

УДК 658.512

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ БАЗИРОВАНИЯ  
ДЛЯ СИНТЕЗА УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

*д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК*  
(Полоцкий государственный университет),  
*канд. техн. наук, доц. Н.В. БЕЛЯКОВ, Ю.Е. МАХАРИНСКИЙ, Д.Г. ЛАТУШКИН*  
(Витебский государственный технологический университет)

*Приводятся положения теории базирования для создания системы поддержки принятия решений синтеза компоновок универсально-сборных приспособлений для корпусных деталей средних габаритных размеров: разграничены понятия реального и проектного базирования при механической обработке, сборке и измерениях; определены понятия конструкторской и технологической баз, геометрической связи, комплекта баз, теоретической схемы базирования и установки; введены принципы однозначности и корректности ориентации конструктивных элементов. Представлена система поддержки принятия решений, которая позволяет с помощью упорядоченной совокупности проектных процедур производить автоматизированное проектирование 3D-моделей компоновок универсально-сборных приспособлений, их чертежей, а также технологических схем их сборки и разборки. Использование системы на машиностроительных предприятиях дает возможность снизить вероятность неустраняемого брака и временные затраты на подготовку производства.*

**Ключевые слова:** корпусная деталь, универсально-сборные приспособления, автоматизация проектирования, базирование, подготовка производства, машиностроение.

**Введение.** В общей номенклатуре деталей, применяемых в машиностроении, корпусные детали составляют порядка 5–20%, 60% из них являются деталями средних габаритных размеров. Корпусные детали состоят из различных функциональных модулей и имеют высокие требования по точности их взаимного расположения. В том случае, если заданная точность взаимного расположения не обеспечена, то деталь неизбежно перейдет в неустраняемый брак. Задачи обеспечения точности взаимного расположения конструктивных элементов должны решаться на стадии проектирования технологии и станочных приспособлений за счет рационального выбора баз. Базирование – это такой инструмент, который позволяет на стадии проектирования технологии обеспечить взаимное расположение комплекса обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей, равномерность снятия припуска с поверхностей, требуемые показатели точности размеров и допуски взаимного расположения конструктивных элементов.

В практической работе машиностроительных предприятий в большинстве случаев для каждой новой корпусной детали разрабатывается индивидуальный технологический процесс. Причем около 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. Проектирование компоновочной схемы приспособления зачастую не производится, а вопросы обеспечения точности взаимного расположения конструктивных элементов обрабатываемой детали, как правило, не рассматриваются.

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 3–4 тыс. у.е. В настоящее время отсутствуют САПР УСП с инструментарием автоматического формирования компоновок приспособлений с учетом обеспечения требуемых допусков взаимного расположения конструктивных элементов [1–5].

Главной причиной отсутствия работоспособных систем автоматизации проектирования компоновок УСП для корпусных деталей является несовершенство положений теории базирования. Несмотря на многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные теории базирования в машиностроении, и введение ГОСТ 21495-77 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения» (далее ГОСТ), дискуссии по этому вопросу ведутся до сих пор.

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 решены следующие задачи: проведен анализ современных подходов к теории базирования и корректировка ее понятийного аппарата; проведен анализ конструкторской и технологической документации базовых машиностроительных предприятий; разработано

методическое и алгоритмическое обеспечение процедуры синтеза задания на проектирование универсально-сборных приспособлений; разработан алгоритм функционирования и общая структура системы поддержки принятия решений синтеза компоновок универсально-сборных приспособлений 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 и производственные испытания.

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

Для 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 соответствующих бюро предприятий.

**Результаты исследований.** В ходе проведения исследований было проанализировано 360 информационных источников по тематике базирования в машиностроении. Установлено, что теорией базирования в машиностроении занимались многие известные исследователи. В работах К.М. Гладкова, Д.П. Маслова, Е.И. Глущенко, А.М. Каратыгина, Е.Г. Анненкова и др. не приводилось единого подхода к классификации баз и формированию основных понятий и определений теории. Выбор комплекта технологических баз рекомендовалось осуществлять на основе рекомендаций общего характера, пригодных для некоторых типов деталей (М.О. Якобсон, А.В. Эттель, Б.Л. Беспалов, Л.А. Глейзер и др.).

К 1976 г. под руководством Б.С. Балакшина была разработана иерархическая классификация основных понятий и определений теории базирования, отраженная в ГОСТе. Последователи и ученики Б.С. Балакшина (Л.Н. Воробьев, А.А. Гусев, Ю.М. Соломенцев, И.М. Колесов и др.) в своих исследованиях часто использовали основные положения ГОСТа.

Уже после издания ГОСТа появились работы А.А. Маталина, В.А. Клевцова, В.И. Серебрякова, А.Г. Раковича, Б.Н. Байора, В.Н. Емельянова, Е.И. Колыбенко, Ф.Н. Абрамова, Б.М. Базрова и др., в которых авторы не согласны с некоторыми его положениями [6–15].

