операции являются финальными и наиболее ответственными этапами производственного цикла, от качества которых зависит правильная и надежная работа приборов и машин. Особенно это касается высокоточных изделий, к числу которых относится большинство приборов и машин военно-промышленного комплекса, ракетно-космической и авиационной промышленности, прецизионного станкостроения и т. д.

Понятие «высокоточные изделия» следует применять с учетом конкретной производственной ситуации, когда при сборке для значительной части узлов изделий не обеспечивается допуск замыкающего звена. Необходимо изготавливать дополнительные сборочные комплекты, увеличивается объем незавершенного производства.

В результате применения традиционных подходов к обеспечению точности и надежности изделий (например, селективной сборки, сборки методом неполной взаимозаменяемости и т. д.) возникает определенное несоответствие: либо завышенные, заведомо невыполнимые в условиях действующего производства требования и, как следствие, увеличение количества незавершенного производства, влекущее за собой увеличение себестоимости изделий, либо снижение требований в соответствии с возможностями производства [1–3]. Возможным решением указанной проблемы может быть

сквозное технологическое проектирование. Однако предлагаемые математические, методические и алгоритмические аппараты для формализации подобного решения не учитывают связь между технологической подготовкой механообрабатывающего и механосборочного производств [4; 5]. Следует отметить, что использование подобного метода не позволяет в должной мере реализовать учет связи конструкторской и технологической подготовки производства и показателей производственной технологичности изделий, несмотря на разработку значительного числа методик [6–8] оценки данных показателей.

Для решения выявленной проблемы учета связи между технологической подготовкой механообрабатывающего и механосборочного производств нами был разработан и реализован в производственных условиях комплексный подход (комплекс формализованных проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (принятая нами аббревиатура – СТСТПМ) [9; 10]. Структура данного комплекса представлена на рис. 1. Предложенная система позволяет выбирать в рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП) [11; 12] рациональные технологии изготовления деталей, что, в свою очередь, обеспечит уменьшение времени и трудоемкости сборки высокоточных изделий, снижение времени на технологическую подготовку производства и в итоге повышение качества и надежности выпускаемой продукции. Однако для дальнейшего развития результатов исследования требуется решить задачу обеспечения учета разработанной нами системой связи конструкторской и технологической подготовки производства и показателей производственной технологичности изделий.

В статье мы подробно рассмотрим вопрос совершенствования укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий СТСТПМ (включает в себя конструкторский размерный анализ (КРА) сборочного изделия и КРА деталей, задействованных в сборке), так как от правильности формирования множества требований к сборке, полученного на данном этапе, зависит качество выбора рациональных технологических процессов изготовления деталей, полученных на последующих этапах реализации системы.

Цель исследования – совершенствование методического, математического и алгоритмического обеспечения укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий для эффективного выполнения конструкторского размерного анализа высокоточной сборочной единицы в автоматизированном режиме и выбора рациональных технологических процессов изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства многономенклатурных машиностроительных комплексов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

КРА заключается в построении графов размерного анализа сборочных единиц (графов сопряжений) $G_C=(B_C,C_C)$ и графов размерного анализа деталей, входящих в данные сборочные единицы (графов размеров) $G_p^{j_1}=(B_P,C_P)$ ($j_1=1...n$ обозначает номер детали в сборке). Для реализации предложенного укрупненного блока были выбраны и доработаны математические модели – прототипы [10; 13–15].

На первом этапе необходимо выявить выходные геометрические параметры высокоточного изделия или сборочных единиц – замыкающие звенья (требования к сборке), допуск которых более жесткий по сравнению с точностью размеров комплектующих деталей, т. е. составляющих звеньев.

Требования к точности, которым должны удовлетворять сборочные единицы (изделия), представлены на рис. 2.

Процедура анализа высокоточного изделия и требований к его сборке включает в себя следующие этапы:

1) разбиение высокоточного изделия или сборочной единицы на структурные элементы;

2) определение всех возможных плоскостей для проведения конструкторского размерного анализа;

3) определение всех возможных выходных геометрических параметров – замыкающих звеньев, а также необходимых для расчета размеров комплектующих деталей – составляющих звеньев, принадлежащих данным плоскостям (генерация);

4) выявление тех требований к сборке, которые не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости (отсев).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для корректного разбиения высокоточного узла на структурные элементы с последующим определением всех возможных плоскостей для проведения КРА необходимо определить функциональное назначение узла (изделия), а также сборочных единиц и деталей, входящих в него.

Деталь, согласно ГОСТ 2.101-2016 (Единая система конструкторской документации. Виды изделий), – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, например, валик из одного куска металла, литой корпус и т. д.

Сборочная единица, согласно ГОСТ 2.101-2016 (Единая система конструкторской документации. Виды изделий), – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, запрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшиванием, укладкой и т. п. Узел – крупная сборочная единица, имеющая вполне определенное функциональное назначение.

