

**В. В. ТРЕТЬЯК, А. В. ОНОПЧЕНКО, А. С. ФЕДОРОВА***Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»***ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТОДОМ «БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА»**

*В летательных аппаратах и двигателях используются детали для выполнения сложных функций: обеспечения несущей способности узлов и изделия в целом; разграничения различных сред – рабочих и окружающих, имеющих различные параметры по давлению, температуре, плотности, скорости, обеспечения минимальных потерь при обтекании потоками различных сред и т.д. Силовые функции в большинстве случаев выполняют детали оболочковой формы либо плоские с элементами жесткости, а функции разграничения сред – детали с канальными поверхностями. Данные детали могут изготавливаться методами импульсной штамповки. Разработан программный комплекс, позволяющий проектировать импульсные технологии методом «ближайшего соседа». Данные о деталях представлены на нескольких информационных уровнях – уровне генеральной формы, фрагментов и дополнительных элементах, рельефа и точности. На уровне генеральной формы данные о деталях представить в виде совокупности трех основных компонентов: дна, стенки и фланец. На данных компонентах выполняются фрагменты и дополнительные элементы, воспринимающие нагрузки, а также локальные элементы для размещения и крепления в них датчиков, приборов, узловых единиц. Программный комплекс позволяет использовать несколько возможных вариантов проектирования: без изменения структуры аналога и параметрической настройки (метод полного заимствования аналога); без изменения структуры аналога (метод заимствования аналога с параметрической настройкой); с изменением структуры аналога. При близком аналоге детали доработка в аналоге сводится в основном к корректировке режимов обработки. При отсутствии такого, используется несколько аналогов, и доработке подвергается весь аналог и его структурные единицы на основе синтеза новых технологических решений. Для устойчивого в производстве массива деталей с близкими конструкторско-технологическими свойствами создается типовой технологический процесс для комплексной детали, в которой отражены основные совокупности поверхностей и их элементов, характерных для всего массива. В программе используется несколько алгоритмов поиска «ближайшего соседа». В программе используются алгоритмы по евклидову расстоянию, по квадрату евклидова расстояния, по расстоянию Чебышева и степенного расстояния Минковского. Представлены основные алгоритмы, экранные формы программного комплекса и возможности программного комплекса.*

**Ключевые слова:** импульсные технологии; проектирование технологического процесса; метод адресации; метод ближайшего соседа

**Введение**

Применение в авиационной технике более прочных материалов, более тонкого листа для производства крупногабаритных деталей со сложными криволинейными поверхностями при минимальном количестве технологических членений деталей и узлов, исключая использование сварочных операций, позволяет значительно повысить надежность эксплуатации и тактико-технические данные летательных аппаратов и двигателей.

В конструкции двигателей удельный вес оригинальных деталей постоянно увеличивается, и хотя доля их составляет 15...20 % от общего объема всех листовых деталей, именно применение оригинальных деталей и обуславливает существенное повышение перечисленных качеств авиационной

техники.

Для изготовления подобных деталей применяются в основном метод взрывной штамповки [1-3].

Постоянное совершенствование оборудования и оснащения, изменение форм и габаритов деталей, использование более прочных материалов для их изготовления потребовало применение нового подхода к проектированию технологических процессов взрывной штамповки, который позволил бы обеспечить решение основных задач технологической подготовки производства (ТПП) в кратчайшие сроки при минимальных затратах на проектирование и подготовку производства. Учитывая общую тенденцию широкого использования информационных компьютерных технологий, данные работы должны органично вписываться в жизненный цикл авиационной техники.

## 1. Анализ состояния процессов взрывной штамповки

Высокоскоростные методы обработки металлов характеризуются большими скоростями и ускорениями деформирования, наличием больших пластических деформаций, кратковременностью процесса, быстроизменяющимся во времени очагом деформации. Деформирование металла практически не зависит от источника энергии и свойств передаточной среды, а зависит от свойств деформируемого металла при соответствующих температурно-скоростных условиях и величины энергии, переданной заготовке в процессе ее нагружения.

