

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2022. №10 (136). С. 42-48.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2022. №10 (136). P. 42-48.

Научная статья
УДК 621.9
doi:10.30987/2223-4608-2022-10-42-48

Формализация стратегии выявления критичных требований к сборке при проведении технологической подготовки многономенклатурных машиностроительных производств

Александр Викторович Назарьев¹, к.т.н.,
Петр Юрьевич Бочкарев², д.т.н.,
Сергей Геннадьевич Митин³, д.т.н.

¹Филиал НПЦ автоматики и приборостроения им. академика Н.А. Пилюгина –
ПО «Корпус», г. Саратов, Россия

²Камышинский технологический институт –
филиал Волгоградского государственного технического университета, г. Камышин, Россия

²Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

³Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

¹alex121989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0610-6060>

²bpy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>

³ser_gen@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6709-0424>

Аннотация. Рассмотрено совершенствование методического аппарата реализации комбинированной стратегии выявления критичных требований к сборке высокоточных приборов и машин. Предложенные подходы позволяют эффективно проводить разбиение изделия на структурные элементы и обеспечивают возможность формализации проведения конструкторского размерного анализа в автоматизированном режиме.

Ключевые слова: высокоточное изделие, сборка, конструкторский размерный анализ, технологическая подготовка производства, базовая деталь, базовая сборочная единица

Для цитирования: Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю., Митин С.Г. Формализация стратегии выявления критичных требований к сборке при проведении технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – №10 (136). – С. 42-48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-10-42-48.

Original article

Formal characterization of the strategy for identifying critical assembly requirements when staging multipart machinery productions

Alexandr.V. Nazaryev¹, Can. Sc. Tech.,
Petr. YU. Bochkarev², Dr. Sc.Tech.,
Sergey G. Mitin³, Dr. Sc.Tech.

¹Branch of Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making - Industrial Association «Korpus», Saratov, Russia

²Kamyshin Technological Institute - branch of Volgograd State Technical University, Kamyshin, Volgograd region, Russia

²Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

³Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

¹alex121989@mail.ru, ²bpy@mail.ru, ³ser_gen@inbox.ru

Abstract. The development of methodological materials for the implementation of a combined strategy when identifying critical requirements for assembly of precision instruments and tools, is viewed. The proposed approaches make effective quantization of product into structural elements possible, and arrange for formalizing the design dimensional analysis in an automated mode.

Keywords: exacting product, assembly, design dimensional analysis, staging, basic component, base assembly unit

For citation: Nazaryev A.V., Bochkarev P.Yu., Mitin S.G. Formal characterization of the strategy for identifying critical assembly requirements when staging multipart machinery productions. / Science intensive technologies in Mechanical Engineering, 2022, no. 10 (136), pp. 42-48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-10-42-48.

Проведенный анализ источников, специализирующихся на автоматизации технологических процессов и исследовании возможностей современных систем автоматизированного проектирования в условиях многономенклатурного производства [1 – 3], показал недостатки существующих систем, главным из которых являются отсутствие связи между системами проектирования и реализации технологического процесса, отсутствие формализованного описания проектных процедур, связанных с решением сложных задач по формированию комплектов технологической оснастки и формированию структур технологических операций. Особенно остро данная проблема проявляется при изготовлении высокоточных приборов и машин, т.к. точность выходных параметров подобных изделий – замыкающих звеньев (требований к сборке) значительно превышает точность размеров комплектующих деталей, т.е. составляющих звеньев.

Для решения данной проблемы был предложен комплексный подход (комплекс формализованных проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ)) [4]. Однако в связи с необходимостью установления взаимосвязи между конструкторской и технологической подготовкой многономенклатурного производства, а также для перехода к оценке производственной технологичности изделий [5] и более глубокой интеграции данной системы в структуру системы автоматизированного планирования технологических процессов [6] необходим поиск путей совершенствования существующих подходов разработанной системы.

Целью данного исследования является разработка методического аппарата для формализации укрупненного блока проектных процедур проведения конструкторского размерного анализа СТСТПМ.

Методы исследования

Процедура анализа высокоточного изделия и требований к его сборке включает в себя сле-

дующие этапы [7]:

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

Для выявления критичных (особо ответственных) требований к сборке изделия была предложена комбинированная стратегия [8], иерархическая структура которой в общем виде представлена на рис. 1.

