

Д. П. КУНКЕВИЧ, И. Л. КОВАЛЕВА, А. А. БАРЫШЕВ

СИНТЕЗ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Белорусский национальный технический университет

Работа посвящена генерированию решений на начальных стадиях конструкторского проектирования. На примере приспособлений для установки и закрепления деталей на различных технологических операциях рассматриваются подходы к решению задач, связанных определением состава элементов конструкции и их размещением. Наиболее эффективно такие задачи решаются на функциональном уровне. Однако в конечном итоге необходимо конструктивное воплощение решения в виде геометрических моделей и чертежей. В приспособлении базы объекта оснащения сопрягаются с функциональными поверхностями установочных элементов приспособления. Таким образом, происходит ограничение степеней свободы этого объекта. В зависимости от количества степеней, ограничиваемых базой, и их качества (поступательная или вращательная) она может иметь статус установочной, направляющей, опорной, двойной опорной или двойной направляющей. Определение статуса базы по ее геометрическим свойствам (форма, размеры) – функционально-структурная задача верхнего уровня. Формальным ограничителем отдельной степени свободы является, так называемая, опорная точка. Их количество соответствует количеству степеней свободы. Размещение опорных точек – параметрическая задача. Конструктивное воплощение – связывание с опорной точкой установочного элемента, соответствующего вида.

Ключевые слова: конструкторское проектирование, синтез структурный, синтез параметрический, функциональная структура, конструктивная структура, теория базирования, приспособления.

Введение

Любое проектирование всегда предполагает решение задач генерации, поиска оптимальных решений. Традиционно такие задачи относятся к категории трудно формализуемых. Универсальных методов их решения, а, тем более, средств, применимых к проектированию широких классов технических объектов, пока не существует. Наиболее часто в качестве стратегии проектирования используется двухуровневая схема структурно-параметрического синтеза [1]. Согласно этой стратегии на первом, структурном, уровне определяется множество структурных элементов и устанавливаются отношения между ними, а на втором, параметрическом, определяются параметры этих элементов и отношений. В работе описывается применение этой стратегии к проектированию технологической оснастки. На примере приспособлений для установки-закрепления деталей на различных технологических операциях рассмотрены способы структурирования объектов, подходы к решению задач обоих уровней.

Структуры и объекты

Структурировать технические объекты можно с точки зрения функционального или конструктивного подхода. Функциональная структура отражает принцип действия объекта. Ее можно представить совокупностью потоков вещества/энергии, соединенных функциональными элементами, преобразующими эти потоки. Конструктивная структура отражает «сборку» объекта, включает детали и узлы (их геометрические модели), сопряженные между собой¹.

Результатом проектирования в конечном итоге является конструктивная структура. Она включает геометрические модели, входящие в состав технического объекта. Однако генерировать конструктивные решения лучше на функциональном уровне, т.к. манипулировать деталями и узлами как независимыми конструктивными единицами сложно. Поэтому решение первоначально формируется из функциональных элементов, которые затем заменяются физическими объектами, реализующими требуемые функции.

¹ Непосредственно сопрягаются между собой базовые поверхности.

Подобный принцип декларируется для поискового конструирования оригинальных объектов [2]. В «типовом» проектировании такой подход не нашел широкого применения. Разработчики специализированных коммерческих модулей¹ в качестве объектов проектирования предпочитают конструкции, отличающиеся устойчивой топологией. Однако существует широкий класс объектов, отличающихся более разнообразной топологией. К ним относятся технологическая оснастка [3–5] и, в частности, приспособления для установки и закрепления деталей. Автоматизация процесса их проектирования выполнялась на базе конструктивных решений [6], которые предварительно ранжировались по степени сложности. И хотя задача была решена вполне успешно, синтез на функциональном уровне повысил бы эффективность проектирования.

Приспособления для установки и закрепления

Установка и закрепление деталей требуется на различных технологических операциях – сборки, сварки, обработки резанием и др. (рис. 1).