Так, в работах Б.М. Базрова [14; 15] под схемой базирования понимается распределение координат трех точек по координатным плоскостям по схеме 3-2-1. Двойная опорная база может лишать заготовку двух поворотов или одного перемещения и одного поворота. Приводятся новые обозначения опорных точек. Утверждается, что всего возможно 6 вариантов комплектов баз. Предлагаемые изменения, по мнению автора, «позволяют снять многие вопросы, возникающие при решении задач базирования». Однако какие именно вопросы и каким образом снимаются – неясно. Правила, алгоритмы проектирования схем базирования, установки, порядок смены баз, задания на проектирование приспособлений не приводятся.

Появление такого множества трактовок, концепций и подходов к проблеме базирования, очевидно, является следствием несовершенства положений указанного ГОСТа, а именно: 1) не разграничиваются понятия проектного и реального базирования, теоретической схемы базирования и установки для каждого из этапов жизненного цикла объекта производства; 2) понятие «базирование» относится исключительно к заготовке или изделию целиком, а не к поверхностям или элементам конструкции; 3) в определении технологической базы ничего не говорится о цели введения схемы базирования и комплекта баз при механической обработке, сборке и контроле; 4) в один уровень классификации, согласно которой все базы подразделяются на конструкторские (основные и вспомогательные), технологические и измерительные, выделены понятия по разным признакам.

Для трансформации теории базирования в средство синтеза компоновок УСП предлагается разграничить понятия *реального* и *проектного* базирования. Под *реальным технологическим базированием* будем понимать процесс: ориентации заготовки (или элементов заготовки) и формообразующих элементов инструмента в заданной зоне станка при механической обработке (реальное базирование при механической обработке); взаимной ориентации деталей, сборочных единиц или их элементов при сборке изделия (реальное базирование при сборке); ориентации средств измерения по отношению к измеряемому объекту в процессе измерения (реальное базирование при измерении).

При механической обработке обрабатываемые поверхности заготовки и формообразующие поверхности инструмента следует базировать так, чтобы направляющая и образующая будущих поверхностей были сориентированы относительно подач станка. В принципе, можно обрабатывать поверхности и на станке, даже если они не сориентированы относительно подач. Для этого необходимы дополнительное управление и измерения, которые бы соответствующим образом связывали перемещения. При такой обработке снижаются производительность и качество (форма поверхности), а также значительно повышается себестоимость.

В технологии машиностроения используются три метода реального базирования при механической обработке: выверкой по разметке; выверкой по реальной технологической базе; сопряжением (с помощью станочного приспособления).

При базировании заготовки в станочном приспособлении необходимо такое ориентирование *обрабатываемых компонентов заготовки* по отношению к направлениям движений подачи (стола и (или) формообразующего компонента инструмента), которое обеспечит заданные чертежом допуски взаимного расположения и размеров. Для сборочных приспособлений необходимо такое ориентирование сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, которое обеспечит известные условия собираемости. Для контрольных приспособлений и комплексных калибров – ориентирование контролирующих компонентов относительно компонентов проверяемой детали, служащих началом отсчета, которое обеспечит надежное обнаружение годных и негодных (брак) деталей. Решение перечисленных задач при базировании сопряжением должно решаться на стадии проектирования приспособлений.

Процессу реального базирования должен предшествовать процесс *проектного базирования*. Под проектным базированием будем понимать процесс построения моделей реального базирования. Прежде чем изготавливать деталь, разрабатывается ее графическая модель (чертеж), модель технологического процесса ее изготовления и контроля и лишь затем модели необходимой оснастки.

При *конструировании детали* на ее чертеже с помощью размеров и допусков взаимного расположения задается ориентация рассматриваемого элемента конструкции по отношению к другим конструктивным элементам (т.е. задаются конструкторские базы). Под *конструкторской базой* будем понимать элемент геометрической (графической) модели *детали* (или сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат (как правило, декартовой), по отношению к которой задается ориентация другого (*рассматриваемого*) элемента.

*Технологическое проектное базирование* при механической обработке используется при проектировании технологического процесса обработки заготовки детали и станочных приспособлений. Проектное базирование при сборке используется при проектировании технологии сборки и сборочных приспособлений. Проектное базирование при измерении – при проектировании технологии измерения и самих средств измерений. Далее речь пойдет именно о процессе технологического проектного базирования при механической обработке.

Заготовка детали – промежуточное состояние объекта производства вплоть до выполнения последнего перехода заключительной операции технологического процесса. Для проектирования технологического процесса механической обработки заготовки необходимо сформировать геометрические модели ее состояния после выполнения переходов предварительного, чистового и отделочного этапов обработки (с учетом удаления напусков и припусков). Модели должны отражать поверхности, полученные в результате реализации рассматриваемого этапа, а также поверхности, полученные на предыдущих этапах. Для обеспечения *принципа единства конструкторских и технологических баз* (сокращения числа звеньев технологических размерных цепей) и уменьшения наследования погрешности получаемые поверхности необходимо структурно связать размерными связями и допусками взаимного расположения (задав их условными обозначениями) идентично их простановке на модели детали (чертеже). Условные обозначения размерных связей и допусков взаимного расположения поверхностей на моделях состояния заготовки ориентируют поверхности друг относительно друга.