На первом этапе реализации предложенной стратегии устанавливается взаимосвязь критичных требований к сборке исходного изделия и критичных требований к сборке составных структурных элементов. На втором этапе осуществляется анализ критичных требований к сборке остальных структурных элементов.

В качестве преимуществ данной стратегии можно выделить следующие: учитывается взаимосвязь критичных требований к сборке исходного изделия и критичных требований к сборке составных структурных элементов; учитываются критичные требования к сборке как самого исходного изделия, так и всех составных структурных элементов данного изделия.

К недостатку данной стратегии можно отнести потенциально высокую сложность разработки и реализации математического, методического и алгоритмического обеспечения. Однако разработанная стратегия является наиболее рациональной, т.к. позволяет выявить максимальное количество критичных (особо ответственных) требований к сборке на всех этапах разбиения высокоточного изделия на структурные элементы и, как следствие, позволяет эффективнее проводить конструкторский размерный анализ.

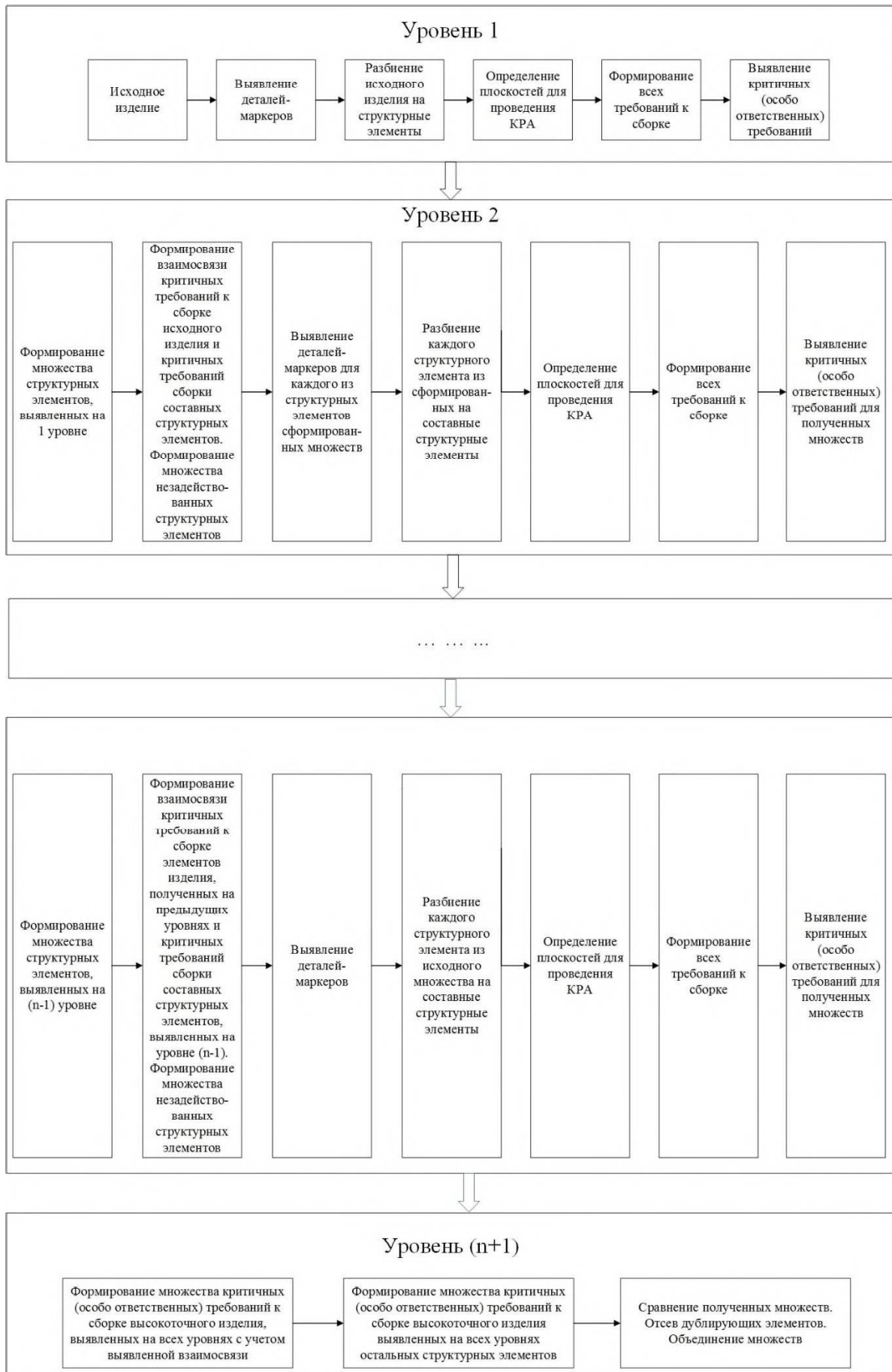


Рис. 1. Иерархическая структура процесса выявления критичных (особо ответственных) требований к сборке высокоточных изделий для комбинированной стратегии в общем виде

На первом этапе реализации предложенной стратегии устанавливается взаимосвязь критичных требований к сборке исходного изделия и критичных требований к сборке составных структурных элементов. На втором этапе осуществляется анализ критичных требований к сборке остальных структурных элементов.

В качестве преимуществ данной стратегии можно выделить следующие: учитывается взаимосвязь критичных требований к сборке исходного изделия и критичных требований к сборке составных структурных элементов; учитываются критичные требования к сборке как самого исходного изделия, так и всех составных структурных элементов данного изделия.