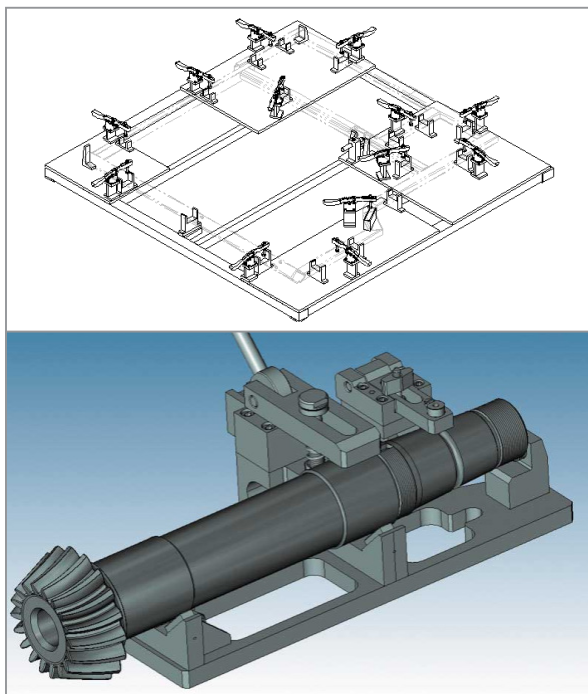


Рис. 1. Примеры приспособлений для установки деталей

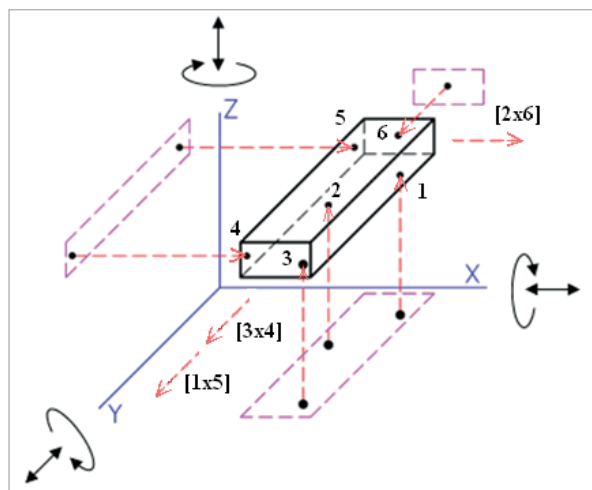
Обобщающим фактором при этом является то, что установка должна соответствовать теории базирования [7]. При проектировании приспособлений для установки и закрепления предлагается отталкиваться от того, что структуру приспособления определяют требуемая функция и выбранный физический принцип ее осуществления.

Главную функцию приспособлений для установки и закрепления можно описать с формальной и физической сторон [8]. Формально, установка – это ограничение степеней свободы детали. Физически – сопряжение базовых поверхностей детали с установочными поверхностями приспособления. Связующим звеном между формальной стороной и физической являются так называемые опорные точки. Каждая из опорных точек ограничивает одну степень свободы, а реализуется с помощью установочного элемента. Отсюда следует предлагаемый принцип генерирования решения при проектировании приспособлений: распределить по базам опорные точки, а потом связать с каждой из них установочный элемент. Варианты распределения опорных точек по базам могут быть различными (рис. 2).