Под проектной *технологической базой* при механической обработке (далее технологической базой) будем понимать элемент геометрической модели *заготовки детали* (или сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат (как правило, декартовой), по отношению к которой задается ориентация другого (*рассматриваемого обрабатываемого*) элемента. Указанную систему координат логично назвать *собственной*, т.к. она строится на элементах модели заготовки детали, или *базовой*, т.к. она определяет совокупность поверхностей, по отношению к которым ориентируется рассматриваемый обрабатываемый элемент (*состав технологических баз ориентации*).

По *характеру проявления* будем различать *явные* и *скрытые* базы. Скрытые базы – условные точки, линии и плоскости (например, симметрии). При реальном базировании речь может идти только о явных базах, при проектном – явных и скрытых.

По *виду* базы предлагается делить на *оси* и *плоскости*. Различные сочетания осей или плоскостей определяют составы технологических баз ориентации конструктивных элементов. Определено, что всего возможно четыре варианта составов баз ориентации, относительно которых возможны различные варианты угловой и размерной ориентации конструктивных элементов: 1) три взаимно перпендикулярные плоскости; 2) две взаимно перпендикулярные плоскости и одна ось, перпендикулярная к одной из этих плоскостей; 3) плоскость и две перпендикулярных к ней осей; 4) плоскость и две оси, одна из которых параллельна, а другая перпендикулярна к этой плоскости (рисунок 1).

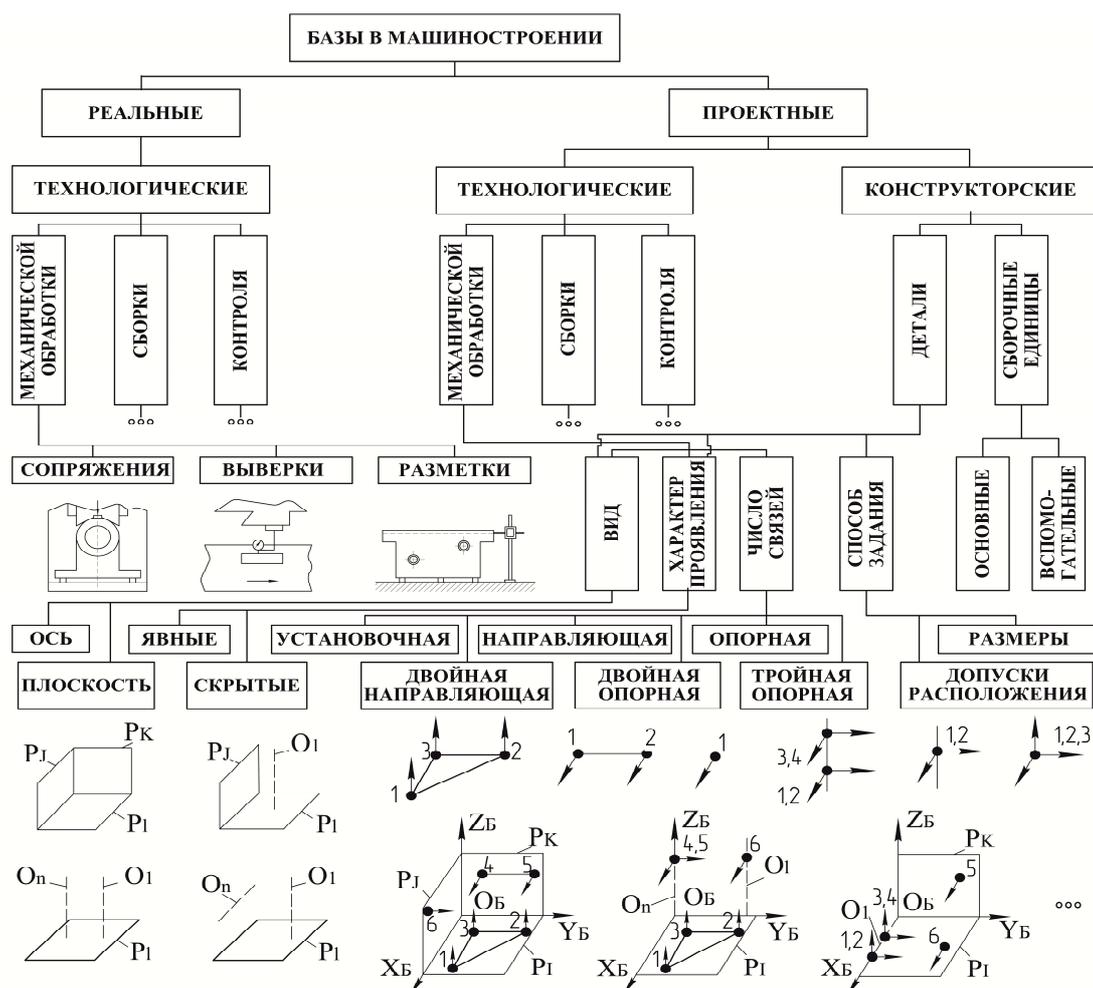


Рисунок 1. – Классификация баз

Относительное угловое положение оси осесимметричного элемента конструкции (поверхности вращения) на чертеже детали или оси рассматриваемой обрабатываемой поверхности на модели заготовки должно быть задано *необходимым и достаточным числом показателей*. Так, ось может быть: перпендикулярна только к одной плоскости или параллельна двум пересекающимся плоскостям, или параллельна к одной плоскости и составлять некоторый угол с плоскостью, которая перпендикулярна первой. Угловое положение плоского конструктивного элемента (плоскости) на чертеже детали или рассматриваемой обрабатываемой плоскости на модели заготовки также должно быть задано *необходимым и достаточным числом показателей*. Плоскость может быть перпендикулярна к двум пересекающимся плоскостям или к оси, или перпендикулярна к одной плоскости и составлять некоторый угол с другой, которая перпендикулярна к первой. Анализ взаимных угловых расположений оси и плоскости по отношению к базовым осям и (или) плоскостям позволил определить 62 возможных варианта однозначного задания допуска расположения.