К недостатку данной стратегии можно отнести потенциально высокую сложность разработки и реализации математического, методического и алгоритмического обеспечения. Однако разработанная стратегия является наиболее рациональной, т.к. позволяет выявить максимальное количество критичных (особо ответственных) требований к сборке на всех этапах разбиения высокоточного изделия на структурные элементы и, как следствие, позволяет эффективнее проводить конструкторский размерный анализ.

Согласно представленной методике реализация укрупненного блока проектных процедур проведения конструкторского размерного анализа начинается с разбиения высокоточного изделия на структурные элементы. Классификация структурных элементов по функциональному назначению [9] приведена на рис. 2.

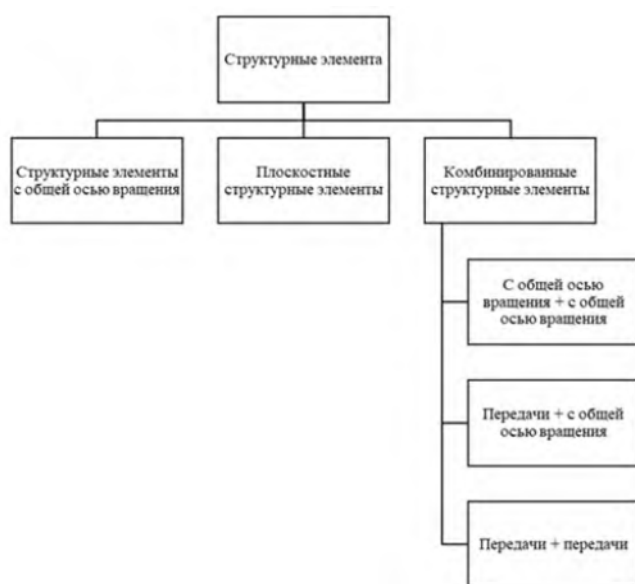


Рис. 2. Классификация структурных элементов по функциональному назначению

Результаты исследования

Для корректного определения функционального назначения и последующего разбиения на структурные элементы необходимо в изделии, узле или сборочной единице выделить детали-маркеры. К подобным деталям и к сопряжениям данных деталей будет предъявляться большая часть требований к сборке (выходных параметров).

Согласно требованиям [10], расчленение изделия на составные части начинается с выявления базовой детали или базовой сборочной единицы. Базовая деталь – деталь, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней сборочные единицы или другие детали. Базовая сборочная единица – сборочная единица, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней детали или другие сборочные единицы.

Исходя из этого можно сделать вывод, что базовая деталь (сборочная единица) будет во многом определять функциональное назначение изделия, а к ее сопряжению с другими деталями и сборками будет предъявляться большая часть требований. Таким образом любая базовая деталь (сборочная единица) является для изделия деталью-маркером.