Для корректного определения функционального назначения изделия, узла или сборочной единицы необходимо выделить в нем (ней) детали, которые будут определять функциональное назначение изделия, узла или сборочной единицы. Именно к данным деталям и к сопряжениям данных деталей будет предъявляться большая часть требований к сборке (выходных параметров). Назовем такие детали деталями-маркерами. Условно разделим все детали в изделии на две группы:

– детали для передачи движения;

– соединительные детали.

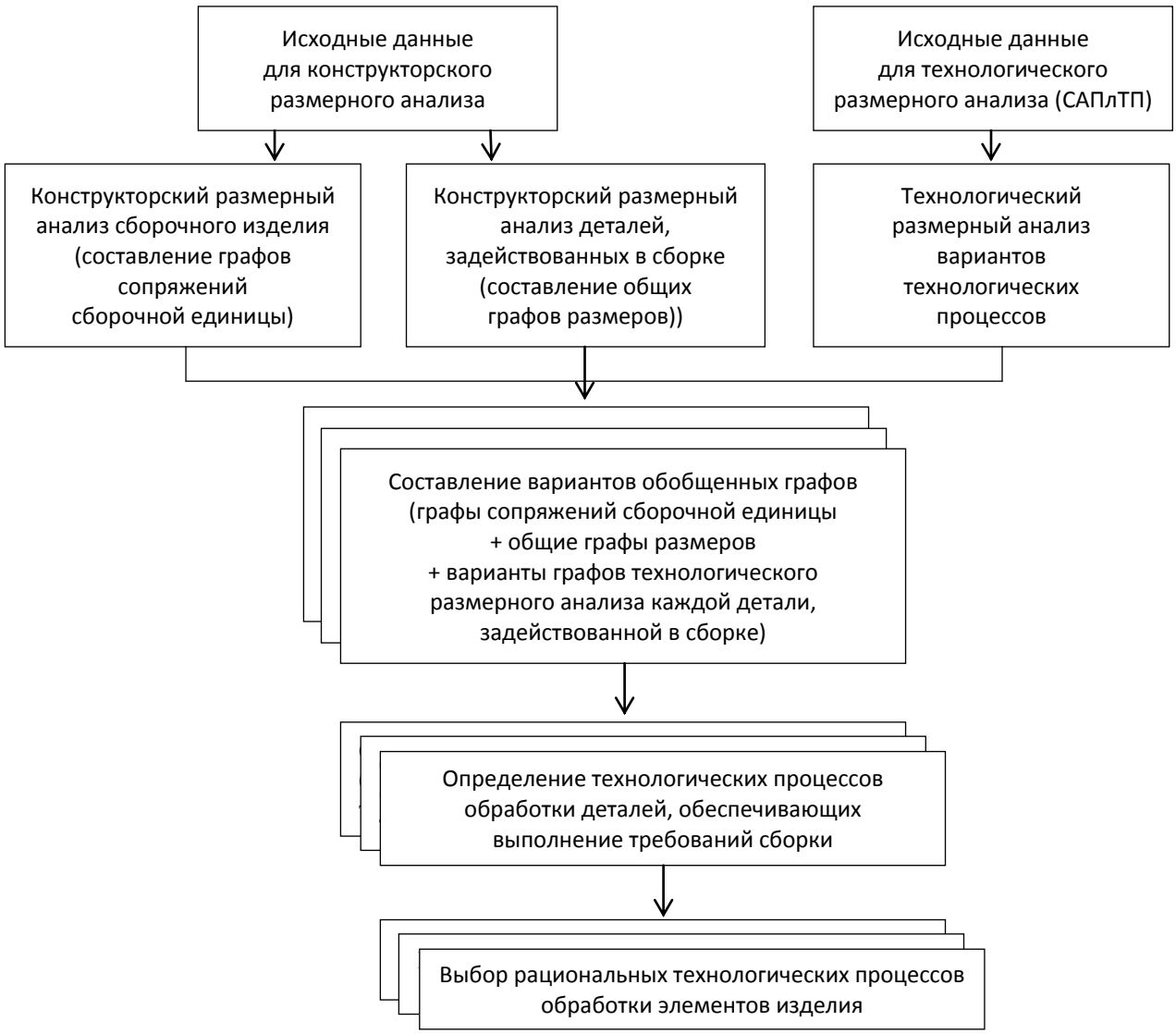

Рис. 1. *Структура системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки в общем виде*
Fig. 1. *The structure of the system for accounting of the requirements to the high-precision products assembly when designing the manufacturing methods of machining, in a short form*

Рассмотрим классификацию деталей по характеру передаваемого ими движения. Но для начала определим, какие виды передачи движения существуют. Виды передач движения представлены на рис. 3.

Детали машин классифицируют на типовые группы по характеру их использования [16–18].

Передачи передают движение от источника к потребителю (передачи с гибкой связью, ременные, цепные, передачи зацеплением – зубчатые, планетарные, червячные, фрикционные и т. д.). В основном используются для преобразования движения, а также при передаче прямолинейного, возвратно-поступательного движения или движения по определенной траектории.

Валы и оси несут на себе вращающиеся детали передач. Передают только вращательное движение.

Опоры служат для установки валов и осей. Являются соединительными деталями для деталей, передающих вращение.

