

## МЕТОДИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИНТЕЗА УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

### METHODOLOGICAL, ALGORITHMIC AND SOFTWARE FOR THE SYNTHESIS OF UNIVERSAL ASSEMBLY DEVICES

УДК 658.512

**Н.В. Беляков<sup>1\*</sup>, Н.Н. Попок<sup>2</sup>, Ю.Е. Махаринский<sup>1</sup>,  
Д.Г. Латушкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Витебский государственный технологический университет

<sup>2</sup> Полоцкий государственный университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2020-13902>

**N. Belyakov<sup>1\*</sup>, N. Popok<sup>2</sup>, Yu. Makharinsky<sup>1</sup>,  
D. Latushkin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Vitebsk State Technological University

<sup>2</sup> Polotsk State University

#### РЕФЕРАТ

*КОРПУСНАЯ ДЕТАЛЬ, УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, БАЗИРОВАНИЕ, ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА, МАШИНОСТРОЕНИЕ*

*Объект разработки – универсально-сборные станочные приспособления для корпусных деталей средних габаритных размеров и методы автоматизации их проектирования.*

*Для исследования и решения поставленных в работе задач использовались методы теории автоматизации проектирования, теории базирования, системно-структурного анализа и моделирования, алгебры логики, теории множеств.*

*Представленная система позволяет: формировать схемы базирования заготовок, обеспечивающие на стадии проектирования требуемые допуски взаимного расположения конструктивных элементов; выдавать задание на проектирование приспособления в виде теоретической схемы установки; производить автоматизированное проектирование 3D-моделей компоновок универсально-сборных приспособлений, их чертежей, а также технологических схем их сборки и разборки.*

*Использование системы на машиностроительных предприятиях позволяет: снизить вероятность неустраняемого брака за счет научно обоснованного решения вопроса обеспечения допусков взаимного расположения конструктивных элементов детали на этапе проектирования компоновки; снизить временные затраты на*

#### ABSTRACT

*HOUSING PART, UNIVERSAL-ASSEMBLED MACHINE TOOLS, DESIGN AUTOMATION, LOCATING CHART, PRODUCTION PREPARATION, MECHANICAL ENGINEERING*

*The object of development is universal-assembled machine tools for body parts of medium dimensions and methods for automating their design. Methods of design automation theory, basing theory, system-structural analysis and modeling, logic algebra, and set theory were used for research and solution of the tasks set in the work.*

*The presented system allows you to do the following: form a locating chart for workpieces that provides the required tolerances for the relative location of structural elements at the design stage; issue a task for the design of the device in the form of a theoretical installation scheme; perform computer-aided design of 3D models of universal-assembled machine tools, their drawings, as well as technological schemes for their assembly and disassembly.*

*The use of system in engineering enterprises allows: to reduce the likelihood of a nonremovable defect through science-based solutions for providing tolerances of the mutual arrangement of structural elements of detail at the design stage of the layout; to reduce the time of production preparation; to employ low-qualified workers for assembling; to make up the most rational nomenclature of the starter kits; include a universal service-teams of devices into a single automated system of technological preparation of production.*

\* E-mail: [vstu@vitebsk.by](mailto:vstu@vitebsk.by) (N. Belyakov)

*подготовку производства; собирать приспособления сборщиком невысокой квалификации; составлять наиболее рациональную номенклатуру пусковых комплектов; включить службу универсально-сборных приспособлений в единую автоматизированную систему технологической подготовки производства.*

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ работы машиностроительных предприятий показывает, что в общей номенклатуре деталей, применяемых в машиностроении, корпусные детали составляют порядка 10–20 %. Причем порядка 60 % из них являются деталями средних габаритных размеров. Корпусные детали состоят из различных конструктивных элементов и имеют высокие требования по точности их взаимного расположения. В том случае, если заданная точность взаимного расположения не обеспечена, то деталь неизбежно перейдет в неустранимый брак. Задачи обеспечения точности взаимного расположения конструктивных элементов должны решаться уже на стадии проектирования технологии и станочных приспособлений за счет рационального выбора баз.

В практической работе в большинстве случаев для каждой новой корпусной детали разрабатывается индивидуальный технологический процесс. Причём порядка 80 % станочных приспособлений в этих технологических процессах составляют универсально-сборные приспособления (УСП). Сборка УСП для корпусных деталей осуществляется слесарями-сборщиками высокой квалификации по чертежу детали исходя из собственного опыта и интуиции. Как такового проектирования компоновочной схемы приспособления не производится. Не рассматриваются, как правило, вопросы обеспечения точности взаимного расположения конструктивных элементов обрабатываемой детали.

Сократить трудоемкость проектирования в десятки раз и повысить качество проектных работ позволяет их автоматизация. Анализ работ по автоматизации проектирования УСП показывает, что в проектной практике находят применение базы данных 3D-элементов УСП. Их стоимость составляет порядка 3–4 тысяч у. е. Од-

нако в настоящее время отсутствуют какие-либо САПР УСП с инструментарием автоматического формирования компоновок приспособлений с учетом обеспечения требуемых допусков взаимного расположения конструктивных элементов [1–4].

Таким образом, целью работы является разработка методического, алгоритмического и программного обеспечения синтеза компоновок универсально-сборных приспособлений для корпусных деталей средних габаритных размеров, обеспечивающих на стадии проектирования заданные чертежом детали допуски взаимного расположения конструктивных элементов.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи: проведен анализ конструкторской и технологической документации базовых машиностроительных предприятий; разработано методическое и алгоритмическое обеспечение процедуры синтеза задания на проектирование УСП; разработан алгоритм функционирования и общая структура системы поддержки принятия решений синтеза компоновок УСП для корпусных деталей; определена конфигурация технических средств; разработано программное обеспечение и проведены его комплексная отладка и предварительные испытания; разработаны программные документы; проведена опытная эксплуатация системы.