Взаимодействие пластически деформируемого металла с передаточной средой или жестким телом (матрицей) в течение малого промежутка времени приводит к возникновению в металле инерционных сил, которые в свою очередь, вызывают дополнительные динамические нагружения. Изменяется область пластических деформаций. Инерционные силы препятствуют распространению деформаций при разгоне или движении заготовки, что уменьшает или локализует зоны пластического деформирования. При контакте заготовки с поверхностью матрицы происходит торможение и возникновение дополнительных зон пластического деформирования.

Высокоскоростной обработке также присуще развитие тепловых эффектов, волновых явлений и изменение механических свойств металлов.

Листовую штамповку взрывом теоретически обосновал и экспериментально подтвердил апробацией на ряде технологических схем получения деталей профессор Харьковского авиационного института Р. В. Пихтовников, что нашло отражение в фундаментальных исследованиях.

В этот период создавалось большое количество новых образцов техники, что обусловило острую потребность в крупногабаритных деталях из тонколистовых заготовок.

Особенно остро стояла проблема повышения качества таких деталей при производстве образцов авиационной техники, т.к. пресловое оборудование с потребными усилиями и размерами рабочей области отсутствовало.

Изготовление уникальных деталей по габаритам и форме на экспериментальных участках показала высокую эффективность взрывной штамповки, простоту реализации процесса и возможность ее широкого использования в промышленных условиях.

На созданных участках взрывной штамповки в оборонных отраслях промышленности, а именно для

этих отраслей были необходимы детали высокой точности из новых высокопрочных материалов, были реализованы основные технологические схемы штамповки и конструкции различных типов технологического оборудования. Капитальные затраты на его создание в десятки раз были ниже, чем для преслового оборудования соответствующих усилий.

Большинство разработок технологических процессов и оборудования для взрывной штамповки выполнялось совместно специалистами ХАИ и отраслевых институтов авиационной промышленности и общего машиностроения.

Таким образом, была создана научная школа импульсной обработки ХАИ и была реализована единая методологическая база при создании новой технологии. Научные исследования на первой стадии становления новых методов штамповки, как перспективной технологии изготовления листовых деталей, были направлены на исследование явлений, на которых они базировались.

Большой вклад в разработку теоретических основ импульсной штамповки внесли ученые, выполнявшие исследования в таких предметных областях как физика взрыва, механика деформируемого тела, в том числе при высокоскоростном нагружении, гидродинамика взрыва, технология штамповки. Среди них следует отметить: М. А. Лаврентьева, А. А. Ильюшина, К. П. Станюковича, О. Д. Антоненко, М. А. Анучина, Ю. С. Яковлева, а также учеников Р. В. Пихтовникова – В. К. Борисевича, Ю. Н. Алексеева, В. И. Завьялова и других.

Среди зарубежных исследователей, труды которых способствовали становлению взрывной штамповки, следует отметить таких ученых: Р. Коула, Дж. Райнхардта, Дж. Пирсона, Ф. Уилсона, Р. Кирквуда.

Трудности при изучении процессов деформирования металлов подводным взрывом обусловлены большим разнообразием физических явлений протекающих при этом.

Выполненные исследования этих явлений были проведены для другой предметной области и были ограничены рамками конкретно поставленных задач не связанных со штамповкой.

Однако их результаты позволили создавать модели импульсного нагружения в процессах штамповки.

В отличие от статических методов, при анализе которых основное внимание уделяется механике процесса пластической деформации, импульсные процессы необходимо рассматривать с особенностями превращения одного вида энергии в другой.

## 2. Опыт проектирования импульсных процессов

Проведенные исследования обеспечили решение наиболее сложной задачи на этапе становления взрывной штамповки, как прогрессивной технологии: определение оптимальных режимов обработки, создание методик расчетов и апробирование основных схем штамповки при изготовлении деталей сложной конфигурации авиационной техники в серийном производстве.