Муфты соединяют между собой валы и передают вращающий момент. Передают только вращательное движение.

Соединения соединяют детали между собой (сварные, резьбовые, заклепочные, соединение «вал-ступица», шпоночные, шлицевые, натяг, профильные и т. д.).

Упругие элементы смягчают вибрацию и удары, накапливают энергию, обеспечивают постоянное сжатие деталей (пружины, амортизаторы и т. д.). Являются соединительными деталями для деталей, передающих прямолинейное или возвратно-поступательное движение.

Корпусные детали организуют внутри себя пространство для размещения всех остальных деталей, обеспечивают их защиту.

По результатам анализа можно сделать следующие выводы:

1. Самым широко применяемым типом механических передач являются вращательные.

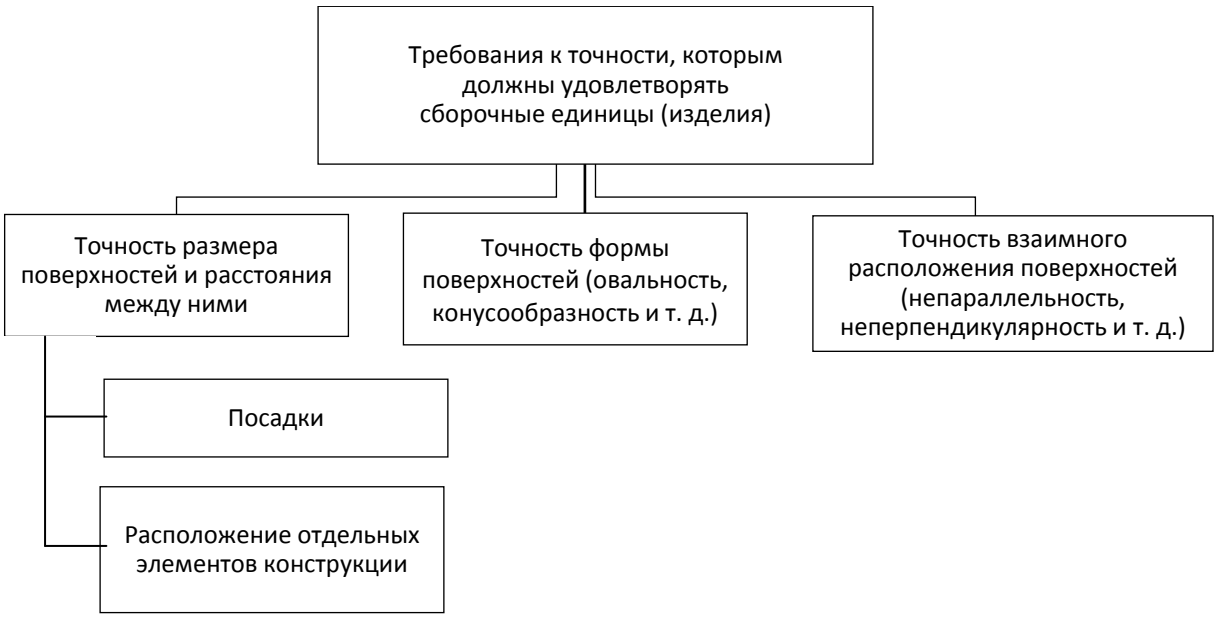

Рис. 2. *Требования к точности, которым должны удовлетворять сборочные единицы (изделия)*
Fig. 2. *The requirements to the accuracy the assembly units (goods) should meet*

Рис. 3. *Виды передач движения*
Fig. 3. *The driving types*

2. В качестве деталей-маркеров целесообразно использовать детали для передачи движения, так как они дают наиболее четкое представление о функциональном назначении изделия (узла, сборочной единицы).

Далее необходимо определить, какие поверхности характерны для деталей различных типовых групп.

При установлении требований к точности деталей целесообразно применять подходы, представленные на рис. 4 [19; 20].

Поверхности по предъявляемым к ним требованиям можно разделить на четыре группы. При переходе к поверхности под большим номером требования к точности снижаются, и допуски могут быть расширены.

1. Самые ответственные решения необходимы при назначении допусков, которые определяют технический уровень и работоспособность машины, в состав которой входит проектируемая деталь.

2. Высокие требования должны быть предъявлены к поверхностям, от которых зависит работоспособность механизма, в которую входит деталь.

3. Требования к поверхностям, определяющим расположение детали в механизме, должны быть ниже предыдущих двух.

4. Ужесточение технических требований к прочим поверхностям приводит к неоправданным расходам.