Под целью проектного базирования будем понимать обеспечение (еще на стадии проектирования) требуемых показателей взаимного расположения поверхностей за счет наложения на поверхности баз ориентации *шести геометрических связей* (по аналогии с механическими связями). Связь отражает отсутствие неопределенности линейного (3 связи) и углового (3 связи) положения рассматриваемого обрабатываемого компонента относительно осей базовой системы координат и определяет положение точки сопряжения (соприкосновения) элементов геометрической модели заготовки с базовой системой координат.

Чтобы определить направление связи и направление оси базовой системы координат, предлагается использовать *понятие направляющего вектора*. Направляющий вектор – единичный вектор с началом в точке сопряжения, перпендикулярный соответствующей плоскости базовой системы координат и имеющий одинаковое направление с осью базовой системы координат. Направляющий вектор задает направление оси базовой системы координат. Поэтому формирование базовой системы координат осуществляется одновременно с наложением на геометрическую модель заготовки геометрических связей.

По числу точек сопряжения (налагаемых связей) базы предлагается делить на следующие типы: установочные, направляющие, опорные, двойные опорные, двойные направляющие базы (согласно ГОСТу). Также предлагается использовать новое понятие – тройная опорная база (см. рисунок 1).

С помощью понятий «точка сопряжения», «направляющий вектор» и «связь» несложно дать определение перечисленным базам. Так, под *установочной базой* предлагается считать три точки сопряжения, не лежащие на одной прямой и имеющие одинаковое направление направляющих векторов, накладывающиеся на геометрическую модель заготовки три связи: одну линейную и две угловых. Установочная база на модели заготовки может быть реализована: плоскостью; двумя образующими, которые принадлежат пересекающимся или параллельным цилиндрам и лежат в одной плоскости; образующими цилиндра и конуса, лежащими в одной плоскости; направляющей окружностью тора; наружными точками трех сфер, лежащих в одной соприкасающейся с ними плоскости; двумя пересекающимися (или параллельными) осями цилиндров. *Направляющая база* формируется двумя несшившимися точками сопряжения, имеющими одинаковое направление направляющих векторов. Двойная однонаправленная база накладывает на модель заготовки две связи, которые обеспечивают определенность расстояния обрабатываемого элемента геометрической модели заготовки вдоль одной из осей базовой системы координат и определенность углового положения (поворота) вокруг одной из двух других осей. Двойную однонаправленную базу можно реализовать: плоскостью модели заготовки; осью цилиндра; образующей цилиндра; точками, которые лежат на общей касательной к двум наружным цилиндрам; линией пересечения двух плоскостей и т.д.

Для наложения на геометрическую модель заготовки шести связей базы могут *сочетаться между собой в комплект* девятью различными способами: 1) установочная, направляющая и опорная базы; 2) установочная двойная опорная и опорная базы; 3) двойная направляющая и две опорные базы; 4) двойная направляющая и двойная опорная базы; 5) тройная опорная и три опорные базы; 6) тройная опорная, двойная опорная и опорная базы; 7) тройная опорная направляющая и опорная базы; 8) три направляющих базы; 9) три двойных опорных базы.

Варианты комплектов баз можно условно разделить на четыре класса. Первый класс объединяет варианты, в которых главной является установочная база. Второй класс – варианты, в которых главной является двойная направляющая база. К третьему классу относятся варианты, в которых главной является тройная опорная база. К четвертому классу – варианты, где нет главной базы, а комплект технологических баз образуется сочетанием трех одинаковых баз.

Под *теоретической схемой базирования* при механической обработке (или просто *схемой базирования*) будем понимать графическое изображение геометрической модели заготовки (абсолютно твердого тела, поверхности которого (в т.ч. плоскости, оси и центры симметрии) идеальны) в состоянии после обработки поверхностей за один установ на рассматриваемой операции, на которой выделены обработанные поверхности, проставлены условные обозначения выдерживаемых размерных связей и допусков взаимного расположения, условные значки, интерпретирующие точки сопряжения и направляющие векторы, накладывающие *б связей*, а также проведена базовая система координат.

Под *теоретической схемой установки* будем понимать графическое изображение геометрической модели заготовки (абсолютно твердого тела, поверхности которого (в т.ч. плоскости, оси и центры симметрии) идеальны) в состоянии после обработки поверхностей за один установ на рассматриваемой операции, на которой выделены обработанные поверхности, проставлены условные обозначения выдерживаемых размерных связей и допусков взаимного расположения и условные обозначения установочно-зажимных элементов приспособления, точки приложения и направления силы закрепления. Теоретическая схема установки – задание на выбор существующего или проектирование нового станочного приспособления.