Разработанные методы расчета массы заряда дополняют друг друга, рациональное их использование обусловлено стадией проектирования; схемой штамповки, производственными условиями. Благодаря этим методам расчета и общим рекомендациям по выбору схемы штамповки, технолог с учетом накопленного опыта априорно назначает схему штамповки и для нее определяет величину заряда, потребную для получения детали. В зависимости от свойств детали может использоваться несколько штамповочных переходов или операций. Если искомая деталь близка к тем, для которых на предприятии отработаны технологические процессы (ТП), или к типовым, представленным в соответствующих РТМ, то выбранный аналог дорабатывают интуитивно, на основе логики и опыта.

Такой подход к проектированию технологии обусловлен тем, что для деталей, отштампованных из листа, не установлены признаки технологического подобия, и взаимосвязи свойств детали и ТП, в соответствии с которыми можно было бы внести корректные изменения в ТП при несовпадении свойств детали. Наиболее сложно устанавливать свойства ТП на начальных уровнях проектирования: назначении принципиальной схемы и маршрута обработки.

Специальные операции и специальные технологические приемы (СТП) позволяют в рамках принятой схемы штамповки интенсифицировать пластическое течение в одном направлении и блокировать в другом (на опасном участке заготовки).

Их применение было обусловлено снижением затрат на совместимость свойств исследованных схем штамповки и свойств оригинальных деталей: так, утонение можно снизить на 20...30 % при минимальных затратах, т.е. без существенных доработок штампов, увеличения технологических припусков у заготовки и изменения схемы штамповки. Однако накопленный опыт применения СТП не систематизирован и не обобщен, не установлены критерии при их выборе, чтобы использовать их при проектировании ТП. Возможности совершенствования схем штамповки с эластичным (и жидкостным) ин-

струментом проанализированы в работе благодаря их классификации

## 3. Методы разработки современных технологических процессов

Результаты накопленного опыта и практики взрывной штамповки мало используются для принятия решений при выборе принципиальной схемы и назначении маршрута обработки в условиях недостаточности априорной информации, не привлекаются математические методы обработки таких данных.

Системный подход к методам проектирования ТП наиболее полно разработан для механической обработки.

В процессах проектирования ТП решаются две основные проблемы: формирование его структурной модели и определение параметров элементов. В предложенной С. П. Митрофановым и других классификациях методов проектирования ТП используются процедуры [4]:

а) выбора решений, если возможные решения в системе представлены соответствующими алгоритмами;

б) синтеза; возможные решения komponуются из элементов путем построения связей между ними по совокупности правил. Классификация методов проектирования ТП выполненная С. П. Митрофановым, предусматривает развитие двух направлений в проектировании методов адресации и синтеза. Методы адресации базируются на принципе унификации. Состав и структура ТП определяется в соответствии с состоянием и структурой унифицированного ТП последовательным уточнением формируемых решений при строгом соблюдении порядка перехода с более высоких уровней декомпозиции на низкие. В этом случае ТП-аналог должен обладать всеми элементами, которые используются в рабочем ТП. Формально каждая составляющая ТП на любом уровне декомпозиции реализуется одной и той же процедурой адресации: выбор по принципу неоконченного решения; уточнение состава и связей, принятых ранее для ТП-аналога; параметрическая настройка.

## 4. Алгоритмы технологических процессов с использованием аналогов

Проектирование импульсных технологий – это, прежде всего, принятие технических решений на основании исходной информации, которую соответствующими процедурами преобразуют в конечную. Информация должна быть достаточной и не избыточной для построения моделей объектов,

определения их конструкторско-технологических свойств, связей и отношений, что и определяет совокупность объектов как систему.

Поэтому для создания системы проектирования виртуальной исходная информация должна включать как исходную информацию для функционирования системы, так и информацию об объектах. Прежде всего, это информация о видах и типах параметров, отражающих конструкторско-технологические свойства объектов, их связей и отношений, в том числе с окружающей средой.

Благодаря такому подходу к построению моделей, в них отражены только те свойства и отношения, которые необходимы для решения задач технологической подготовки производства.

Установить значения тех параметров, которые отражены в моделях (значения будут представлены в различных шкалах измерений: количественной и качественной) необходимо с помощью соответствующей системы проектирования. Таким образом, задача проектирования состоит в том, чтобы при заданных технических ограничениях определить системные характеристики объектов и их элементов, обеспечивающих получение деталей с наименьшей технологической себестоимостью.