По форме сопрягаемых поверхностей соединения подразделяются на [16; 18]:

– плоские (сопрягаемые поверхности составных частей изделия имеют форму плоскости);

– цилиндрические (сопрягаемые поверхности составных частей изделия имеют форму цилиндра);

– конические (сопрягаемые поверхности составных частей изделия имеют форму конуса);

– сферические (сопрягаемые поверхности составных частей изделия имеют форму сферы);

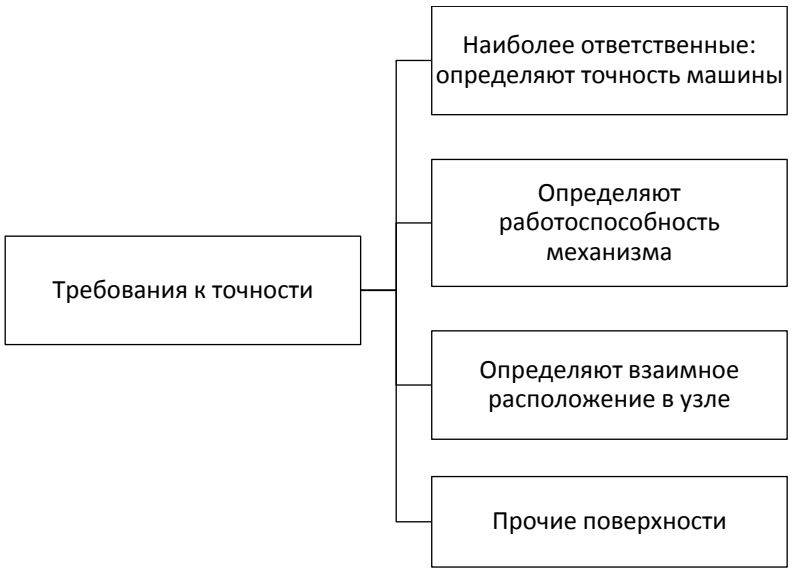

Рис. 4. *Подходы, используемые при назначении требований к точности деталей*
Fig. 4. *The approaches used when specifying the requirements for the parts' accuracy*

– винтовые (сопрягаемые поверхности составных частей изделия являются винтовыми);

– профильные (сопрягаемые поверхности составных частей изделия имеют форму определенного профиля).

Следовательно, сопрягаемые детали будут обладать соответствующими поверхностями.

На основе вышеизложенного можно уточнить классификацию структурных элементов [10], на которые необходимо разбить изделие или узел для определения необходимых плоскостей КРА (рис. 5).

После определения всех возможных структурных элементов и всех возможных плоскостей для проведения КРА необходимо провести анализ полученных плоскостей и исключить дублирующие (при их наличии). Далее определяются все возможные требования к сборке и выявляются те цепи, которые не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости.

Существующие методы достижения точности при сборке (точности замыкающего звена) представлены на рис. 6.

Для выявления требований к сборке, не удовлетворяющих методам полной взаимозаменяемости; необходимо сформировать множество требований к сборке сборочной единицы (изделия) $M_{Т.С.}$:

$$M_{T.C.} = \{M_{П.В.}, M_{Н.В.}, M_{Г.В.}, M_{И.П.}, M_{Р.Е.}\},$$

где $M_{П.В.}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом полной взаимозаменяемости;
$M_{Н.В.}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом неполной взаимозаменяемости;
$M_{Г.В.}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом групповой взаимозаменяемости;
$M_{И.П.}$ – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом индивидуальной пригонки;
M_{PE} – подмножество требований к сборке, обеспечиваемое методом регулирования.

Полученные требования сборки необходимо распределить на пять подмножеств, соответствующих методам достижения точности (рис. 6).

Для корректного расчета замыкающих и составляющих звеньев требований к сборке, входящих в данное множество, необходимо ввести определенную индексацию размеров, допусков форм и расположения:

$$Б^{i,j}_{k_1,l},$$

где $Б$ – требования к сборке (замыкающие звенья);
индекс i – порядковый номер требования ($i=1…n_1$);
индекс j – номер плоскости, к которой принадлежит данное требование ($j=1…n_2$);
индекс k – порядковый номер изделия ($k=1…n_3$);
индекс l – порядковый номер сборочной единицы или структурного элемента ($l=0…n_4$). Если в качестве сборочной единицы или структурного элемента выступает само изделие, то индекс $l=0$, для сборочных единиц или структурных элементов, входящих в данное изделие, применяется индекс $l=1…n_4$.

$$A^{i_1,j}_{k_1,m},$$

где A – составляющие звенья конструкторской размерной цепи;
индекс i_1 – порядковый номер составляющего звена ($i_1=1…n_5$);
индекс k_1 – номер детали ($k_1=1…n_6$);
m – порядковый номер размера в детали ($m=1…n_6$).