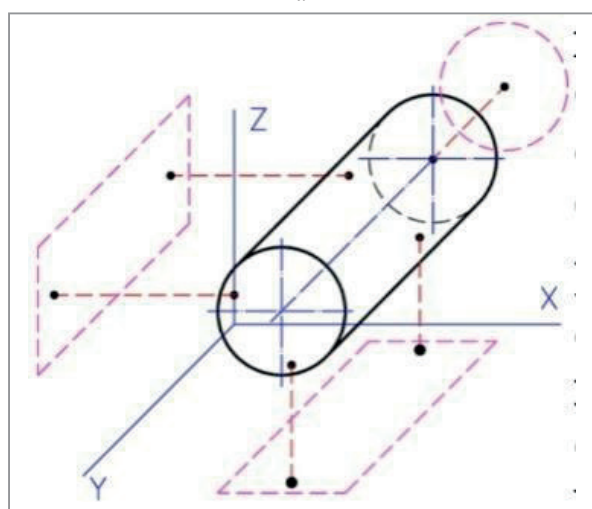
Всего степеней свободы шесть – три поступательных и три вращательных (рис. 2, а). Поступательная степень ограничивается точечным упором. Для этого достаточно минимальной поверхности (точка 6). Вращательная степень свободы ограничивается уже парой точек (точки 4, 5). Чем больше между ними будет расстояние, тем лучше – уменьшается влияние погрешностей поверхности на точность установки. Соответственно, база должна быть «длинной». Две вращательные степени должна ограничивать база «длинная дважды» – плоскость длинная и широкая (нижняя грань с точками 1, 2, 3, рис. 2, а), либо цилиндр, который просто «длинный», но являясь поверхностью второго порядка, позволяет разместить на себе две пары опорных точек (рис. 2, б).

Распределение опорных точек начинается с того, что для каждой базы определяется количество степеней свободы, которое она

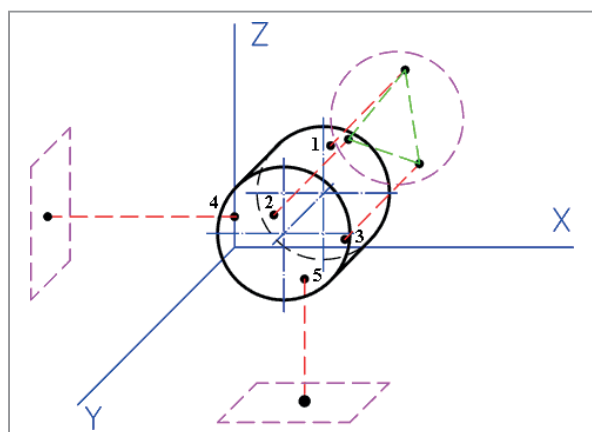
¹ «Mold Wizard» для проектирования литейных форм и «Progressive Die Wizard» для штампов в составе NX, «РЕДУКТОР-3D V2.3» в составе Компас 3D и др.



a



б



в

Рис. 2. Примеры размещения опорных точек на базах

будет ограничивать и какие это будут степени свободы. Степени свободы ассоциируются не с отдельными точками, а с базой целиком, то есть на нее как бы возлагается некая функция, реализация которой требует определенного количества опорных точек. Далее эти точки распределяются в пределах базы. Критерием качества при этом могут служить размеры схемы.

Таким образом, синтез решений при проектировании приспособлений включает в себя две задачи: определение функционального статуса базы и подбор функциональных параметров.

Определение количества опорных точек на базе

Количество опорных точек базы связано с функциональным статусом базы. Функциональных статусов у базы может быть пять [7]: $S = \{\text{установочная } (3/2), \text{ направляющая } (2/1), \text{ опорная } (1/0), \text{ двойная опорная } (2/0), \text{ двойная направляющая } (4/2)\}$.¹

Исходное множество вариантов сочетаний базовых поверхностей можно сформировать как декартово произведение S^n , где n – количество (рис. 3).

Большинство вариантов отсеивается по формальным признакам – суммарное количество степеней свободы², форма поверхностей³ и др. Так не будет рассматриваться, например,

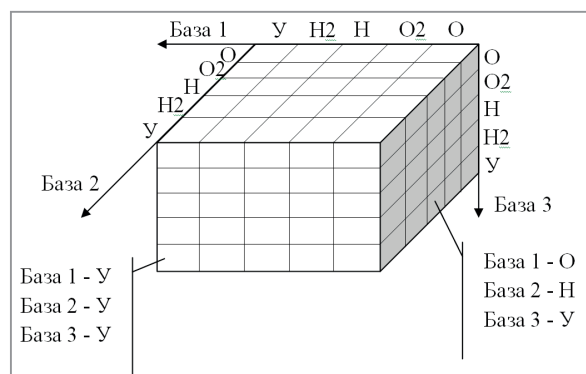


Рис. 3. Варианты сочетаний базовых поверхностей

¹ В скобках указаны степени свободы (общее количество/вращательные).