Предлагаемые 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 приспособления.

При переходе от первой процедуры проектирования к последней происходит наращивание объема информации о процессе реального базирования. Однако никогда модель базирования не может быть тождественна реальному процессу, но это и не требуется. Процедуры 1–4 играют особую роль в процессе проектирования технологического процесса и приспособления. 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 [17; 18]). 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 – 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  $R_{(x,y,z)}^P$ ,  $R_{(x,y,z)}^C$ ,  $R_{(x,y,z)}^O$  ( $P$ ,  $C$ ,  $O$  – 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*)  $U_{n_1^{обр-нобр}}^P$ ,  $U_{n_1^{обр-нобр}}^C$ ,  $U_{n_1^{обр-нобр}}^O$ ,  $U_{n_1^{обр-обр}}^P$ ,  $U_{n_1^{обр-обр}}^C$ ,  $U_{n_1^{обр-обр}}^O$ . Для внутримашинного оперирования графы  $R_{(x,y,z)}$  представляются с помощью матриц смежности, а графы  $U$  – в виде матриц инцидентности.

Выявление 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 ( $O$ ) или плоскости ( $P$ )) 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 (кратчайшие пути на графе от рассматриваемой поверхности до других поверхностей). Далее для плоских поверхностей на графах угловых расположений обрабатываемых поверхностей комплект дополняется двумя поверхностями, для оси – 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 продукционных моделей, соответствующих вариантам однозначного задания ориентации ФМ [19]. 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 трех 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 определен состав установочных, установочно-зажимных и прочих элементов УСП, сформирована база данных параметризованных моделей деталей комплектов ОАО «ВИСТАН» (Витебск), а также предложена общая структурная схема универсально-сборного приспособления (рисунок 2).

Для формирования состава установочных элементов УСП предлагается применять метод типовых технических решений, при реализации которого элементы комплекта схемы базирования заменяются соответствующими установочными элементами [19]. 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. Разработаны ориентировочные таблицы сложности тех или иных установочных компонентов в зависимости от габаритных размеров. Данные таблицы построены на основе анализа прайс-листов на компоненты УСП.

Предложенные методики, модели и алгоритмы позволили создать систему поддержки принятия решений универсально-сборных приспособлений для корпусных деталей средних габаритных размеров при обработке на фрезерных обрабатывающих центрах. Система разработана как приложение графических твердотельных 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.

1 Базовые детали							
1.1 Плиты квадратные и прямоугольные							
1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.1.6	1.1.7	
1.2 Плиты круглые							
1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4	1.2.5	1.2.6	1.2.7	
...							
2 Корпусные детали							
2.1 Опоры угловые			2.2 Угольники крепежные				
2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2	2.2.3	2.2.4	2.2.5	
2.3 Угольники ребристые							
2.3.1	2.3.2	2.3.3	2.3.4	2.3.5	2.3.6	2.3.7	2.3.8
2.4 Угольники с установочным отверстием				2.5 Угольники обыкновенные			
2.4.1	2.4.2	2.4.3	2.4.4	2.5.1	2.5.2	2.5.3	2.5.4
5 Установочные детали							
5.1 Призмы с хвостовиком			5.2 Призмы опорные				
5.1.1	5.1.2	5.2.1	5.2.2	5.2.3	5.2.4	5.2.5	
...							
5.5 Опоры квадратные			5.6 Опоры прямоугольные				
5.5.1	5.5.2	5.5.3	5.6.1	5.6.2	5.6.3		
5.7 Пальцы установочные цилиндрические и срезанные постоянные и сменные							
5.7.1	5.7.2	5.7.3	5.7.4	5.7.5	5.7.6		
...							

Рисунок 2. – Фрагмент классификатора параметризованных моделей компонентов УСП

Таблица 1. – Элементы таблицы соответствия и сокращения вариантов

База	Код	Габариты и масса обрабатываемой детали				Поверхность базирования		...
		м	с	к	ок	наружная	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		...
	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

В приложении задаются технологические возможности оборудования, векторы доступности для обработки и др. Пользователь может сам указать подлежащие обработке на операции конструктивные элементы. Далее система 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 трехмерных компоновок приспособления, монтажные чертежи, а также наглядные схемы сборки-разборки сложных компоновок.

Система проходит апробацию на ОАО «Вистан» (Витебск) и в учебном процессе УО «ВГТУ». Так, на рисунке 3 показана модель состояния заготовки детали «Рукав 422-240711» (ОАО «Вистан») на предварительном этапе, а также соответствующие графы. Деталь состоит из шести ФМ, образующих основную и вспомогательные сборочные базы, трех крепежных ФМ и ряда объединительных ФМ. В таблице 2 представлены составы баз ориентации.