Тогда формулы для расчета требований к сборке с учетом предложенной индексации в общем виде будут выглядеть следующим образом:

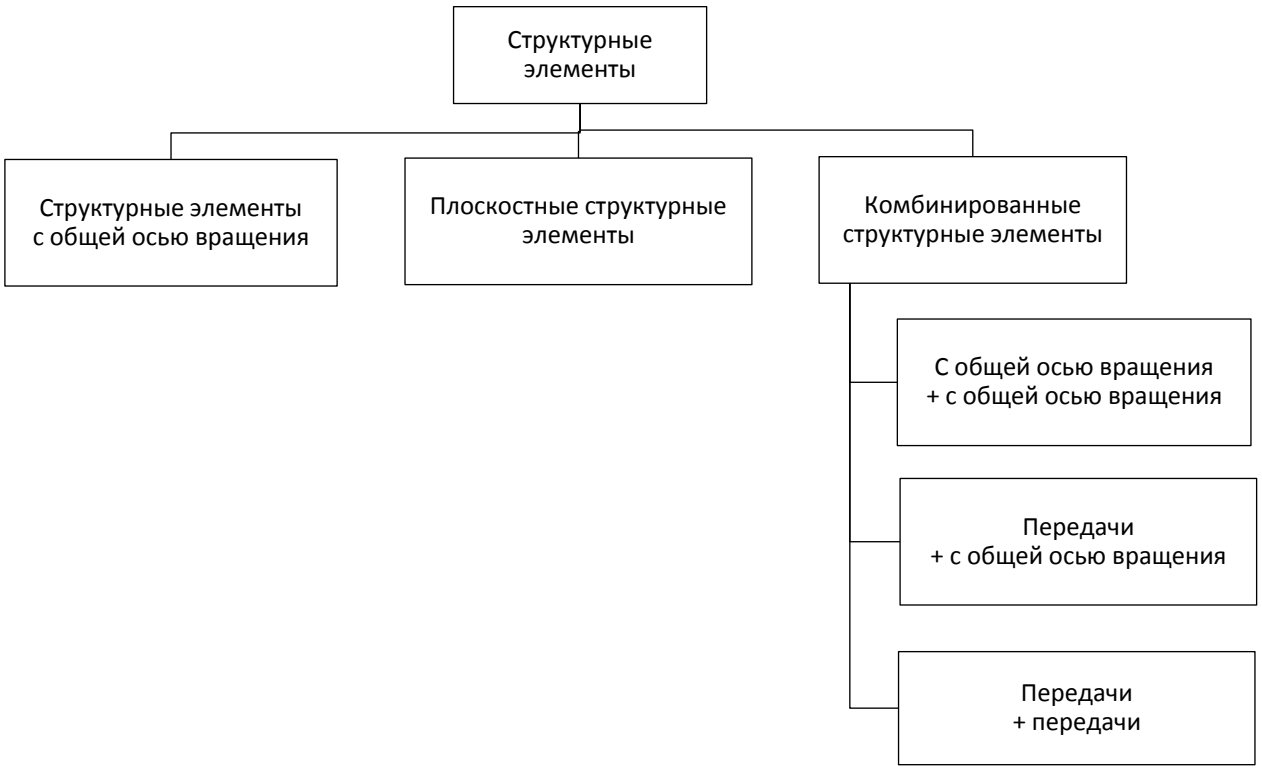

Рис. 5. *Классификация структурных элементов по функциональному назначению*
Fig. 5. *Structural elements classification according to functional purpose*

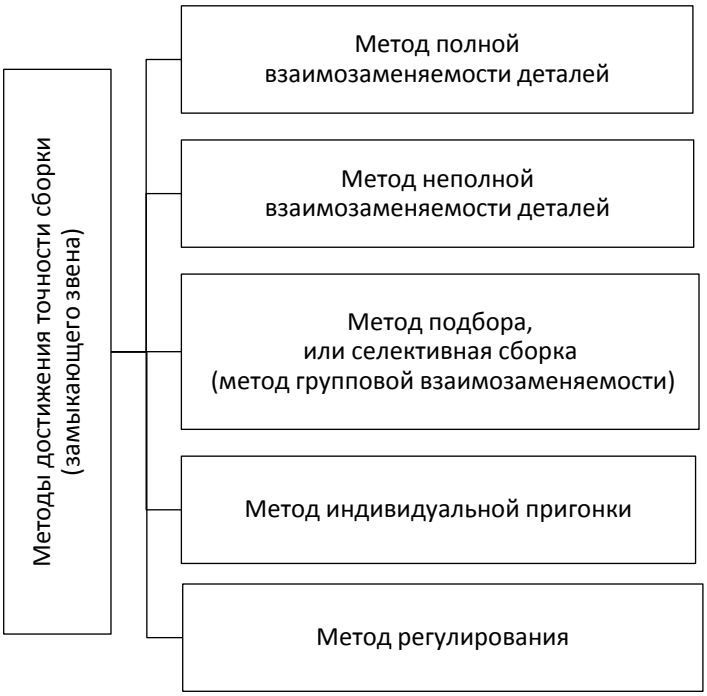

Рис. 6. *Методы достижения точности при сборке*
Fig. 6. *Methods to achieve accuracy when assembling*

$$\begin{cases} Б_{k_1,l}^{i,j} = \sum_{i=1}^{n_7} \overrightarrow{A_{k_1,m}^{i_1,j}} - \sum_{i=n_7-1}^{n_7-n_8} \overleftarrow{A_{k_1,m}^{i_1,j}} \\ TБ_{k_1,l}^{i,j} = \sum_{i=1}^{n_9} TA_{k_1,m}^{i_1,j} \end{cases};$$

$$\begin{cases} A_{k_1,m}^{i_1,j} = \sum_{i=1}^{n_{10}} \overrightarrow{A_{k_1,m}} - \sum_{i=n_{10}-1}^{n_{10}-n_{11}} \overleftarrow{A_{k_1,m}} \\ TA_{k_1,m}^{i_1,j} = \sum_{i=1}^{n_{12}} TA_{k_1,m} \end{cases},$$

где знаками →, ← соответственно обозначены увеличивающие и уменьшающие составляющие звенья размерной цепи;

n_7 и n_{10} – число увеличивающих звеньев при расчете требований сборки и составляющих звеньев соответственно;

n_8 и n_{11} – число уменьшающих звеньев при расчете требований сборки и составляющих звеньев соответственно;

T – допуск на соответствующий размер.