Как видно из вышеприведенных определений, сборка изделия, узла или сборочной единицы будет начинаться с базовой сборочной единицы только в том случае, когда невозможно выделить одну базовую деталь. Примеры разбиений сборки, начинающихся с базовой детали и базовой сборочной единицы представлены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

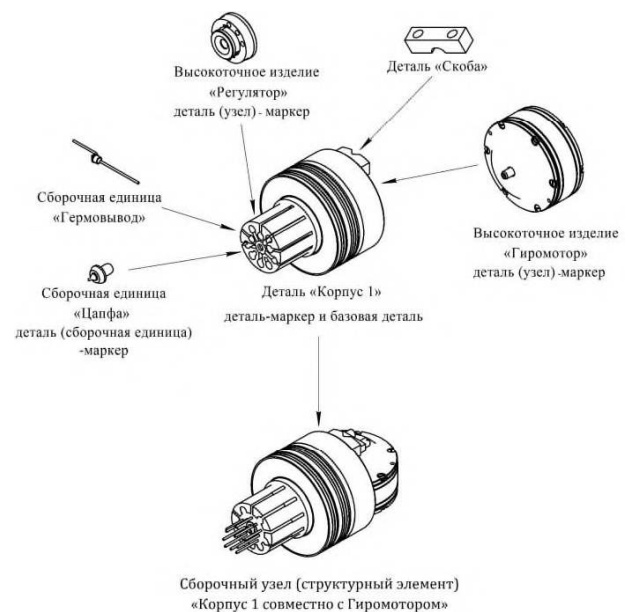


Рис. 3. Пример разбиения сборочного узла «Корпус 1 совместно с Гиромотором», начинающегося с базовой детали

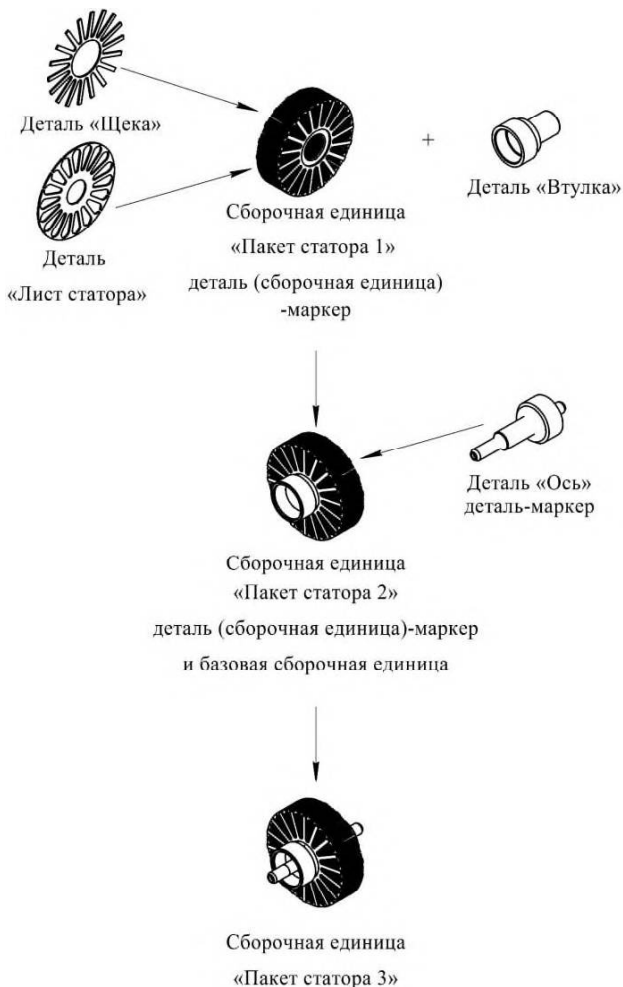


Рис. 4. Пример разбиения сборочной единицы «Пакет статора 3», начинающегося с базовой сборочной единицы

Разбиение изделия, узла, сборочной единицы позволяет выявить необходимые плоскости для проведения конструкторского размерного анализа и сформировать множество требований к сборке. Рассмотрим процесс выявления необходимых плоскостей на примере структурного элемента (сборочного узла) «Корпус 1 совместно с Гиромотором» (см. рис. 3). Данный структурный элемент можно классифицировать как комбинированный структурный элемент, состоящий из двух структурных элементов с общей осью вращения, соединенных под углом 90°. Полученные плоскости для проведения конструкторского размерного анализа представлены на рис. 5.