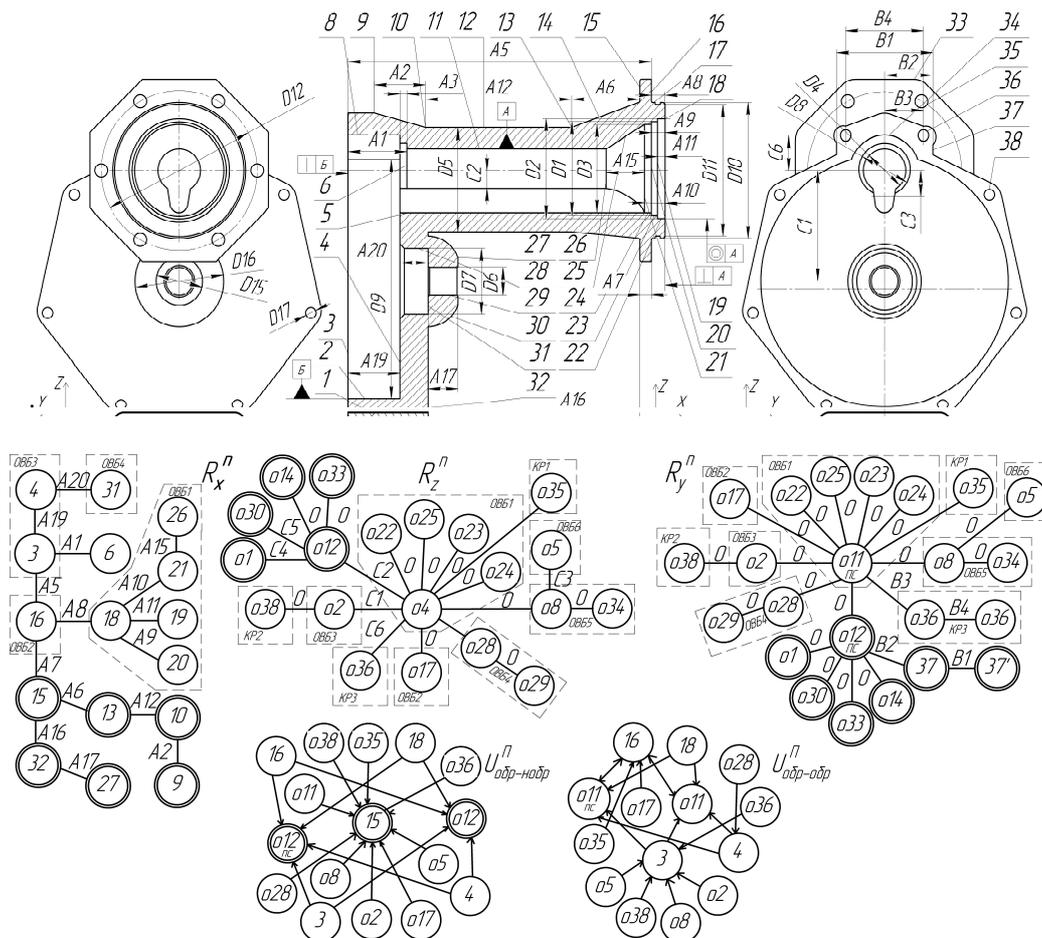


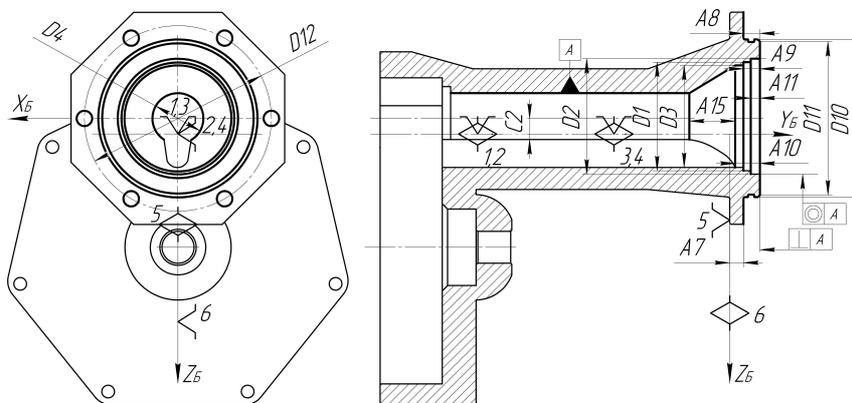
Рисунок 3. – Графическая модель состояния заготовки детали, а также соответствующие графы

Таблица 2. – Фрагмент таблицы составов баз ориентации

o11 (o22, o23 ...)	o17	o8	o5	18	16	...
o12-o12пс-15 o12-o12пс-16 o17-o17-15 o17-o17-16 o2-o2-15 ...	o11-o11пс-15 o11-o11пс-16	o11-o11пс-15 o11-o11пс-16 o5-o5-15 o5-o5-16	o8-o8-15 o8-o8-3	o12-o12пс-15 o11-o11пс-16	o12-o12пс-15 o11-o11пс-16	...

Пусть необходимо спроектировать приспособление обработки ФМ ОВБ1, 2 и КР1 (поверхности o11 (o22, o23 ...), o17, 1618, o35) от комплекта баз o12-o12пс-15. Состав баз ориентации – две плоскости и ось, лежащая в одной из плоскостей. Определение числа связей (комплекта технологических баз) сводится к производственной модели o22: если задан допуск параллельности (соосности) относительно оси  $O_1$ , то ось  $O_1$  назначается двойной направляющей базой, плоскости  $P_1$  и  $P_2$  назначаются опорными базами [19].