Требования сборки, которые полностью соответствуют условию

$$TБ_{k_1,l}^{i,j} = \sum_{i=1}^{n_9} TA_{k_1,m}^{i_1,j},$$

обеспечиваются методом полной взаимозаменяемости и в дальнейшем рассматриваться не будут.

Требования, отвечающие следующему условию:

$$TБ_{k_1,l}^{i,j} < \sum_{i=1}^{n_9} TA_{k_1,m}^{i_1,j},$$

не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости.

На рис. 7 представлены отдельные требования к сборке высокоточного изделия «Гиромотор».

Для распределения элементов множества требований сборки $M_{T.C}$ на пять групп предлагается система критериев:

– объем выпуска изделий (тип производства);
– характер распределения размеров;
– количество звеньев размерной цепи;
– точность замыкающего звена;
– характер компенсирующего звена.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Практика применения СТСТПМ в условиях действующей многономенклатурной производственной системы показала, что полученные рациональные варианты технологических процессов изготовления деталей обеспечивают сокращение времени последующей сборки высокоточных изделий на 26 % за счет снижения коли-

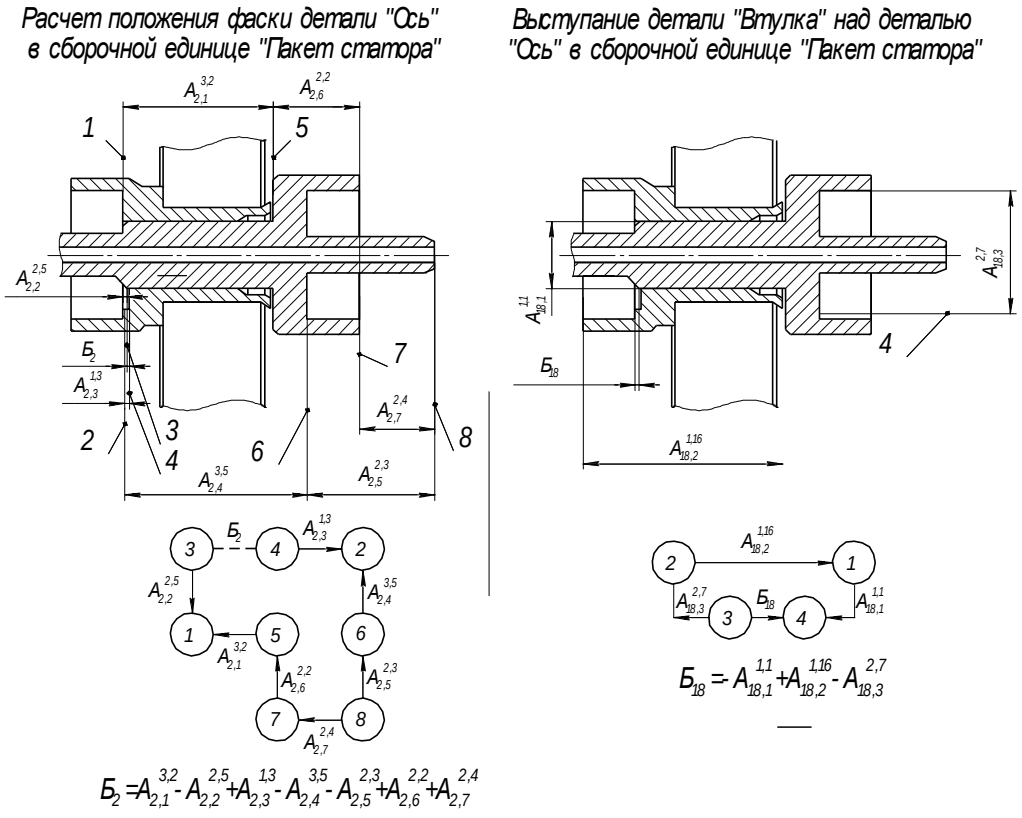

Рис. 7. *Отдельные требования к сборке высокоточного изделия «Гиромотор»*
Fig. 7. *Individual requirements for the assembly of the Giromotor high-precise product*

