

Д. П. КУНКЕВИЧ, Ю. В. ПОЛОЗКОВ, А. А. БАРЫШЕВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Белорусский национальный технический университет

Один из первых этапов конструирования – компоновка объекта проектирования – определение состава элементов и взаимосвязей между ними. Автоматизация принятия решений на данной стадии очень эффективна, поскольку позволяет выполнить программно целый комплекс достаточно трудоемких и рутинных процедур – вставка в проект деталей и узлов, установление сопряжений между ними, позиционирование и т. п. Однако генерирование и принятие конструкторских решений является сложной творческой задачей, плохо поддающейся формализации. В настоящее время разработан ряд подходов для узких классов объектов. Среди последних много различных видов технологической оснастки – штампов, литевых форм и т. п. К этой же категории относятся и приспособления для установки и закрепления деталей на технологических операциях – сборки, сварки, обработки резанием и др. Автоматизация структурного синтеза таких приспособлений рассматривается в данной работе. Предлагается способ идентификации проектной ситуации, основанный на положениях теории базирования и предусматривающий анализ геометрической модели объекта оснащения, конструктивные решения из типовых классов установочных элементов. Представлен вариант несущей системы. Предполагается, что данная методика может быть использована для разработки приложения на базе системы геометрического моделирования. Причем сделать это может сам проектировщик – пользователь такой системы без привлечения профессиональных программистов.

Ключевые слова: конструкторское проектирование, автоматизация проектирования, структурный синтез, теория базирования, приспособления технологические, корпус приспособления.

Введение

Конструкторское проектирование – это творческий процесс, который трудно формализовать [1]. Поэтому его автоматизацию можно отнести к наиболее интеллектуальным видам человеческой деятельности. Современные системы геометрического моделирования, такие, как КОМПАС 3D, SolidWorks, NX и т. п. позволяют создавать объемные модели деталей, «собирать» их в конструкции ассоциативными связями, выполнять различные виды инженерного анализа – предоставляют полный комплект средств для быстрой визуализации и оценки решений. Генерирует эти решения проектировщик.

Целесообразна ли здесь «компьютеризация»? В любой, даже самой творческой деятельности есть доля рутинности. Проектирование тоже включает много типовых задач. Можно выделить целые классы типизированных объектов. Технологическая оснастка – штампы, литевые формы, приспособления и т. п. – являясь адаптером между универсальным оборудо-

ванием и уникальным изделием, сочетает в себе типовые элементы и оригинальные, представляя, таким образом, интересный объект с точки зрения автоматизации структурного синтеза [2–5]. Высокая потребность в оснастке обуславливает коммерческую целесообразность этой автоматизации – одной из современных тенденций развития геометрических систем является разработка специализированных модулей проектирования именно оснастки, таких, как, например, модули Mold Wizard (проектирование пресс-форм для литья под давлением) и Progressive Die Wizard (штампы) в системе NX и др.

Штампы и литевые формы – формообразующая оснастка. Другой вид – позиционирующая – приспособления для установки-закрепления деталей на различных технологических операциях – обработки резанием, сборки, сварки и т. п. Они более разнообразны структурно. Универсальные САД-системы не предлагают соответствующих средств автоматизации. Однако есть средства разработки приложений

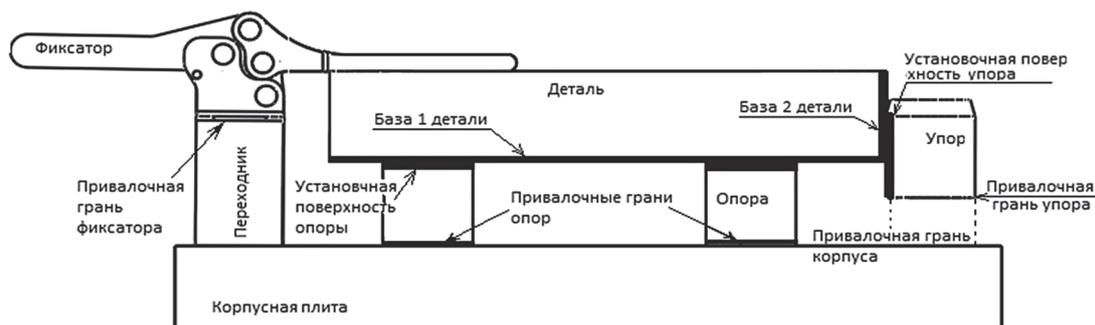


Рис. 1. Структурная схема проектируемого приспособления

(среда VBA, API), используя которые, проектировщик самостоятельно может сделать нужные средства. Материал статьи послужит этому теоретической основой.