Для исследования и решения поставленных в работе задач использовались методы теории автоматизации проектирования, теории базирования, системно-структурного анализа и моделирования, алгебры, логики, теории множеств. Проводился анализ литературных источников, электронных изданий, опыта использования систем автоматизированного проектирования на предприятиях, а также анализ конструкторской и технологической документации в соответстви-

ющих бюро машиностроительных заводов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе [5] предложена система понятий теории базирования, в которой разграничиваются понятия реального и проектного базирования при механической обработке, сборке и измерениях, теоретической схемы базирования и установки, вводятся положения об однозначности и корректности ориентации конструктивных элементов.

Изложенные положения позволяют предложить следующую последовательность процедур проектирования УСП: 1) синтез конструкторско-технологической модели заготовки на этапах типовой схемы обработки; 2) синтез структуры операции (определение обрабатываемых на станке поверхностей, числа установов и составов баз ориентации); 3) синтез схемы базирования (определение комплектов баз); 4) синтез схемы установки (состав установочных и (или) установочно-зажимных элементов и определение точки приложения и направления силы закрепления); 5) синтез функциональной модели приспособления (список основных, вспомогательных и дополнительных функций); 6) определение характеристик окружающей среды (элементы станка для использования приспособления); 7) анализ допустимости выбранной схемы установки (оценка погрешности схемы установки); 8) разработка конструктивной схемы (компоновки) приспособления; 9) параметрический синтез приспособления (силовой расчет и расчет на точность); 10) разработка рабочих чертежей.

При переходе от первой процедуры проектирования к последней происходит наращивание объема информации о процессе реального базирования. Однако модель базирования не может быть тождественна реальному процессу. Процедуры 1–4 играют особую роль в процессе проектирования УСП. Именно с их помощью на стадии проектирования решаются задачи обеспечения заданных чертежом требований к точности взаимного расположения элементов конструкции.

Синтез конструкторско-технологической модели заготовки предлагается осуществлять с помощью набора функциональных модулей (ФМ), технологических регламентов их обработки,

характеристик их элементов (внутренних показателей), а также структуры линейных и угловых связей между ФМ (внешних показателей) [6–7]. Хранение информации о внутренних показателях ФМ внутри этапов (предварительный, чистовой, отделочный) типовой схемы обработки предлагается осуществлять в виде базы данных соответствующего формата. Оперирование с внешними параметрами предлагается осуществлять с помощью неориентированных графов типа дерева обозначений размерных связей главных поверхностей ФМ в трех координатных направлениях  $R_{(x,y,z)}$  для предварительного, чистового и отделочного этапов типовой схемы обработки  $R^p_{(x,y,z)}$ ,  $R^c_{(x,y,z)}$ ,  $R^o_{(x,y,z)}$  (*п ч о* – индексы, обозначающие заготовительный, предварительный, чистовой и отделочный этапы) и ориентированного графа угловых расположений  $U$  обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым (индекс *обр-нобр*) и обрабатываемых поверхностей к обрабатываемым (индекс *обр-обр*)  $U^p_{n_i \text{обр-нобр}}$ ,  $U^c_{n_i \text{обр-нобр}}$ ,  $U^o_{n_i \text{обр-нобр}}$ ,  $U^p_{n_i \text{обр-обр}}$ ,  $U^c_{n_i \text{обр-обр}}$ ,  $U^o_{n_i \text{обр-обр}}$ .

Задачи внутримашинного представления информации предполагают использование матричного представления графов. Графы  $R_{(x,y,z)}$  предлагается представлять с помощью матрицы смежности  $R^{см}_{(x,y,z)} = \|r_{ij}\|_{m \times m}$ , элементы которой образуются по правилу:

$$r_{i,j} = \begin{cases} v_k, & \text{если вершина } \bar{n}_i \text{ соединена с вершиной } \bar{n}_j \text{ ребром;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $v_k = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)$  – ребро графа, соединяющее вершины  $\bar{n}_i$  и  $\bar{n}_j$  (в матрицу записывается  $A(T)$  – соответствующий линейный размер и численное значение допуска на него);  $m$  – число вершин.

В рассмотренном графе множество ребер является неориентированными линиями, для которых не существенен порядок соединения вершин  $v_k = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)$  или  $v_k = (\bar{n}_j, \bar{n}_i)$ .

Строки и столбцы матрицы  $R^{см}_{(x,y,z)}$  соответствуют вершинам графа. На пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца ставится элемент  $r_{i,j}$ , соответствующий размеру и численному значению допуска на размер, или ставится 0. Также ребрам присваиваются метки 1 или 2. Метка 1 присваивается элементу матрицы в том случае, если

между собой соединяются обрабатываемые вершины. Метка 2 присваивается элементу матрицы в том случае, если между собой соединяются вершины, обозначающие необрабатываемые поверхности и если ребро соединяет вершины, обозначающие обрабатываемую и необрабатываемую поверхности.

Эффективная работа системы возможна только при корректном вводе исходной конструкторской информации, в том числе и размерных связей. Для оценки правильности простановки линейных размеров с помощью матриц смежности предлагается проверять следующие условия:

1. Число вершин на графе должно быть на 1 больше числа ребер, то есть должно выполняться условие  $KI / 2 = m - 1$ , где  $KI$  – сумма строк и столбцов, не равных 0. Если  $KI / 2 < m - 1$ , то на чертеже недостаточно линейных размеров. Если  $KI / 2 > m - 1$ , то на чертеже  $KI / 2 - m + 1$  лишних размеров.

2. На графе не должно быть оторванных вершин, то есть в матрице не должно быть нулевой строки (столбца).

3. На графе должна быть одна линейная связь между комплексом обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей, то есть строки (столбцы) матрицы, соответствующие номерам обрабатываемых вершин, должны иметь единственный элемент с меткой «2», а необрабатываемые – с меткой «1».