чества итераций сборки. Количество некомплектных деталей (незавершенное производство) в среднем снизилось на 5,5 % [10]. Предложенные решения позволяют повысить качество выбора рациональных технологий на этапе реализации третьего укрупненного блока проектных процедур. Проведенный оценочный расчет эффективности разработанных методик показал возможность дополнительного сокращения времени сборки до 32–35 % и снижения количества незавершенного производства на 7–9 %.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Представлено совершенствование математического, методического и алгоритмического обеспечения укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ). Внедрение предложенных решений позволит эффективнее выполнять конструкторский размерный анализ высокоточной сборочной единицы в автоматизированном режиме и в дальнейшем выбирать в рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов рациональные технологические процессы изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства для многономенклатурных машиностроительных комплексов. Кроме того, модернизация данного этапа в СТСТПМ позволяет установить связь конструкторской и технологической подготовки производства и перейти к оценке производственной технологичности изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А.Г., Федонин О.Н., Петрешин Д.И. Фундаментальные основы обеспечения и повышения качества изделий машиностроения и авиакосмической техники // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 2. С. 4–10.
2. Lin P., Li M., Kong X., Chen J., Huang G.Q., Wang M. Synchronisation for Smart Factory – Towards IOT-enabled Mechanisms // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2018. Vol. 31. № 7. P. 624–635.
3. Польский Е.А. Сорокин С.В. Технологическое обеспечение надежности деталей узлов трения наукоемких сборочных единиц // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 4. С. 19–26.
4. Чигиринский Ю.Л. Математические методы в технологическом проектировании // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2018. № 4. С. 13–20.
5. Li X., Zhang S., Huang R., Huang B., Xu C., Zhang Y. A Survey of Knowledge Representation Methods and Applications in Machining Process Planning // International journal of advanced manufacturing technology. 2018. Vol. 98. № 9-12. P. 3041–3059.
6. Базров Б.М., Троицкий А.А. Преобразование коэффициентов технологичности при их групповом влиянии на трудоёмкость изготовления изделия // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2020. № 11. С. 8–15.
7. Вартанов М.В., Чушенков И.И. Методология оценки технологичности изделий машиностроения // Станкоинструмент. 2019. № 2. С. 14–23.
8. Turner C.J., Emmanouilidis C., Tomiyama T., Tiwari A., Roy R. Intelligent Decision Support for Maintenance: an Overview and Future Trends // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2019. Vol. 32. № 10. P. 936–959.
9. Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Технологическое обеспечение изготовления высокоточных сборочных узлов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2017. № 3. С. 84–89.
10. Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Алгоритмическое обеспечение реализации комплекса проектных процедур системы учета требований к сборке при проектировании технологических процессов механической обработки // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2020. № 12. С. 34–42.
11. Иванов А.А., Бочкарев П.Ю. Формализация описания и метода поиска оптимальной реализации технологических процессов механообработки в системе планирования технологических процессов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2015. Т. 3. № 1. С. 76–85.
12. Разманов И.А., Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Формирование методики ранжирования проектных процедур в системе планирования многономенклатурных технологических процессов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2019. № 1. С. 58–63.
13. Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Анализ и расчет размерных цепей на основе графов размерных связей // Вестник Инженерной школы Дальневосточного Федерального университета. 2015. № 4. С. 29–35.
14. Гречников Ф.В., Тлустенко С.Ф. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (Национального исследовательского университета). 2011. № 3-4. С. 38–43.
15. Chakraborty S., Chowdhury R. Graph-theoretic-approach-assisted Gaussian Process for Nonlinear Stochastic Dynamic Analysis Under Generalized Loading // Journal of Engineering Mechanics. 2019. Vol. 145. № 12. Article number 04019105.
16. Агафонова Е.Н., Захаров О.В. Классификация деталей машин с позиции их измерения // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 2. С. 12–16.
17. Гаер М.А., Шабалин А.В. Геометрическая классификация деталей при анализе сборок с пространственными допусками // Известия МГТУ МАМИ. 2008. № 2. С. 355–361.
18. Гаер М.А., Кузьмина Е.Ю. Конфигурационные многообразия квадратичных форм поверхностей деталей и сборок // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2. С. 49–66.
19. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2005. 736 с.
20. Суслов А.Г. Технология машиностроения. М.: Кнорус, 2013. 336 с.