² Например, установочная ограничивает 3 степени свободы, а двойная направляющая - 4, поэтому сочетаться эти статусы в одной схеме не могут.

³ Установочная и направляющая, например, должны быть плоскими, а двойные – опорная и направляющая – только цилиндрическими.

вариант в левом нижнем углу – три базы установочными быть не могут в принципе. Для выбора окончательного решения из оставшихся «допустимых» вариантов необходимо сравнить размеры поверхностей. Сочетание в правом нижнем углу (рис. 3) не противоречит теории базирования, но надо установить, что «База 3» превосходит остальные: как установочная она ограничивает две вращательные степени свободы, а для этого, как отмечалось выше, надо быть «длинной дважды». Причем сравнивать следует по двум размерам, которые, соответственно, понадобится как-то агрегировать.

Также следует отметить, что окончательно функциональный статус баз уточняется после пробного размещения опорных точек. Встречаются случаи, когда грани, на которых планируется размещение опорных точек, имеют различные локальные геометрические особенности, которые могут препятствовать размещению опор на гранях с предпочтительными размерами.

Задача генерации окончательного решения является трудно формализуемой и требует, как правило, непосредственного участия проектировщика. Однако изучение класса задач, решаемых в настоящее время методами машинного обучения с использованием подходов нечеткой логики, позволяет говорить о целесообразности применения подобного аппарата для автоматизации процесса генерации решений при проектировании приспособлений.

Размещение опорных точек

Выбор функционального статуса баз и места положения опорных точек определяет будущую конструкцию приспособления. Чаще всего детали машин ограничены простейшими поверхностями – плоскими, цилиндрическими, коническими, сферическими, которые связаны друг с другом и с другими элементами детали координирующими размерами и соотношениями. Для таких деталей существуют типовые схемы размещения опорных точек. Однако для деталей, ограниченных поверхностями сложной формы, задача размещения опорных точек является нетривиальной.

Рассмотрим случай размещения опорных точек по установочной базе – три точки на

плоскости, ограниченной произвольным сложным контуром. Данный случай является двумерной задачей, в результате решения которой определяются реальные эффективные размеры базовой поверхности, что, в свою очередь, позволяет уточнить правильность выбора, сделанного исходя из размерных характеристик на предыдущем этапе.

Задачу размещения опорных точек предлагается рассмотреть как оптимизационную [9]. Расстояние между опорами напрямую влияют на погрешность установки. Поэтому в качестве критерия оптимальности выберем размеры установочной поверхности (треугольника с вершинами в опорных точках). Параметрами оптимизации (варьируемыми параметрами) будут координаты опорных точек. Их шесть. В качестве ограничений выступают условия размещения опор таким образом, чтобы центр тяжести детали и проекции сил зажима оказались внутри треугольника, в вершинах которого находятся опоры.

Для наглядности задачу можно упростить до следующей: в заданной области необходимо расположить три точки таким образом, чтобы расстояния между двумя наиболее удаленными друг от друга точками (на рис. 4 это расстояние обозначено буквой «а») и от 3-й точки до прямой «а» (на рис. 4 обозначено буквой «b») были максимальными.

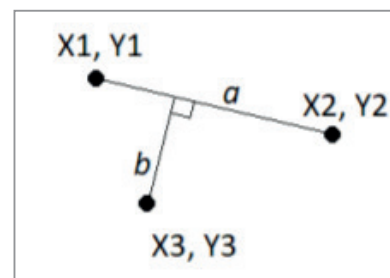


Рис. 4. Вариант размещения точек

Положение каждой из трех точек может быть различным, при этом необходимо учитывать форму контура установочной поверхности. Это своего рода комбинаторная задача. Проверить все сочетания различных положений точек практически невозможно. Для решения поставленной задачи был применен генетический алгоритм (ГА). С точки зрения генетического представления задачи хромосома – это искомые координаты трех точек, в качестве функции приспособленности

использовался критерий, построенный с учетом расстояний «а» и «b». Функция приспособленности определяется только для жизнеспособных хромосом. Признак жизнеспособности – это размещение всех трех точек внутри контура детали.