4. На графе не должно быть замкнутых контуров. Для проверки этого условия в строке (столбце) матрицы отыскиваются единственные ненулевые элементы. Далее эти строки (столбцы) обнуляются (в графе отсекаются вершины). В результате получается трансформированная матрица, в которой соответствующие элементы строк (столбцов) нулевые. В новой матрице вновь выполняется обнуление конечных ветвей и так далее. Поиск прекращается при получении на двух последних шагах двух одинаковых матриц.

В ходе проведения исследований было установлено, что для деталей, имеющих общую плоскость симметрии и ряд ФМ вращения (в том числе и соосных, оси которых лежат в этой плоскости), отсутствуют формальные правила построения графов линейных размеров. Предлагается указанные графы строить в следующей

последовательности:

1. В необходимом координатном направлении вначале отыскивается базовый ФМ и с ним связывается плоскость симметрии комплекса необрабатываемых элементов конструкции, затем эта процедура повторяется для комплекса обрабатываемых элементов. Для этого устанавливается факт задания допуска симметричности или соосности.

1.1. Если на чертеже детали имеются конструктивные элементы, для которых допуски симметричности или соосности (как правило, комплекс обрабатываемых поверхностей) заданы в явном виде, то за базовый элемент для всех прочих элементов принимается поверхность элемента, для которого указанный допуск задан в явном виде (все прочие поверхности на графе соединяются ребром с базовым элементом).

1.2. Если на чертеже детали допуски симметричности заданы по умолчанию, то за базовый элемент, к которому относится неуказанный допуск симметричности, нужно принимать плоскость (ось) симметрии элемента, имеющего большую длину в плоскости, параллельной плоскости симметрии; при одинаковых длинах – плоскость (ось) элемента с допуском линейного размера по более точному качеству в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии; при одинаковых длинах и качествах – элемента с большим линейным размером в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии. Если и размеры одинаковы, то по технологическим соображениям предпочтение следует отдавать поверхности вращения.

1.3. В том случае, если имеются соосные поверхности, а допуск соосности для них не задан, то за базовый элемент принимается ось поверхности, имеющей наибольшую длину; при одинаковых длинах – ось поверхности с допуском диаметра по более точному качеству; при одинаковых длинах и качествах – ось поверхности с большим диаметром.

2. Базовые элементы комплексов обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей связываются ребром графа и отыскивается численное значение допуска симметричности (соосности) в зависимости от номинального размера и определяющего допуска размера.

Графы  $U$  предлагается формировать согласно принципам однозначности и корректности задания ориентации элементов конструкции относительно того или иного комплекта баз ориентации [5], а также исходя из следующих основных положений: за базу, к которой относится неуказанный допуск перпендикулярности в одном координатном направлении, принимается элемент (или его ось) из числа обрабатываемых или необрабатываемых конструктивных элементов (в зависимости от того, какой граф формируется), имеющий больший линейный размер в рассматриваемых перпендикулярных направлениях, а при одинаковых размерах – поверхность, имеющая меньшую шероховатость; если деталь имеет элементы, для которых указаны допуски перпендикулярности, то неуказанные допуски следует относить к тем же базам, что и указанные; численные значения неуказанных допусков перпендикулярности также определяются в зависимости от номинального размера и определяющего допуска размера.

Графы  $U$  предлагается представлять в виде матрицы инцидентности. Под матрицей инцидентности понимается прямоугольная таблица вида  $U = \|u_{i,j}\|_{m \times l}$ , элементы которой образуются по правилу

$$u_{i,j} = \begin{cases} y_l, & \text{если ребро } y_l \text{ выходит из вершины } \bar{n}_m; \\ -y_l, & \text{если ребро } y_l \text{ входит в вершину } \bar{n}_m; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2)$$

где  $y_l = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_j \rangle$  – дуга графа, соединяющая вершину  $i$  с вершиной  $j$  (в матрицу записывается  $T$  – соответствующий допуск углового расположения);  $m$  – число вершин;  $l$  – число рёбер.

Следует отметить, что  $y_l = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_j \rangle$  и  $y_l = \langle \bar{n}_j, \bar{n}_i \rangle$  это различные дуги в графе  $U$ .

Для формального автоматического формирования матриц инцидентности предлагается использовать понятие единичного вектора плоскости или оси. Под единичным вектором плоскости будем понимать любой вектор единичной длины, перпендикулярный рассматриваемой плоскости. Под единичным вектором прямой будем понимать любой вектор единичной длины, параллельный рассматриваемой оси. Если определить координаты единичного вектора уравнения главной плоскости ФМ, проходящей через дан-

ную точку с заданным нормальным вектором и единичного вектора уравнения прямой ФМ в каноническом виде, то можно определять показатели взаимного углового расположения любых пар поверхностей внутри функционального модуля и детали в целом.

Выявления возможных составов баз ориентации (для рассматриваемой главной оси и плоскости ФМ) предлагается осуществлять с помощью совместного анализа графов размерных и угловых связей этапа. Для этого номер обрабатываемой поверхности (ее оси или плоскости) отыскивается на графе (по одной оси для плоской поверхности, по двум координатным осям для оси) размерных связей. Определяется ее связь или связи с другими ближайшими поверхностями на графах размерных связей. Далее для плоских поверхностей на графах угловых расположений обрабатываемых поверхностей комплект дополняется двумя поверхностями, для оси комплект дополняется одной поверхностью. Для определения принадлежности сформированных составов баз к одному из описанных выше определяется характер поверхности (ось или плоскость).