Для формирования и расчета критичных требований к сборке была разработана индексация замыкающих и составляющих звеньев размерных цепей [7, 9]. Так, $B_{k,l}^{i,j}$ расшифровывается следующим образом: B – требования к

сборке (замыкающие звенья); i – порядковый номер требования ($i = 1 \dots n_1$); j – номер плоскости, к которой принадлежит данное требование ($j = 1 \dots n_2$); k – порядковый номер изделия ($k = 1 \dots n_3$); l – порядковый номер сборочной единицы или структурного элемента ($l = 0 \dots n_4$). расшифровывается как: A – составляющие звенья конструкторской размерной цепи; i_1 – порядковый номер составляющего звена ($i_1 = 1 \dots n_5$); k_k – номер детали ($k_k = 0 \dots n_6$); m – порядковый номер размера в детали ($m = 1 \dots n_6$).

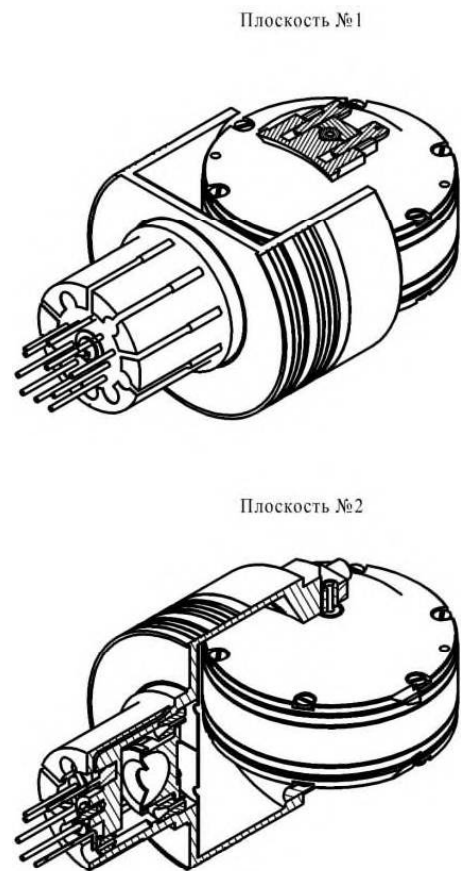


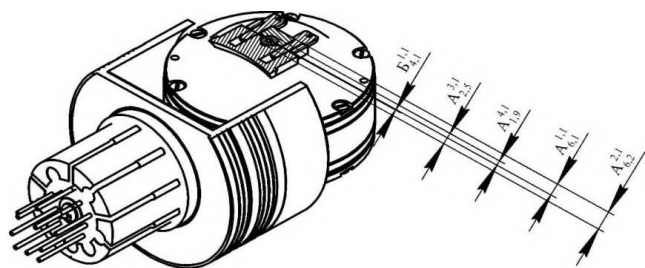
Рис. 5. Плоскости для проведения конструкторского размерного анализа структурного элемента (сборочного узла) «Корпус 1 совместно с Гиромотором»

Однако, исходя из представленных принципов расчленения изделия, следует сделать уточнение: индекс k_1 для базовой детали (сборочной единицы) всегда будет принимать значение $k_1 = 1$.

Из сформированного множества требований к сборке необходимо выявить те, которые удовлетворяют следующему условию:

$$T_{k_1,l}^{i,j} < \sum_{i=1}^{n_5} T A_{k_1,m}^{i_1,j} \quad (1)$$

Таким образом, выявлены требования, которые не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости. Для рассматриваемого структурного элемента в плоскости №1 выявлено одно требование к сборке, которое не может быть обеспечено методом полной взаимозаменяемости – обеспечение зазора между деталями «Корпус 1» и «Скоба». Расчет указанного требования представлен на рис. 6 (в приведенном примере учитывается разработанная индексация).



$$B_{4,1}^{1,1} = -A_{6,1}^{1,1} + A_{2,5}^{3,1} + A_{1,9}^{4,1}$$

Рис. 6. Расчет критичного требования к сборке «Обеспечение зазора между деталями «Корпус 1» и «Скоба»