Структура приспособления

Теория и практика «классического» проектирования приспособлений достаточно широко представлены в литературе [6]. Эти объекты сложны и разнообразны в общем случае. Тем не менее, можно выделить типовую структуру, которой соответствуют если даже и не большинство экземпляров, то, по крайней мере, значительное их количество.

Приспособление обеспечивает установку объекта «деталь» относительно других элементов технологической системы (рис. 1). Это достигается сопряжением баз с установочными поверхностями приспособления. Каждая такая поверхность – свойство какого-либо «установочного элемента». Установка должна сохраняться на протяжении всей технологической операции. Это обеспечивает элемент «фиксатор», прижимающий деталь к установочным элементам. У него также имеется функциональная поверхность, которая сопрягается с поверхностью прижатия детали.

Установочные элементы и фиксатор – это функциональные элементы. Они объединяются несущей системой, включающей, в данном случае, корпус и переходники.

Компоновка функциональных элементов

Выбор, вставка и размещение функциональных элементов (установочные и фиксаторы) – основное материальное содержание структурного синтеза, то, что непосредственно выполняет проектировщик. В типовых ситуациях эти операции не сложны, но трудоемки и многочисленны. Теория базирования [7] позволяет

предложить ряд формализмов, позволяющих автоматизировать эти операции.

Каждая база имеет определенный статус, который, с одной стороны, определяется формой и размерами, соотношенными с размерами других баз, а, с другой стороны, определяет функциональную нагрузку, выражаемую количеством и качеством ограничиваемых степеней свободы (табл. 1).

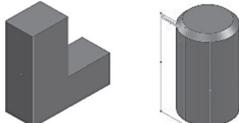
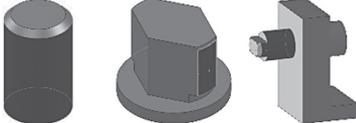
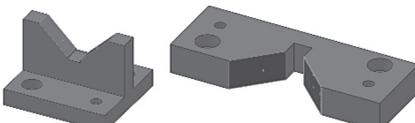
Таблица 1. Геометрия и функциональное назначение баз

Статус базы	Геометрия		Функция		
	Форма	Размерная характеристика	Кол. опор. точек	Степени свободы	
				Поступат.	Вращ.
Двойная направляющая	Цилиндр	Длина превосходит размеры др. баз	4	2	2
Установочная	Плоскость	Габариты превосходят габариты др. баз	3	1	2
Направляющая	Плоскость	Длинная	2	1	1
Двойная опорная	Цилиндр	Минимальная длина (по сравнению с др. базами)	2	2	0
Опорная	Цилиндр, плоскость	Минимальные размеры (по сравнению с др. базами)	1	1	0

Как отмечалось ранее, одно из свойств установочного элемента – установочная поверхность. Причем, свойство функциональное, можно сказать, «классовое». В зависимости от его особенностей – формы и расположения и др. – установочные элементы можно разделить на подклассы (табл. 2).

Статусу базы в соответствие можно поставить определенные классы установочных эле-

Таблица 2. Основные классы установочных элементов (УЭ)

Класс УЭ	Установочная поверхность	Внешний вид и установочные поверхности
Опора	Плоскость, горизонтальная	
Упор	Плоскость вертикальная	
Палец, палец срезанный, палец выдвигной	Цилиндр, наружный	
Призма установочная	Две сходящиеся плоскости	