Для определения комплектов баз (числа налагаемых связей) предлагается использовать массив производственных моделей, соответствующих вариантам однозначного задания ориентации ФМ [5]. В том случае, если ориентируется несколько главных поверхностей ФМ, то число связей следует определять с помощью ранжирования численных значений допусков по компонентам состава баз и последующего определения приоритета компонента (в зависимости от этого значения). Например, если относительно состава баз, состоящего из трёх взаимно перпендикулярных плоскостей, ориентируется две оси и заданное численное значение допуска перпендикулярности одной оси относительно одной плоскости меньше численного значения допуска перпендикулярности второй оси относительно второй плоскости, то первая плоскость назначается установочной базой, а вторая – направляющей.

Для формирования схемы установки и компоновки приспособления определён состав установочных, установочно-зажимных и прочих элементов УСП, сформирована база данных па-



раметризованных моделей деталей комплектов, а также предложена общая структурная схема универсально-сборного приспособления

(рисунок 1).

Базовые детали УСП – это наиболее крупные детали, которые обычно служат основанием



Рисунок 1 – Фрагмент классификатора параметризованных компонентов УСП

приспособления. Наибольшее распространение получили квадратные, прямоугольные и круглые плиты (коды 1.1 и 1.2), базовые угольники (код 1.3) и другие. Они имеют Т-образные и шпоночные пазы размером 12 мм с допускаемым отклонением от параллельности и перпендикулярности не более 0,01 мм на 200 мм длины, а также систему точных крепёжно-ориентировочных отверстий. Пазы расположены с шагом 60 мм и служат для точной установки и крепления элементов при помощи шпонок и болтов. Назначение корпусных деталей – ориентация и крепление установочных, направляющих, прижимных и прочих деталей. Детали этой группы весьма разнообразны как по конструктивным формам, так и по количеству типоразмеров. К ним относятся: опоры угловые (код 2.1), угольники крепёжные, ребристые, с установочными отверстиями, обыкновенные (коды 2.2–2.5). Допуск параллельности и перпендикулярности плоскостей, осей и всех пазов корпусных деталей не более 0,01 мм на 100 мм длины. С такой же высокой точностью изготавливают ответственные детали и других групп. К направляющим деталям (код 3) относятся валики, колонки, кондукторные втулки, планки и другие детали, служащие для направления режущего инструмента и фиксации заготовки в приспособлении. Прижимные детали (код 4) – всевозможные прихваты (плоские, изогнутые, вильчатые и другие). Установочные детали (призмы с хвостовиком, опорные, подкладные) (коды 5.1–5.3), подкладки квадратные и прямоугольные (код 5.4), опоры квадратные и прямоугольные (коды 5.5–5.6), пальцы установочные (код 5.7 и другие) служат для установ-

ки обрабатываемых деталей. Крепежные детали служат для крепления всех элементов УСП (шпильки резьбовые, болты, винты, гайки, шайбы и тому подобное). К узлам относятся поворотные головки и кронштейны, бабки центровые, подвижные призмы, фиксаторы, делительные диски, откидные направляющие планки, прижимные колодки, кулачковые и тисочные зажимы и т. п. Детали комплекта изготавливаются из высококачественных легированных и инструментальных сталей различных марок и подвергаются термической обработке.

Для формирования состава установочных элементов УСП предлагается применять метод типовых технических решений, при реализации которого элементы схемы базирования заменяются соответствующими установочными элементами [5]. Для этого разработан массив сокращения вариантов технических решений для УСП (таблица 1).

При выборе вариантов технических решений учитываются следующие ограничения: тип производства, габариты и масса обрабатываемой детали, показатели качества базы, поверхность базирования (наружная, внутренняя), тип поверхности, характер базы (явная, скрытая), вид обработки (отделочная, чистовая, предварительная). Окончательно решение о выборе необходимого набора компонентов принимается с помощью интегральных показателей сложности состава установочных элементов на основе коэффициентов сложности (стоимости) установочных, установочно-зажимных компонентов.

Предложенные методики, модели и алгоритмы позволили создать систему поддерж-

Таблица 1 – Элементы таблицы соответствия и сокращения вариантов

База	Код	Габариты и масса обрабатываемой детали				Поверхность базирования		...
		м	с	к	ок	нар	внутр	...
Установочная	Тр 5.5.1	х	х			х		...
	Тр 5.5.2		х	х	х	х		...
	...	...	...	...	...	...	...	...
Направляющая	Тр 5.5.1	х	х			х		...
	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

ки принятия решений универсально-сборных приспособлений для корпусных деталей средних габаритных размеров при обработке на фрезерных обрабатывающих центрах. Система разработана как приложение графических редакторов Компас и Autodesk Inventor. Пользователь систем средствами графического редактора проектирует трехмерную твердотельную модель детали с кодированием функциональных модулей, допусков взаимного расположения и линейных размеров. В приложении задаются технологические возможности оборудования, вектора доступности для обработки и др. Пользователь может сам указать подлежащие обработке на операции конструктивные элементы. Далее си-

стема предлагает несколько вариантов маршрута обработки заготовки с указанием приоритетных базовых поверхностей для обеспечения допусков взаимного расположения функциональных модулей, состав установочных, установочно-зажимных и (или) зажимных элементов, рекомендует состав базовых, направляющих и прочих элементов УСП, формирует несколько вариантов трёхмерных компоновок приспособления, монтажные чертежи, а также наглядные схемы сборки-разборки сложных компоновок.