Существенное влияние на результат работы ГА оказывают способы реализации основных генетических операторов (селекции, скрещивания, мутации) и вариант условия окончания счета (УОС). Селекция производилась стандартным методом рулетки, что позволило выбирать родительские особи, внося элемент случайности в предпочтение по приспособленности. Таким образом, большее значение функции приспособленности у особи лишь увеличивало ее шансы попасть в итоговую популяцию, но не гарантировало этого однозначно. Исследование алгоритма показало, что многоточечное скрещивание позволяет найти максимум за меньшее число поколений: средний номер поколения с лучшей особью при двухточечном скрещивании – 40 (при УОС = 50 поколений), при скрещивании с восемью точками – 30 (при УОС = 50 поколений). Также анализ работы алгоритма позволяет сделать вывод, что величина мутации гена в хромосоме от 10% до 15% в среднем позволяет получить лучший результат за меньшее число поколений, чем при мутации 5% и менее.

Генетический алгоритм был реализован на языке C# и может быть использован как макрос для программного комплекса SolidWorks,

в котором выполняется моделирование детали и приспособления.

Заключение

В работе предложен подход, позволяющий автоматизировать решение задачи верхнего уровня конструкторского проектирования – генерирования решений. Объектом проектирования являются приспособления для установки-закрепления деталей на различных технологических операциях, Объект проектирования должен соответствовать теории базирования, основные положения которой и легли в основу принципов структурно-параметрического синтеза решений на функциональном уровне. Переход к конструктивному воплощению предлагается реализовать заменой опорных точек, ограничивающих степени свободы объекта теоретически, установочными элементами приспособления [10]. Решение задачи размещения опорных точек предлагается автоматизировать, используя для этого генетический алгоритм.

Практическая реализация предложенного подхода заключается в разработке прототипа приложения на базе системы геометрического моделирования, которое было бы полезно в конструкторско-технологическом бюро проектирования оснастки либо в технологическом бюро непосредственно. Материал целесообразно использовать в учебном процессе при подготовке специалистов по автоматизации конструкторско-технологического проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Норенков И. П.** «Автоматизированное проектирование», 2002. – URL: <http://window.edu.ru/resource/981/23981/files/cad.pdf> (дата обращения 1.08.2020).
2. **Половинкин А. И.** Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. 368с.
3. **Кротюк Ю. М., Гривачевский А. Г.** Унифицированные модели и метод автоматизированного проектирования инструмента для поперечно-клиновой прокатки. Информатика. 2010; (2(26)):94-104.
4. **Левин Г. М.** Программный комплекс для аванпроектирования агрегатного оборудования для групповой обработки / Н. Н. Гущинский, Г. М. Левин, Б. М. Розин, Д. П. Кункевич // Автоматизация технологических процессов производств: Материалы республиканского научно-технического семинара Минск, 14 марта 2012 г., Минск: «Минск-экспо», 2012, с. 8–9.
5. **Гривачевский А. Г., Прохvatкин Н. В.** Моделирование и автоматизация конструирования штампов.– Минск: Наука и техника, 1986.– 197 с.
6. **Ракович А. Г.** Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений. – Мн.: Наука и техника, 1985.– 285 с.
7. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения ГОСТ 21495-76 М.: Издательство стандартов, 1990
8. Обработка металлов резанием: справочник технолога / Под. ред. А. А. Панова.– М.: Машиностроение. 1988.– 736 с.
9. **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.

10. **Кункевич Д. П., Полозков Ю. В., Барышев А. А.** Автоматизированный синтез конструкций технологических приспособлений. «Системный анализ и прикладная информатика». 2019; (4):39-45. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2019-4-39-45>.