ментов. Например, **установочная база** – плоскость, как правило, горизонтальная. Ей в соответствие ставятся элементы с горизонтальной установочной поверхностью – опоры (табл. 2), 3 шт. – по количеству опорных точек (рис. 2, а). **Двойная опорная база** – цилиндрическая поверхность, в соответствие которой, в зависимости от того, внутренняя она или наружная, ставятся пальцы (рис. 2, а) или установочные призмы (рис. 2, з). **Направляющая база** – плоскость, сочетающаяся, как правило, с установочной базой. И если последняя горизонтальна, то направляющая – вертикальна (или почти вертикальна) и ей должен соответствовать элемент с вертикальной установочной плоскостью – упор (табл. 2) в количестве 2 шт. (рис. 2, б, вертикальная плоскость справа). **Двойная направляющая база** может рассматриваться как две двойные опорные. Соответствующим образом следует планировать ее установку (рис. 2, д). **Опорной** базе, если она плоская либо внешняя цилиндрическая, в соответствие ставится элемент класса «упор»: в этом случае она, как правило, ограничивает поступательную степень свободы в горизонтальной плоскости, т. е., действует как упор. Опорной базе в виде отверстия в соответствие ставится палец срезанный (рис. 2, а, отверстие справа).

Приведенные правила – **примерная демонстрация** компоновки объекта проектирова-

ния, наполнение. **Размещаются** они исходя из того, что их установочные поверхности взаимодействуют с базами. Соответственно, между базами и этими поверхностями устанавливаются сопряжения¹.

Функциональные сопряжения частично позиционируют элементы. Здесь есть две составляющие: ориентация, определяемая направляющими косинусами матрицы положения элемента, и точка привязки, определяемая координатами. Сопряжения, в первую очередь, способствуют ориентации. Определение точки привязки упрощают вплоть до сведения его к переносу объекта вдоль некоторой поверхности, плоскости или оси цилиндра, как правило. К функциональным целесообразно добавить «общие» сопряжения. Например, сопряжение с «горизонталью». В обиходе это понятие упоминается часто, как некий виртуальный объект, отношение с которым подразумевается, например, когда говорят «криво стоит (висит)». Аналогичный объект следует ввести в сборку и сопрягать с ним отношением «параллельно» горизонтали элементов. Таких, например, как упоры или вертикальные призмы, функциональные сопряжения которых не обеспечивают выравнивания. Если имеется установочная база, виртуальную горизонталь можно связать с ней. В иных случаях требуется установить какие-то соглашения.

¹ Ограничения на взаимное расположение деталей, задаваемые в системе геометрического моделирования.