Система проходит апробацию на ОАО «Вистан» (г. Витебск) и в учебном процессе УО «ВГТУ». Так, на рисунке 2 показана модель состояния заготовки детали «Рукав 422-240711»

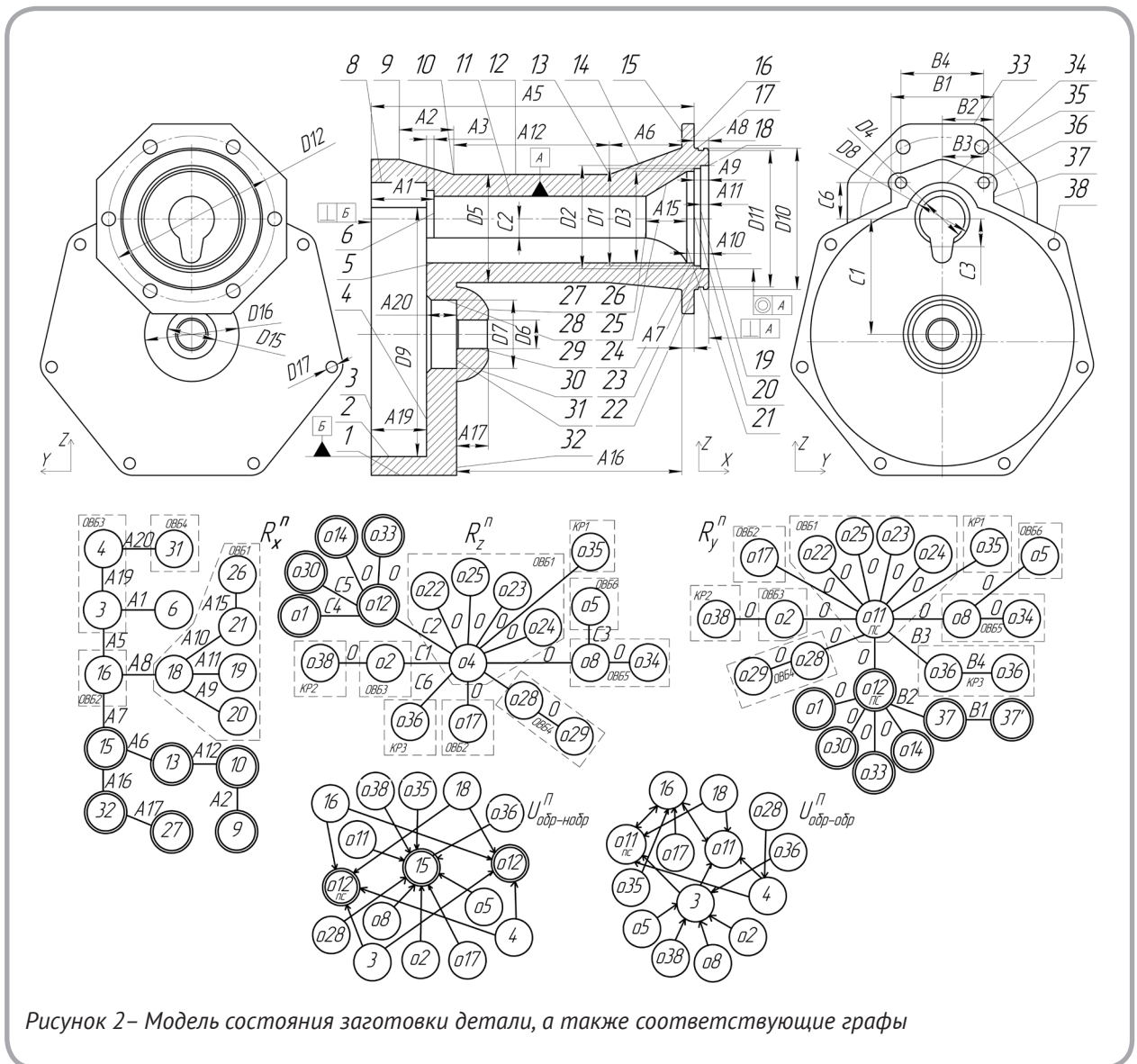


Рисунок 2 – Модель состояния заготовки детали, а также соответствующие графы



(ОАО «Вистан») на предварительном этапе, а также соответствующие графы. Деталь состоит из 6 ФМ образующих основную и вспомогательные сборочные базы, трех крепёжных ФМ и ряда объединительных ФМ. В таблице 2 представлены составы баз ориентации.

Пусть необходимо спроектировать приспособление обработки ФМ ОВБ1,2 и КР1 (поверхности о11 (о22, о23 ...), о17, 1618, о35) от комплекта баз о12-о12пс-15. Состав баз ориентации – две плоскости и ось, лежащая в одной из плоскостей. Определение числа связей (комплекта технологических баз) сводится к продукционной модели О22: если задан допуск

параллельности (соосности) относительно оси  $O_i$ , то ось  $O_i$  назначается двойной направляющей базой, плоскости  $P_i$  и  $P_j$  назначаются опорными базами [5].