Метод индивидуального проектирования ТП является наиболее точным, т.к. алгоритмы построены на теоретических основах проектирования, базирующихся на накопленном опыте, практике взрывной штамповки, сформулированных посылах и утверждениях о закономерностях между конструкторско-технологическими свойствами детали и свойствами процесса преобразования заготовки.

Проектирование импульсных технологий с использованием аналогов, в качестве которых приняты ТП для освоенной номенклатуры на тех же теоретических основах, позволяет получать точные технологические решения, но при этом нет необходимости в выполнении всех процедур, предусмотренных для индивидуального проектирования. Аналоги детали (и реализованные ТП) могут иметь различную степень близости к исходной детали.

При близком аналоге детали доработка в ТП-аналоге сводится в основном к корректировке режимов обработки. При отсутствии такого, используют несколько аналогов, и доработке подвергается весь ТП-аналог и его структурные единицы на основе синтеза новых технологических решений.

Для устойчивого в производстве массива деталей с близкими конструкторско-технологическими свойствами создают типовой ТП для комплексной детали (виртуальной, а не физической), в которой отражены основные совокупности поверхностей и их элементов, характерных для всего массива.

Преобразование ТП-аналогов осуществляют методом исключения и дополнения структурных элементов в процессах-аналогах на основе выявления различий между обрабатываемой и комплексной деталью и их состояниями. Как показал анализ освоенной взрывом номенклатуры деталей на различных предприятиях, массивы разнятся по конструкторско-геометрическим параметрам, исходной заготовке, свойствам штампуемого металла.

Так для одних более актуальными являются детали из плоских заготовок: панели, днища, коробки, для других оболочковые детали. Существенно разнятся штампуемые материалы: алюминиевые сплавы, легированные стали, титановые сплавы и т.д.

Поэтому типовой ТП для комплексной детали целесообразно создавать с учетом особенностей, характерных для изделий, выпускаемых предприятиями соответствующих профиля. Это существенно снизит трудоемкость доработки ТП-аналогов и повысит точность принимаемых технологических решений.

Классификация методов проектирования ТП с помощью адресации предполагает 3 возможных варианта проектирования [4]:

1. Без изменения структуры ТП-аналога и параметрической настройки (метод полного заимствования ТП-аналога);
2. Без изменения структуры ТП-аналога (метод заимствования ТП-аналога с параметрической настройкой);
3. С изменением структуры ТП-аналога.

Этот метод применяется преимущественно при проектировании вспомогательных операций.

Метод заимствования ТП-аналога с параметрической настройкой предполагает использование для проектирования ТП изготовления изделия ТП-аналог, который имеет аналогичную структуру, но требует изменения параметров. Принятие решения осуществляется так же, как и в предыдущем методе, но добавляется блок параметрической настройки. Поисковые предписания, по которым ведется поиск аналогов, имеют большую свободу выбора. Реализовать данный метод можно при помощи систем параметрической настройки. Наиболее широкое применение метод может найти при проектировании вспомогательных и основных операций, которые имеют в качестве аналога типовые ТП.

Метод заимствования с изменением структуры ТП-аналога направлен на использование возможности изготовления группы изделий с частичной переналадкой ТП на конкретную деталь  $d$ , которая адресуется к множеству изделий.

Переналадка заключается в отсутствии в конкретном ТП отдельных элементов унифицированного ТП (операций, переходов и т.д.) или в замене од-

ного элемента ТП на другой (при условии, что эти элементы взаимозаменяемы).

Считается, что ТП на конкретное изделие имеет оригинальную параметрическую настройку.

Этот метод предполагает отнесение конкретно изделия к классу (группе) изделий, объединяемых общностью изготовления.

Затем соответствующий этой группе изделий унифицированный ТП по данным об изделии корректируется по составу и связям методом их исключения и последующей параметрической настройкой.

Все рассмотренные схемы проектирования реализуются процедурами поиска, выбора и оценки (расчетной процедуры). Развитие схем определяется введением дополнительных блоков, а не полным их изменением.

Сложность проектирования ТП заключается в обеспечении подобия деталей и установлении закономерностей влияния отклонений в свойствах деталей (искомой и освоенной) на свойства преобразований.