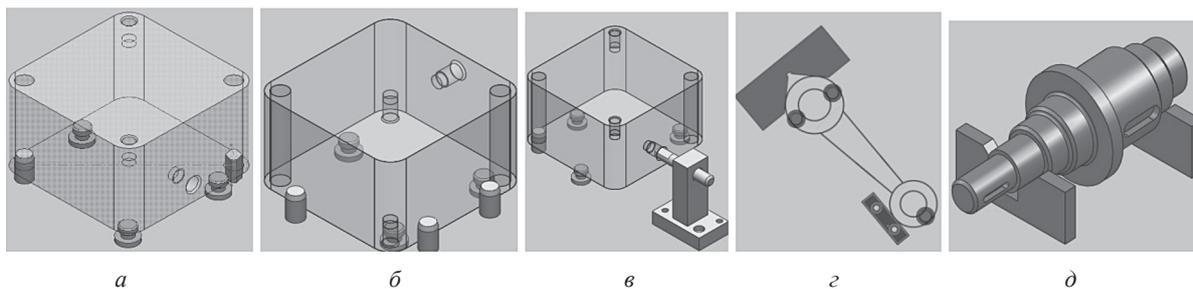


Рис. 2. Типовые схемы установки

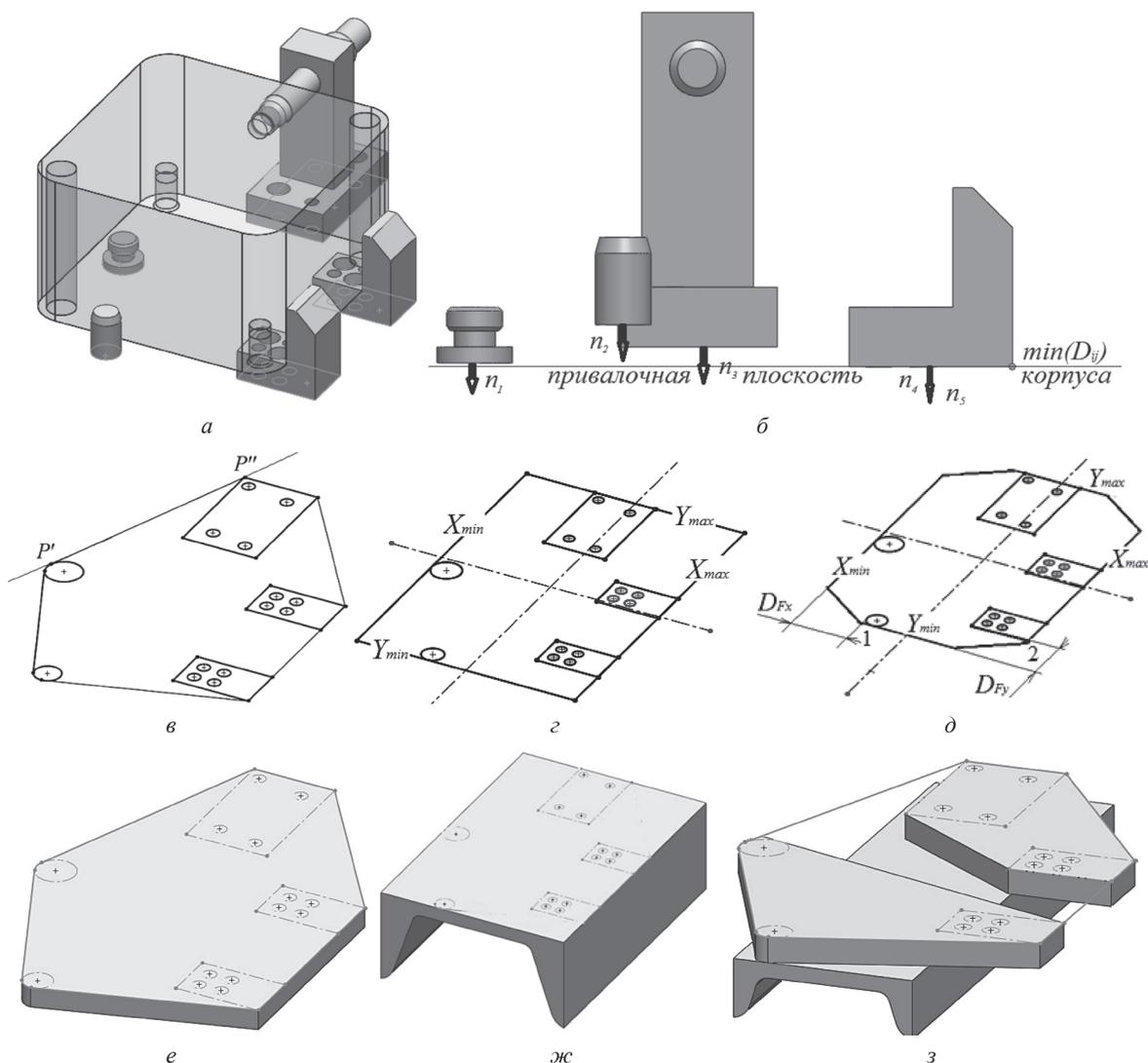


Рис. 3. Несущая система приспособления

Несущая система

Эта часть конструкции наименее регламентирована. Варианты ее структурирования различны. Один из них – «плоскостной», разработанный и используемый в САПР сборочно-сварочной оснастки [3, 8]. В функциональных элементах выделяются, так называемые, «**привалочные грани**», которыми они опираются на корпус. В корпусе определяется соответ-

ствующее свойство – «привалочная грань корпуса», на которую опираются элементы. Привалочные грани корпуса и элементов сопрягаются между собой непосредственно, либо через переходной элемент. Привалочные грани элементов задаются автором этих элементов, а привалочная грань корпуса – объект проектирования, характеризуемый поверхностью и контуром (рис. 3).

Поверхность, в данном случае это плоскость, именуемая далее «привалочная плоскость корпуса» (рис. 3, б), определяется уравнением:

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (1)$$

где A, B, C – координаты вектора нормали, а D – расстояние от плоскости до начала системы координат.

Вектор нормали определяется по совокупности векторов привалочных граней элементов, а расстояние D выражением:

$$D = -Ax' - By' - Cz' \quad (2)$$

где x', y', z' – координаты точки, через которую эта плоскость проходит.

В качестве таковой принимается самая нижняя точка привалочных граней.