REFERENCES

1. Suslov A.G., Fedonin O.N., Petreshin D.I. Basic fundamentals to ensure and increase quality of mechanical engineering and aerospace products. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 2, pp. 4–10.
2. Lin P., Li M., Kong X., Chen J., Huang G.Q., Wang M. Synchronisation for Smart Factory – Towards IOT-enabled Mechanisms. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2018, vol. 31, no. 7, pp. 624–635.
3. Polskiy E.A., Sorokin S.V. Reliability technological support of friction unit parts of science intensive assembly units. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 4, pp. 19–26.
4. Chigirinskiy Yu.L. Mathematical methods in technological design. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2018, no. 4, pp. 13–20.
5. Li X., Zhang S., Huang R., Huang B., Xu C., Zhang Y. A Survey of Knowledge Representation Methods and Applications in Machining Process Planning. *International journal of advanced manufacturing technology*, 2018, vol. 98, no. 9-12, pp. 3041–3059.
6. Bazrov B.M., Troitskiy A.A. Transformation of manufacturability factors at their group impact upon complexity of product manufacturing. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2020, no. 11, pp. 8–15.
7. Vartanov M.V., Chushenkov I.I. Methodology for evaluating the manufacturability of engineering products. *Stankoinstrument*, 2019, no. 2, pp. 14–23.
8. Turner C.J., Emmanouilidis C., Tomiyama T., Tiwari A., Roy R. Intelligent Decision Support for Maintenance: an Overview and Future Trends. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2019, vol. 32, no. 10, pp. 936–959.
9. Nazarev A.V., Bochkarev P.Yu. Engineering support of production of high-accuracy component assemblies. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 3, pp. 84–89.
10. Nazarev A.V., Bochkarev P.Yu. Algorithmic implementation of the complex of design procedures of the system of accounting requirements for assembly in design of manufacturing methods of mechanical processing. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem*, 2020, no. 12, pp. 34–42.
11. Ivanov A.A., Bochkarev P.Yu. Formalizing the description and methods for optimization of mechanical treatment technologies within the system of planning technological processes. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 76–85.
12. Razmanov I.A., Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. The formation of project procedures ranking technique in the system of planning of multiproduct engineering processes. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, no. 1, pp. 58–63.
13. Lelyukhin V.E., Kolesnikova O.V. Analysis and calculation of dimensional chains based on dimensional bond graphs. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dalnevostochnogo Federalnogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 29–35.
14. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Design build process for the accuracy of eligibility. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. Akademika S.P. Koroleva (Natsionalnogo issledovatelskogo universiteta)*, 2011, no. 3-4, pp. 38–43.
15. Chakraborty S., Chowdhury R. Graph-theoretic-approach-assisted Gaussian Process for Nonlinear Stochastic Dynamic Analysis Under Generalized Loading. *Journal of Engineering Mechanics*, 2019, vol. 145, no. 12, article number 04019105.
16. Agafonova E.N., Zakharov O.V. Classification of machine parts from position measurements. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii*, 2018, no. 2, pp. 12–16.
17. Gaer M.A., Shabalin A.V. Geometrical divisibility of parts in analysis of assemblies with spatial tolerances. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2008, no. 2, pp. 355–361.
18. Gaer M.A., Kuzmina E.Yu. Configuration varieties of square forms of surfaces details and assemblies. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*, 2019, no. 2, pp. 49–66.
19. Bazrov B.M. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Fundamentals of Mechanical Engineering Technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 736 p.
20. Suslov A.G. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Engineering technology]. Moscow, Knorus Publ., 2013. 336 p.

Improving mathematical, methodological, and algorithmic support of implementation of an enlarged block of design procedures for the analysis of requirements to the highly precise products assembly

© 2020

Aleksandr V. Nazaryev[1,3], PhD (Engineering), 1st category design engineer
Petr Yu. Bochkarev[2,4], Doctor of Sciences (Engineering), Professor,
professor of Chair "Mechanical Engineering Technology and Applied Mechanics" of Kamyshin Technological Institute
[1]*Branch of the FSUE "Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making" – "Industrial Association "Korpus", Saratov (Russia)*
[2]*Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia)*

***E-mail: alex121989@mail.ru**

[3]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0610-6060
[4]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0587-6338

Abstract: In current conditions, the necessity to produce many high-precision tooling and machines has increased many times over. That is why the improvement of such products manufacture becomes of paramount importance due to

the increasing requirements imposed on them. The existing approaches to ensuring the quality and accuracy of high-precision products are not universal and not always can be implemented when producing high-precision goods. For a comprehensive solution to this problem, the authors proposed using an integrated approach – the complex of formalized design procedures of the system for accounting of the requirements to the high-precision products assembly when designing the manufacturing methods of machining. However, for the establishment of relations between the process design and designing preproduction of multi-product manufacture, the transition to the assessment of the production manufacturability of goods and deeper integration of this system into the structure of the system of automated sequencing of manufacturing methods, it is necessary to search for ways to improve the existing approaches of the developed system. The paper considered in detail the enlarged block of design procedures for the analysis of requirements to the assembly of high-precision products, since this stage is directly related to the designing preproduction, and the initial data obtained in the course of its implementation ensure the quality of choice of rational manufacturing methods of machining of parts. The authors propose the techniques to improve mathematical, methodological, and algorithmic support of this enlarged block implementation. The introduction of the proposed solutions will allow performing effectively the design dimensional analysis of a high-precision assembly unit in an automated mode and forming a set of assembly requirements, which, as a result, will allow ensuring the expansion of digitalization of the process design and designing preproduction and the transition to intelligent production systems.

Keywords: process design; highly precise product; structural element; requirement to the assembly; dimensional analysis; DDA (design dimensional analysis); system for accounting of the requirements to the high-precision products assembly when designing the manufacturing methods of machining.

For citation: Nazaryev A.V., Bochkarev P.Yu. Improving mathematical, methodological, and algorithmic support of implementation of an enlarged block of design procedures for the analysis of requirements to the highly precise products assembly. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, no. 4, pp. 15–24. DOI: 10.18323/2073-5073-2020-4-15-24.