REFERENCES

1. **Norenkov I.P.** “Avtomatizirovannoe proektirovanie”, 2002. – URL: <http://window.edu.ru/resource/981/23981/files/cad.pdf> (data obrashhenija 1.08.2020).
2. **Polovinkin A. I.** Osnovy inzhenernogo tvorchestva: Ucheb. posobie dlja studentov vtuzov. – M.: Mashinostroenie, 1988. 368s.
3. **Krotjuk Ju. M., Grivachevskij A. G.** Unificirovannye modeli i metod avto-matizirovannogo proektirovanija instrumenta dlja poperechno-klinovoj prokat-ki. Informatika. 2010; (2(26)):94-104.
4. **Levin G. M.** Programmnyj kompleks dlja avanproektirovanija agregatnogo oborudovanija dlja gruppovoj obrabotki / N.N. Gushhinskij, G.M. Levin, B.M. Ro-zin, D.P. Kunkevich // Avtomatizacija tehnologicheskikh processov proizvodstv: Materialy respublikanskogo nauchno-tehnicheskogo seminarina Minsk, 14 marta 2012g., Minsk: «Minskjekspos», 2012, s. 8–9.
5. **Grivachevskij A. G., Prohvatkin N. V.** Modelirovanie i avtomatizacija konstruirovaniya shtampov. – Minsk: Nauka i tehnika, 1986. – 197 s.
6. **Rakovich A. G.** Osnovy avtomatizacii proektirovanija tehnologicheskikh pri-sposoblenij. – Mn.: Nauka i tehnika, 1985. – 285 s.
7. Bazirowanie i bazy v mashinostroenii. Terminy i opredelenija GOST 21495-76 M.: Izdatel'stvo standartov, 1990.
8. Obrabotka metallov rezaniem: spravocchnik tehnologa / Pod. red. A. A. Panova. – M.: Mashinostroenie. 1988. – 736 s.
9. **Kalenik M. V., Kovaleva I. L., Kunkevich D. P.** Opredelenie polozhenija opor v prisposoblenii // Informacionnye tehnologii i sistemy: problemy, metody, reshenija (ITS – 2018): sb. materialov Respublikanskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Minsk 22–23 nojabrja 2018 g. / redkol.: S. V. Haritonchik [i dr.]. – Minsk: Chetyre chetverti, 2019.
10. **Kunkevich D. P., Polozkov Ju. V., Baryshev A. A.** Avtomatizirovannyj sintez konstrukcij tehnologicheskikh prisposoblenij. «Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika». 2019;(4):39-45. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2019-4-39-45>.

Поступила
01.04.2021

После доработки
02.05.2021

Принята к печати
01.06.2021

KUNKEVICH, D. P., KOVALEVA, I. L., BARYSHEV, A. A.

DECISION SYNTHESIS IN ENGINEERING DESIGN OF TECHNOLOGICAL ATTACHMENT

Belarusian National Technical University

Synthesis of the engineering design decisions is considered. The fixtures for locating and clamping parts to be tooled at the manufacturing operations are the design objects. An approach to topology and parametric design are proposed. Most efficiently these tasks are solved at the function level. Finally, geometry models and design drawings are needed for manufacturing. Fixture action is to mate bases of fixture object with function faces of fixture locators. This is constraining the degrees of freedom of object. Every base constrains certain degree of freedom. In accordance with quantity and quality of that degrees, certain locators are appointed to the base and them must be positioned resulting in the a locating chart. The quality of the locating chart may be evaluated by the several criteria, for example, by it dimensions. Unsatisfactory solution may be followed by redistributing degrees of freedom among the bases or editing positions of locators within the bases. Thus the design is decomposed onto two independent tasks of different levels.



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 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 mechanical systems.

Email: kunkevichd@gmail.com



Ковалева Ирина Львовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение информационных систем и технологий» БНТУ. Научные интересы – методы и алгоритмы оптимизации технических систем, машинное обучение, распознавание образов.

Irina L. Kovaleva PhD, associate Professor of the Department of Software for Information technologies and systems of the Belarusian National Technical University. Her research interests focus on methods and algorithms of optimization and decision-making, pattern recognition and machine learning.

Email: ilkovaleva@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 interests focus on automated design systems, data processing systems, the cloud computing.

Email: aabaryshev@bntu.by