Детали и их межоперационные состояния считают технологически подобными, если различие в параметрах их технологических моделей, не оказывает существенного влияния на структуру ТП.

Функции структурных элементов ТП будут для деталей подобны, если виды преобразований (схемы штамповки) одинаковы. Характеристики, описывающие состояния деталей на предшествующей и последующей операциях, отличаются на величину не более допустимой.

Технологическое подобие структур двух элементов процесса обеспечивается, если параметры функциональной, временной и пространственной структур этих элементов отличаются не более некоторой допустимой величины.

Поисковый образ детали соответствует модели детали, у которой установлены допустимые отклонения на системные характеристики

В созданных моделях листовой детали и ТП взрывной штамповки уже отражены характеристики для различных уровней проектирования. Это обеспечивает легкую реализацию операции поиска на любой стадии проектирования.

В методе адресации допустимые отклонения в структуре деталей и конструктивно-технологических свойствах таковы, что основные системные характеристики ТП на верхних уровнях проектирования, включая маршрут обработки, не меняются. Функциональные свойства процессов, отражающие преобразование заготовки из одного состояния в другое, одинаковы. На последнем уровне проектирования будут различными свойства, характеризующие режимы обработки. Для ТП искомой детали

их определяют благодаря технологическому подобию.

Установлена возможность использования критериев подобия для одинаковых схем штамповки взрывом при незначительных изменениях масштабного фактора и прочностных свойств материала для определения энергетических характеристик процессов.

В практике взрывной штамповки масса заряда устанавливается с точностью до 20 %, поэтому при его определении необходимо, чтобы величины, обуславливающие интенсивность деформаций, отличались не более, чем на 15 %.

Параметры конструкторско-технологических свойств детали искомой и аналога, обуславливающие выбор принципиальной схемы ТП и технологической схемы штамповки, должны быть идентичными.

Поиск аналогов проводят в соответствующей группе деталей, выделенной из всего массива оригинальных листовых деталей по таким свойствам: по количеству поверхностей в детали, типу направляющих линий и образующих, а также по степени вытяжки, раздачи и формовки.

Метод проектирования с использованием ближайшего аналога позволяет найти технологические решения при минимальной доработке ТП-аналога (корректировка режимов обработки).

При отсутствии аналога, близкого по совокупности основных конструкторско-технологических свойств к искомой детали, используют несколько аналогов, которые близки по тем или иным свойствам. С помощью этих свойств устанавливают технологические решения методом синтеза ТП-аналога в целом и его отдельных структурных составляющих.

Сложность при реализации этого метода проектирования заключается в определении допустимых отклонений на параметры поискового образа детали по конструктивно-технологическим свойствам деталей.

Отклонения устанавливают в соответствии с решаемыми задачами и уровнями детализации ТП, т.е. они различные на одни и те же параметры.

После нахождения аналогов преобразование ТП-аналогов осуществляется методами исключения и дополнения структурных элементов в процессы-аналоги на основе выявленных различий в деталях: искомой и аналоге.

Листовые детали сложной формы изготавливают по ТП, принципиальная схема которого может включать сочетания технологических этапов, последовательность их выполнения детерминирована и выполнение каждого последующего этапа не ухудшает полученного состояния на предыдущем. По-

этому при поиске аналога учитывают подобие в генеральной форме. Поиск аналога-фрагмента осуществляют среди всех деталей, изготавливаемых по одинаковой схеме штамповки. Таким образом, при поиске аналогов-деталей с фрагментами может использоваться принцип суперпозиции. Заключительный этап, включает одну калибровочную операцию, перед которой выполняют операцию термообработки. Поэтому его легко исключают или дополняют в ТП-аналог в зависимости от точности детали.

В искомой детали либо в аналоге могут отсутствовать фрагменты и поверхности повышенной точности. При их отсутствии принципиальная схема процесса представлена этапом. Возможность реализации его определяется устойчивостью формоизменения.

Допустимые отклонения по другим конструкторско-технологическим свойствам уточняют при детализации ТП: при назначении количества штамповочных операций и операций ТП.