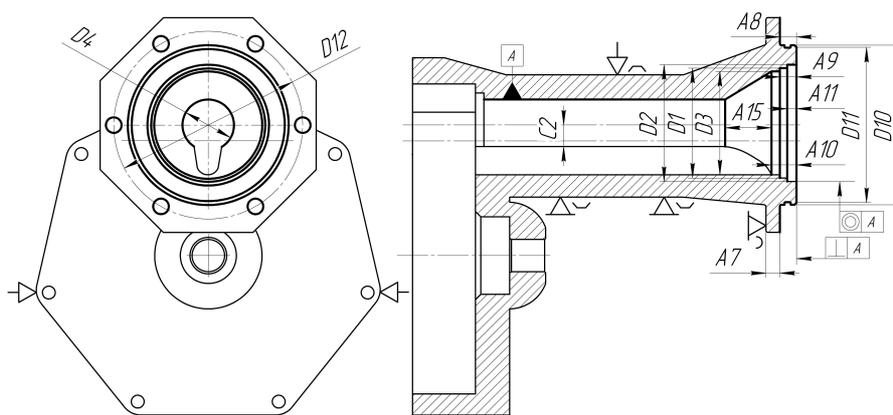
На рисунке 4 представлена схема базирования для рассматриваемой заготовки.



Условные обозначения направляющих векторов:  $\sphericalangle$  – на виде сбоку;  $\diamond$  – в плане

Рисунок 4. – Схема базирования

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 5.



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

Рисунок 5. – Схема установки

На рисунке 6 представлены интерфейсы работы программного обеспечения, ассоциативные схемы сборки и чертежи УСП, выполненные с помощью системы (деталь «Рукав 422-240711», ОАО «Вистан»).

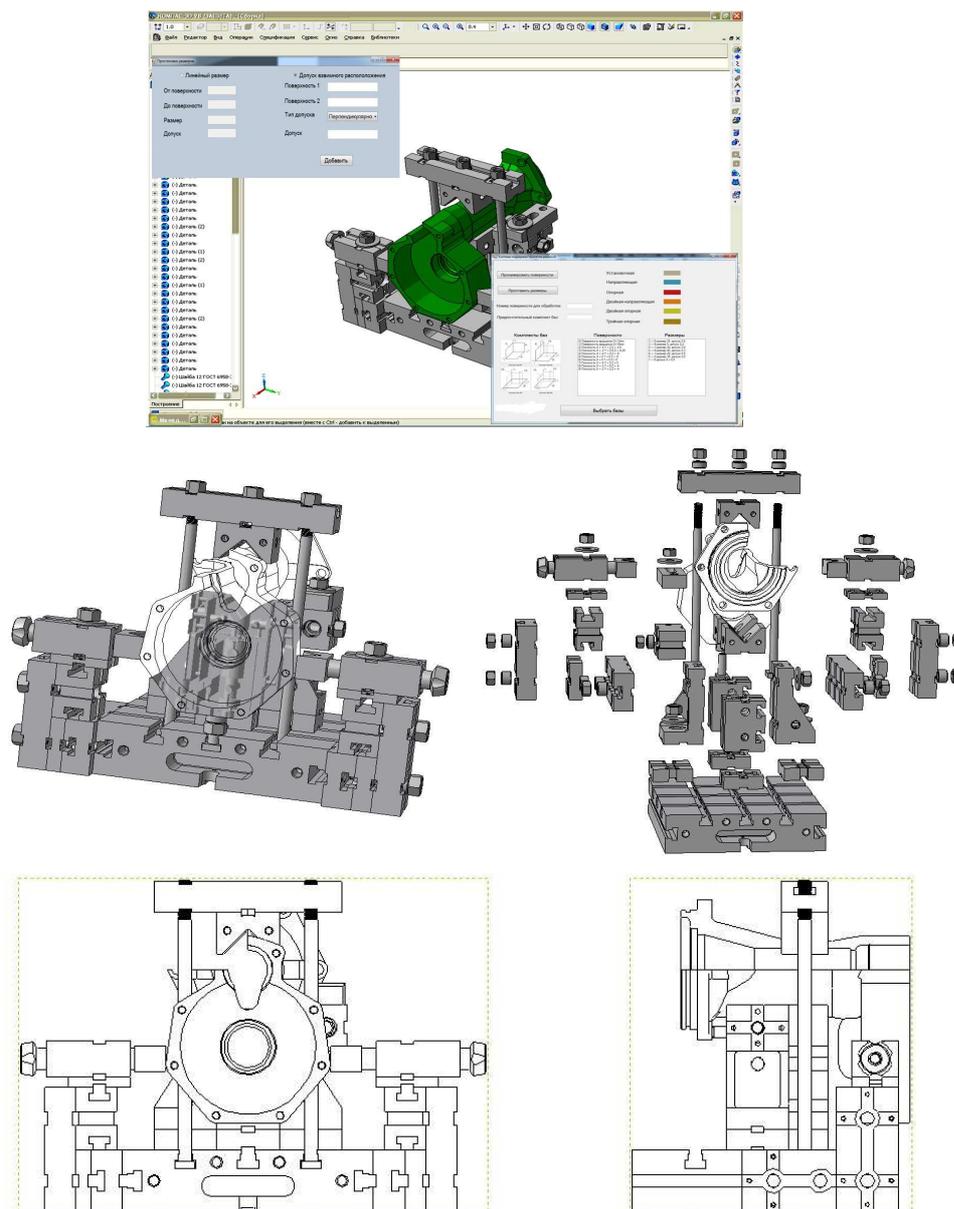


Рисунок 6. – Интерфейсы работы программного обеспечения, ассоциативные схемы сборки и чертежи УСП