Контур привалочной грани корпуса выпуклый, замкнутый, охватывает все проекции привалочных граней элементов на привалочную плоскость корпуса (рис. 3, в). С технологической точки зрения предпочтительны регулярные формы (рис. 3, г, д).

От привалочной грани далее строится сам корпус – контурная плита (рис. 3, е), подставка из проката (рис. 3, ж) и др. Проекция привалочных граней элементов можно кластеризовать, и сделать корпус в виде нескольких контурных плит, объединенных элементом из проката (рис. 3, з). Промежутки между привалочными гранями элементов и корпуса ликвидируются либо специальными проставками (конструктивными элементами), либо за счет увеличения части элемента, специально для этого предназначенной (стержень пальца, высота подложки, рис. 3, б).

Общие замечания

Геометрические данные. Формы и размеры деталей отражает граничное представление (Boundary Representation) ее твердотельной модели [9]. Там можно получить исходную информацию о базах. Элементы топологического интерфейса конструктивных элементов (установочные поверхности, привалочные грани) лучше закрепить в конструктивной геометрии их моделей (Constructive Geometry) при помощи «именованных» свойств, таких, как справочные плоскости и оси (Reference Plane, Axis), например. Доступ к твердотельной модели поддерживают современные геометриче-

ские системы посредством интерфейса программирования приложений (API).

Определения статусов баз. Для этого их необходимо, в том числе, ранжировать в зависимости от размеров (табл. 1). База-максимум ограничивает две вращательные степени свободы и должна обладать значительными размерами относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Поэтому ранжировать следует по двум размерам, которые, соответственно, необходимо как-то агрегировать.

Окончательное размещение элементов. Функциональные сопряжения связывают элементы с базами, но остаются неопределенными положения на базах. Здесь эффективны методы оптимального размещения. Например, при помощи генетического алгоритма [10]. Однако окончательное решение в этом вопросе остается за проектировщиком.

Комбинирование и декомпозиция элементов. Классы, представленные в табл. 2, монофункциональные. На практике же широко используют комбинированные элементы. Их также следует внести в библиотеку, но применимость определять отдельно, специальной утилитой уже после окончательного размещения простых элементов. Декомпозиция применима к элементам, чей основной конструктивный параметр (обусловленный размерами базы, например, либо иными условиями применения) принимает слишком большое значение. Это характерно для элементов, ограничивающим более одной степени свободы и, соответственно, реализующими более одной опорных точек. В таком случае, направление исправления ситуации – реализация каждой опорной точки отдельным элементом.

Заключение

Предложен подход к синтезу конструкций приспособлений для установки и закрепления деталей на различных технологических операциях, позволяющий на базе системы геометрического моделирования разработать приложение соответствующего назначения. Формализмы основаны на теории базирования и позволяют сгенерировать решение, практически, для любой исходной ситуации. Развитие проекта – комбинирование/декомпозиция элементов базового варианта. Это отличает предложенный подход от традиционных в аналогичных ситуациях типовых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988–368 с.
2. Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения / Под ред. А. Г. Раковича. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 276 с.
3. Медведев С. В. Компьютерные технологии проектирования сборочно-сварочной оснастки. – Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси. 2000. – 194 с.
4. Губич Л. В. Автоматизация процессов проектирования в машиностроении. – Минск: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, 2002. – 308 с.
5. Кункевич Д. П. Автоматизация структурного синтеза сборочно-сварочных приспособлений // Информатика, 2004, № 3. – С. 115–121.
6. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений. – М.: Машиностроение, 1984. – 303 с.
7. ГОСТ 21495-76 Базирование и базы в машиностроении
8. Кункевич Д. П., Медведев С. В. Программный комплекс автоматизированного конструирования сборочно-сварочных приспособлений для трубчатых сварных конструкций // Сварочное производство, 1996, № 2. – С. 20–22.
9. ISO 10303-42 Geometric and topological representation.
10. Каленик М. В., Ковалева И. Л., Кункевич Д. П. Определение положения опор в приспособлении // Информационные технологии и системы: проблемы, методы, решения (ИТС – 2018): сб. материалов Республиканской научно-технической конференции, Минск 22–23 ноября 2018 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: Четыре четверти, 2019.