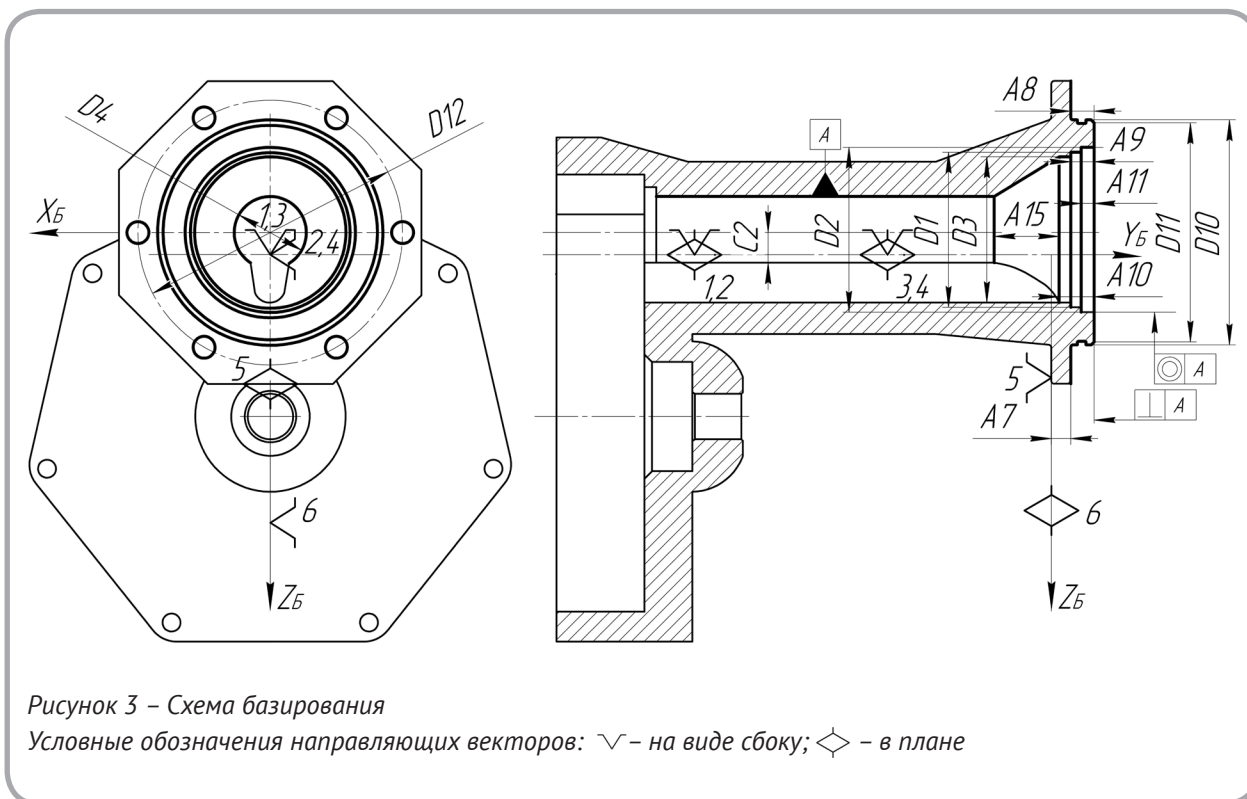
На рисунке 3 представлена схема базирования для рассматриваемой заготовки.

Для представленной схемы базирования формируется массив приемлемых технических решений по составу установочных элементов Тр5.2.2, Тр5.2.2, Тр5.8.1... Тогда схема установки для рассматриваемой заготовки примет вид, представленный на рисунке 4.

На рисунке 5 представлены интерфейсы работы программного обеспечения, ассоциатив-

Таблица 2 – Фрагмент таблицы составов баз ориентации

о11 (о22, о23 ...)	о17	о8	о5	18	16	...
о12-о12пс-15	о11-о11пс-15	о11-о11пс-15	о8-о8-15	о12-о12пс-15	о12-о12пс-15	...
о12-о12пс-16	о11-о11пс-16	о11-о11пс-16	о8-о8-3	о11-о11пс-16	о11-о11пс-16	
о17-о17-15		о5-о5-15				
о17-о17-16		о5-о5-16				
о2-о2-15						
...						



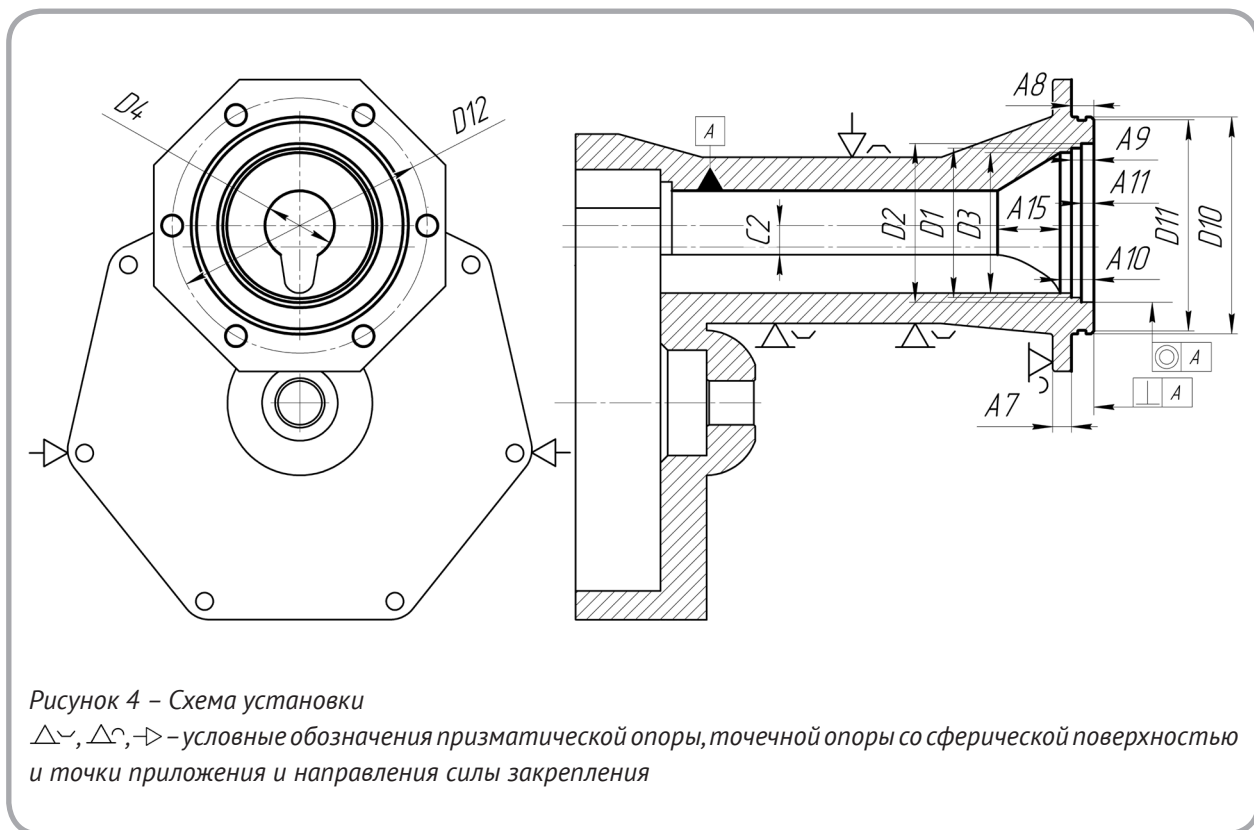


Рисунок 4 – Схема установки

$\triangleleft$ ,  $\triangle$ ,  $\rightarrow$  – условные обозначения призматической опоры, точечной опоры со сферической поверхностью и точки приложения и направления силы закрепления

ные схемы сборки и чертежи УСП, выполненные с помощью системы (деталь «Рукав 422-240711», ОАО «Вистан»).