**Заключение.** Предложена система понятий базирования, которая за счет разграничения реального и проектного базирования при механической обработке, сборке и измерениях, теоретической схемы базирования и установки и введения положения об однозначности и корректности ориентации конструктивного элемента позволяет моделировать универсально-сборные приспособления для заготовок корпусных деталей.

На основе сформулированных понятий 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 габаритных 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, П.С. Визуальная база данных параметрических элементов универсально-сборных приспособлений / П.С. Петров, А. Н. Феофанов // Вестн. МГТУ СТАНКИН. – 2017. – № 2. – С. 30–31.
2. Серков, Е.А. Автоматизация процесса проектирования групповых станочных приспособлений / Е.А. Серков // Приборостроение. – 2010. – № 08. – С. 56–59.
3. Белов, Е.В. Разработка САПР УСП / Е.В. Белов, Е.С. Окунев // Тезисы докладов 52 Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – С. 254.
4. Южно-Уральский завод универсально-сборных приспособлений и технологической оснастки [Электронный ресурс] : Универсально-сборные приспособления (УСП) / Сайт производителя. – Электрон. текст. данные. – Режим доступа: <http://uspto.ru/>. – Дата доступа: 10.03.2020.
5. Завод специальной взаимозаменяемой технологической оснастки [Электронный ресурс] : Каталоги СВТ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://svto.info/>. – Дата доступа: 10.03.2020.
6. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 464 с.
7. Базирование в проблеме разработки АСТПП / В. А. Клевцов [и др.] // Технологические исследования и разработки в системах автоматизированного проектирования : сб. науч. тр. – Владивосток, 1980. – С. 32–43.
8. Автоматизация проектирования ТП и средств оснащения / под ред. А.Г. Раковича. – Минск : Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 276 с.
9. Серебряков, В.И. Материализация схем базирования заготовок установочными элементами / В.И. Серебряков // Машиностроение : сб. науч. тр. / под ред. И.П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2002. – Вып. 18. – С. 156–160.
10. Байор, Б.Н. О развитии методологии базирования / Б.Н. Байор // СТИН. – 2000. – № 3. – С. 24–26.
11. Емельянов, В.Н. О разработке теоретических схем базирования / В.Н. Емельянов // СТИН. – 2002. – № 1. – С. 32–34.
12. Колыбенко, Е.И. Системные знания теории базирования в машиностроении / Е.И. Колыбенко // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 10. – С. 56–63 ; № 11. – С. 49–55.
13. Абрамов, Ф.Н. О разработке терминологии базирования в машиностроении / Ф.Н. Абрамов // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 67–72.
14. Базров, Б.М. Теория и практика базирования в машиностроении / Б.М. Базров // Вестн. машиностроения. – 2017. – № 4. – С. 5–10.
15. Базров, Б.М. Практическое приложение теории базирования в машиностроении / Б.М. Базров // Вестн. машиностроения. – 2017. – № 5. – С. 6–11.
16. Попок, Н.Н. Методы и модели компьютерного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей / Н.Н. Попок, Н.В. Беляков // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2010. – № 3. – С. 68–75.
17. Беляков, Н.В. Информационная модель объекта производства в задаче компьютерного проектирования технологических процессов изготовления нетипизированных деталей / Н.В. Беляков, Н.Н. Попок // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. – 2009. – Вып. 17. – С. 111–117.
18. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области / Н.Н. Попок [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 11. – С. 2–11.
19. Махаринский, Е.И. Методика синтеза индивидуальных технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Е.И. Махаринский, Н.В. Беляков // Вестн. машиностроения. – № 2. – 2005. – С. 57–65.

Поступила 04.06.2020

**PRACTICAL APPLICATION OF BASING THEORY  
FOR SYNTHESIS UNIVERSAL-PREFABRICATED DEVICES**

**N. POPOK, N. BELYAKOV, Y. MAKHARINSKY, D. LATUSHKIN**

*Are proposals theory-based to create a system of decision support for the synthesis of versatile layouts-prefabricated accessories for body parts medium dimensions: distinction between real and project-based machining, Assembly and measurements; defines the concepts of design and technological bases, geometric relationships of a set of databases, theoretical schemes of deployment and installation; introduced a principles on the uniqueness and correctness of the orientation of the structural elements. The presented decision support system allows using an ordered set of design procedures to perform computer-aided design of 3 - d models of universal Assembly devices, their drawings, as well as technological schemes for their Assembly and disassembly. The use of the system in machine-building enterprises allows you to: reduce the probability of irretrievable marriage and the time spent on production preparation.*

**Keywords:** housing part, universal-assembled devices, design automation, basing, production preparation, mechanical engineering.