Заключение

В данной статье рассмотрено совершенствование методического аппарата реализации комбинированной стратегии выявления критичных требований к сборке высокоточных изделий. Внедрение предложенных подходов в структуру СТСТПМ позволит эффективно проводить разбиение изделия на структурные элементы и обеспечивает возможность формализации проведения конструкторского размерного анализа в автоматизированном режиме, что в свою очередь позволит выбирать в рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов рациональные технологии изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства многономенклатурных машиностроительных комплексов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Базров, Б.М. Модульная технология и её внедрение в механосборочное производство // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2014. – №7 (37). – С. 24-30.
2. Mikhalev, O.N., Yanyushkin, A.S. CAD/CAM-system module for the design of automatic production // Industry 4.0, 2020, Vol. 5, № 2, P. 59-62.
3. Суслов, А.Г., Дальский, А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение,

2002. – 684 с.

4. Назарьев, А.В., Бочкарев, П.Ю., Бокова, Л.Г. Комплексный подход для выполнения технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе учета особенностей сборки высокоточных изделий // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2019. – №3 (264). – С. 35-42.
5. Варганов, М.В., Чушенков, И.И. Методология оценки технологичности изделий машиностроения // Станкоинструмент. – 2019. – №2 (15). – С. 14-23.
6. Бочкарев, П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки // Технология машиностроения. – 2002. – № 1. – С. 10-14.
7. 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 (54). – С. 15-24.
8. Назарьев, А.В., Бочкарев, П.Ю. Формализация требований к сборке высокоточных изделий на этапах технологической подготовки многономенклатурных механосборочных систем // Механика XXI века. – 2021. – № 20. – С. 98-103.
9. Назарьев, А.В., Бочкарев, П.Ю. Формализация требований к высокоточным изделиям на этапах технологической подготовки механосборочных производств // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2020. – №12 (114). – С. 39-45.
10. ГОСТ 23887-79. Сборка. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 19 с.

REFERENCES

1. Bazrov B.M. Modular processing and its application in mechanical assembly production // Science Intensive.
2. Technologies in Mechanical Engineering, 2014, №7(37), PP. 24–30.
2. Mikhalev, O. N., Yanyushkin, A. S. CAD/CAM-system module for the design of automatic production // Industry 4.0., 2020, Vol. 5, №2, PP. 59–62.
3. Suslov, A.G., Dalsky, A.M. Scientific Fundamentals of Engineering Technique, M.: Mechanical Engineering, 2002, 684 p.
4. Nazaryev, A.V., Bochkaryov, P.Yu., Bokova, L.G. Complex approach to fulfillment of technological preparation of multi-range machining-processing production based on taking into account peculiarities of precision product assemblage // Reference Book. Engineering Journal with Appendix, 2019, №3 (264), PP. 35-42.
5. Vartanov, M.V., Chushenkov, I.I. Methodology for evaluating the manufacturability of engineering products // Stankoinstrument, 2019, №2 (15), PP. 14–23.
6. Bochkaryov, P.Yu. System presentation of planning for engineering processes of machining // Engineering Technique, 2002, №1, PP. 10-14.
7. Nazaryev, A.V., Bochkaryov, 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 // Science Vector of Togliatti State University, 2020, №4 (54), PP. 15–24.

8. Nazaryev, A.V., Bochkaryov, P.Yu. Formalization of requirements for assembly of high-precision products at stages of process design of multiproduct mechanical assembly systems // Mechanics of the XXI century, 2021, №20, PP. 98-103.

9. Nazaryev, A.V., Bochkaryov, P.Yu. Formalization of requirements to precision products at technological preparation stages of machine-assembly production // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering, 2020, №12 (114), P. 39–45.

10. GOST 23887-79. Assembling. Terms and definitions. – М.: Standards Publishing House, 1986. – 19 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.05.2022; одобрена после рецензирования 08.06.2022; принята к публикации 14.06.2022.

The article was submitted 27.05.2022; approved after reviewing 08.06.2022; accepted for publication 14.06.2022.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Вёрстка С.В. Морозов. Редактор Д.А. Петраченко. Технический редактор С.В. Морозов.

Сдано в набор 17.10.2022. Выход в свет 28.10.2022.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Брянский государственный технический университет» 241035,
Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16