#### ВЫВОДЫ

На основе системы понятий теории базирования предложен новый подход к моделированию УСП для заготовок корпусных деталей, заключающийся в последовательном определении возможных составов баз ориентации для всех конструктивных элементов; группировании идентичных составов; проверке возможности обработки элементов конструкции за один установ на имеющемся оборудовании; идентификации составов баз ориентации; определении числа налагаемых связей и синтезе состава установочных элементов приспособления, который при реализации сокращает трудоемкость проектных работ.

Представление разработанных методик на языке теории графов, алгебры логики, теории множеств, теории алгоритмов и теории размерных цепей позволило создать систему поддержки принятия решений синтеза УСП для механической обработки оригинальных нетиповых заготовок корпусных деталей средних габарит-

ных размеров и доказать их работоспособность.

Разработанная система позволяет: снижать вероятность неустраняемого брака за счет научно обоснованного решения вопроса обеспечения допусков взаимного расположения конструктивных элементов детали на этапе проектирования компоновки; снижать временные затраты на подготовку производства; собирать приспособления сборщиком невысокой квалификации; составлять наиболее рациональную номенклатуру пусковых комплектов; включить службу УСП в единую автоматизированную систему технологической подготовки производства.

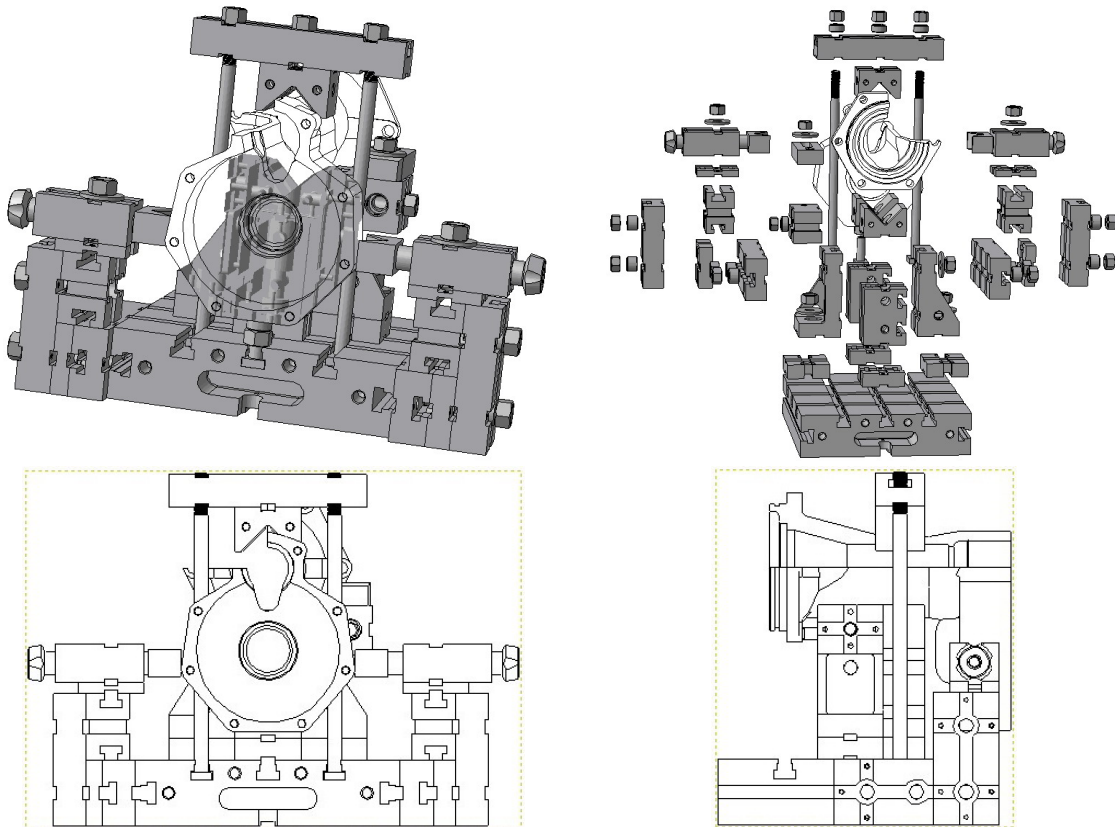
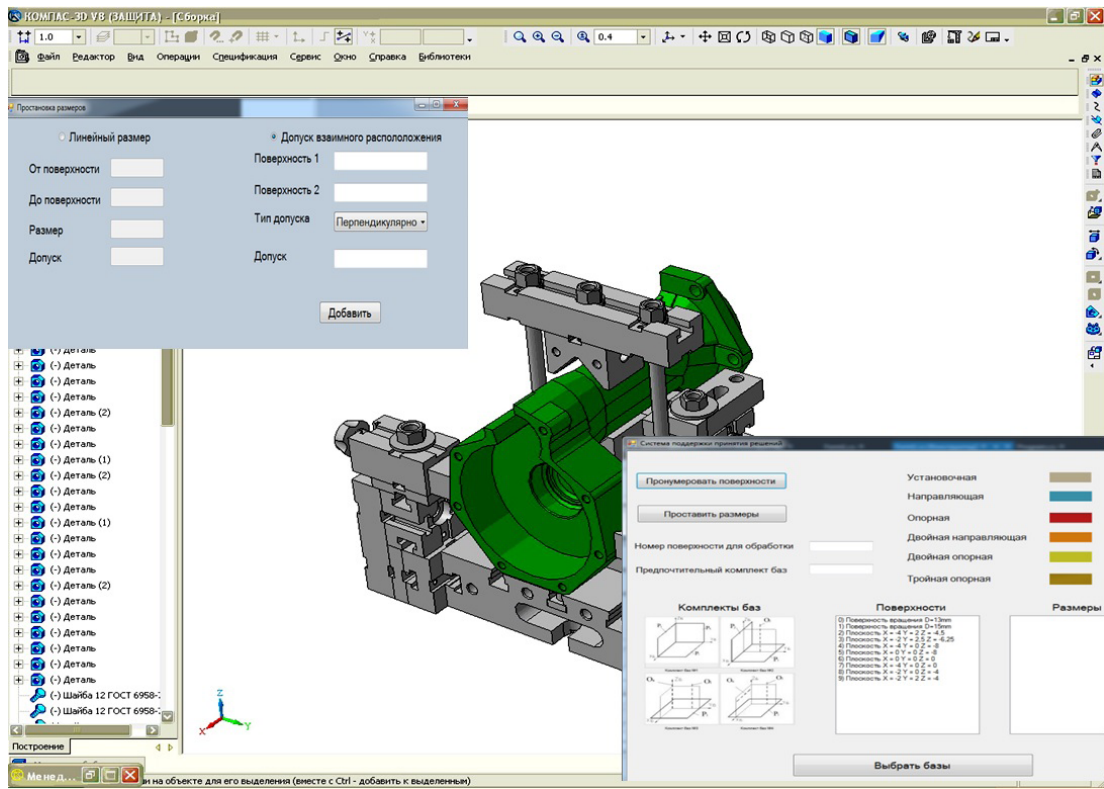