REFERENCES

1. Polovinkin A. I. Osnovy inzhenernogo tvorchestva. M.: Mashinostroenie, 1988–368 s.
2. Avtomatizacija proektirovanija tehnologicheskikh processov i sredstv osnashhe-nija/ Pod red. A. G. Rakovicha. Minsk: Institut tehničeskoj kibernetiki NAN Belaru-si, 1997. – 276 s.
3. Medvedev S. V. Komp'juternye tehnologii proektirovanija sborochno-svarochnoj osnastki. – In-t tehn. kibernetiki NAN Belarusi. 2000. – 194 s.
4. Gubich L. V. Avtomatizacija processov proektirovanija v mashinostroenii. – Minsk: Ob#edinennyy institut problem informatiki NAN Belarusi, 2002. – 308 s.
5. Kunkevich D. P. Avtomatizacija strukturnogo sinteza sborochno svarochnyh pri-sposoblenij // Informatika, 2004, № 3. – S. 115–121.
6. Korsakov, V. S. Osnovy konstruirovaniya prispособlenij. M.: Mashinostroenie, 1984. – 303 s.
7. Kunkevich D. P., Medvedev S. V. Programmnyj kompleks avtomatizirovannogo konstruirovaniya sborochno-svarochnyh prispособlenij dlja trubchatyh svarnyh konstruk-cij // Svarochnoe proizvodstvo, 1996, № 2. – С. 20–22.
8. GOST 21495-76 Bazirovanie i bazy v mashinostroenii.
9. ISO 10303-42 Geometric and topological representation.
10. Kalenik M. V., Kovaleva I. L., Kunkevich D. P. Opredelenie polozhenija opor v prispособlenii // Informacionnye tehnologii i sistemy: problemy, metody, reshenija (ITS – 2018): sb. materialov Respublikanskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii, Minsk 22–23 nojabrja 2018 g. / redkol.: S. V. Haritonchik [i dr.]. – Minsk: Chetyre chetverti, 2019.

Поступила
04.07.2019

После доработки
13.11.2019

Принята к печати
01.12.2019

KUNKEVICH, D. P., POLOZKOV J. V., BARYSHEV A. A.

AUTOMATED SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL FIXTURE CONSTRUCTIONS

Belarusian National Technical University

At the initial stage of engineering design it has to determine the set of units of design object and topological relations between them. The solution making at this stage is very efficiently because the set of operations may be carried out: adding components into the project, mating them to each other's etc. The procedures of such kind are monotonous and time consuming. Article is dedicated to automation of topological design. However, the creation and adoption of design decisions is a difficult creative task. Currently, there are several approaches that can be applied to specific types of objects, such as injection molds, blacksmith dies, etc. Most of them are various kinds of technological equipment. There is another type of such equipment – fixtures for locating and clamping parts on the technological operations of assembly, welding, cutting, etc. Automated synthesis of fixtures is considered in this article. A method for determining the design situation is proposed. The method is based on location theory and involves the analysis of a solid model of the object being located. An example of carrier system is presented too. It is assumed that the content of the article will be useful for development of application based on CAD system. Moreover, the engineer – CAD-user himself can do this without involving a professional programmer.



Полозков Юрий Владимирович, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Программное обеспечение информационных систем и технологий» БНТУ. Научные интересы – автоматизация проектирования объектов и процессов аддитивного производства, оцифровка описаний поверхностей объектов, информационные технологии в образовании.

Email: YuVPolozkov@bntu.by.

Polozkov Yuri Vladimirovich, PhD, head of the Department of Software for Information technologies and systems of the Belarusian National Technical University. His research interest focus on computer aided design and engineering of the objects of additive production, surfaces digitization, information technologies in the education.



Кункевич Дмитрий Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий» БНТУ. Научные интересы – автоматизация конструкторско-технологического проектирования и инженерного анализа механических систем.

Kunkevich Dmitry, PhD, associate Professor of the Software Department of the Belarusian National Technical University. His research interest focus on computer aided design and engineering of mechanical systems.

Email: kunkevich@bntu.by.



Барышев Артём Александрович, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий» БНТУ. Научные интересы – системы обработки данных, облачные технологии.

Baryshau Artsiom, master of Science in Engineering, Senior Lecturer of the Department of Software for Information technologies and systems. His research interest focus on automated design systems, data processing systems, the cloud computing. Email: aabaryshev@bntu.by.