Рисунок 5 – Интерфейсы работы программного обеспечения, ассоциативные схемы сборки и чертежи УСП

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петров, П. С. (2017), Визуальная база данных параметрических элементов универсально-сборных приспособлений, *Вестник МГТУ СТАНКИН*, 2017, № 2, С. 30–31.
2. Серков, Е. А. (2010), Автоматизация процесса проектирования групповых станочных приспособлений, *Приборостроение*, 2010, № 08, С. 56.
3. Белов, Е. В. (2019), Разработка САПР УСП, *Тезисы докладов 52 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск, 2019, С. 254.
4. Южно-уральский завод универсально-сборных приспособлений и технологической оснастки [Электронный ресурс] / Универсально-сборные приспособления (УСП). – Режим доступа: <http://uspto.ru/>. – Дата доступа: 10.03.2020.
5. Махаринский, Е. И. (2008), Теория базирования в проблеме проектирования технологических процессов механической обработки и станочных приспособлений, *Вестник машиностроения*, 2008, № 9, С. 34–45.
6. Попок, Н. Н. (2010), Методы и модели компьютерного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей, *Вестник ПГУ, Серия В. Промышленность. Прикладные науки*, 2010, № 3, С. 68–75.
7. Попок, Н. Н. (2011), Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области, *Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*, 2011, № 11, С. 2–11.

## REFERENCES

1. Petrov, P. S. (2017), Visual database of parametric elements of universal prefabricated devices. [Vizual'naja baza dannyh parametriceskih jelementov universal'no-sbornyh prisposoblenij], *Vestnik MGTU STANKIN – Vestnik of MSTU STANKIN*, 2017, № 2, pp. 30–31.
2. Serkov, E. A. (2010), Automation of the design process of group machine tools [Avtomatizacija processa proektirovanija gruppovyh stanochnyh prisposoblenij], *Priborostroenie – Instrumentation*, 2010, № 8, p. 56.
3. Belov, E. V. (2019), Development of CAD USP [Razrabotka SAPR USP] *Abstracts of the 52nd International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vitebsk, 2019, p. 254.
4. Juzhno-ural'skij zavod universal'no-sbornyh prisposoblenij i tehnologicheskoj osnastki / Universal'no-sbornye prisposoblenija (USP) [South Ural plant of universal prefabricated fixtures and technological equipment / Universal prefabricated fixtures (USP)], (2020), available at: // [www.uspto.ru/](http://www.uspto.ru/) (accessed 10 March 2020).
5. Makharinsky, E. I. (2008), Basing theory in the problem of designing technological processes of machining and machine tools [Teorija bazirovanija v probleme proektirovanija tehnologiceskih processov mehanicheskoj obrabotki i stanochnyh prisposoblenij], *Vestnik mashinostroenija – Bulletin of mechanical engineering*, 2008, № 9, pp. 34–45.
6. Popok, N. N. (2010), Methods and models of computer-aided design of technological processes for manufacturing body parts [Metody i modeli komp'juternogo proektirovanija tehnologiceskih processov izgotovlenija korpusnyh detalej], *Vestnik PGU. Serija V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki – Vestnik PGU. Series B. Industry. Applied Sciences*, 2010, № 3, pp. 68–75.



7. Popok, N. N. (2011), The system of computer-aided design of technological processes for manufacturing body parts at machine-tool enterprises of the Vitebsk region [Sistema avtomatizirovannogo proektirovanija tehnologicheskikh processov izgotovlenija korpusnyh detalej na stankostroitel'nyh predpriyatijah Vitebskoj oblasti], *Vestnik PGU. Serija V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki – Vestnik PGU. Series B. Industry. Applied Sciences*, 2011, № 11, pp. 2–11.

Статья поступила в редакцию 18. 05. 2020 г.