При назначении отклонений на конструкторско-технологические свойства детали, на уровне определения маршрута обработки, используют такие же критерии и условия, как и при поиске ближайшего аналога. Существенно увеличивать допустимые отклонения на параметры свойств нерационально, т.к. усложняются проектные процедуры, и снижается точность получаемых решений. Поэтому при отлаженной системе алгоритмов проектирования единичных ТП целесообразнее использовать их, чем дорабатывать аналоги при больших отклонениях на параметры в поисковых образах.

На уровне операционного описания ТП величину заряда рассчитывают и корректируют. Ее также могут уточнять по результатам математического моделирования процесса деформирования.

Таким образом, с помощью предложенных проектных процедур обеспечивается поиск аналогов

для искомой детали и преобразование ТП-аналога и его структурных элементов по допустимым отклонениям на параметры конструктивно-технологических свойств.

## 5. Реализация алгоритмов проектирования в программном комплексе

На рис. 1. представлена главная экранная форма программы. В нее включены алгоритмы формирования метамодели детали, поиск ближайшего соседа, кластерный анализ, параметрическая настройка и статистический анализ данных.

На рис. 2. представлена форма для использования метамодели детали для поиска ближайшего анализа данных.

Поиск осуществляется по диапазонам конструкторско-технологическим признакам детали, которые задает пользователь.

В программе используется несколько алгоритмов поиска «ближайшего соседа»: алгоритмы поиска по эвклидову расстоянию, по квадрату эвклидова расстояния, по расстоянию Чебышева и степенному расстоянию Минковского. На рис. 3 представлена экранная форма для параметрической настройки – расчета веса заряда. В данном случае подставлен вариант расчета веса заряда для плоской заготовки по методике, разработанной Р. В. Пихтовниковым.

Для точного соответствия расчета параметров операционной технологии детали известной методике пользователю необходимо лишь рассчитать параметры операционной технологии для конкретной детали и уточнить поправочный коэффициент [5].

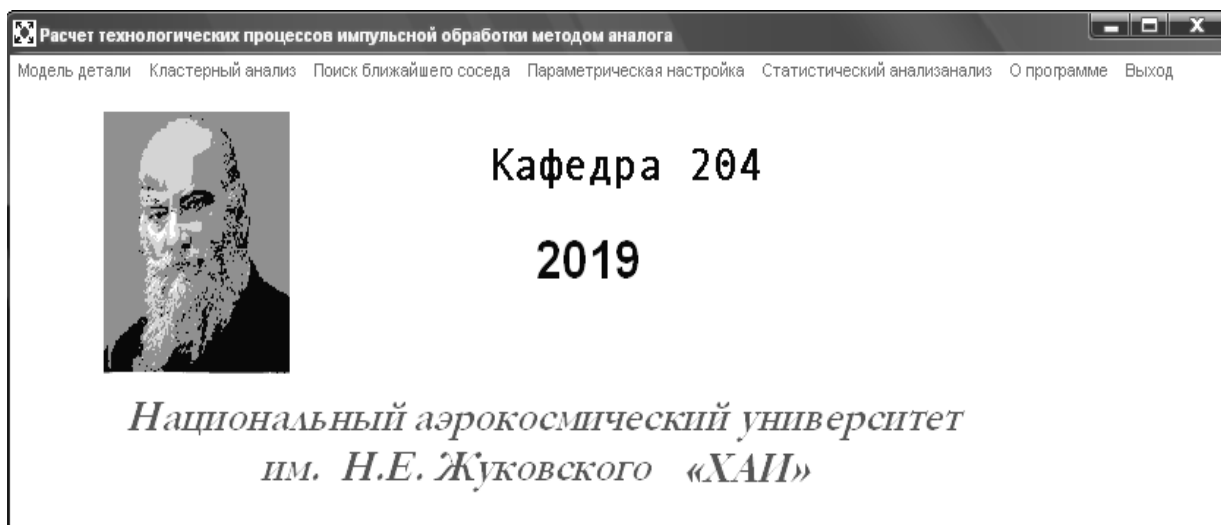


Рис. 1. Главная экранная форма программы

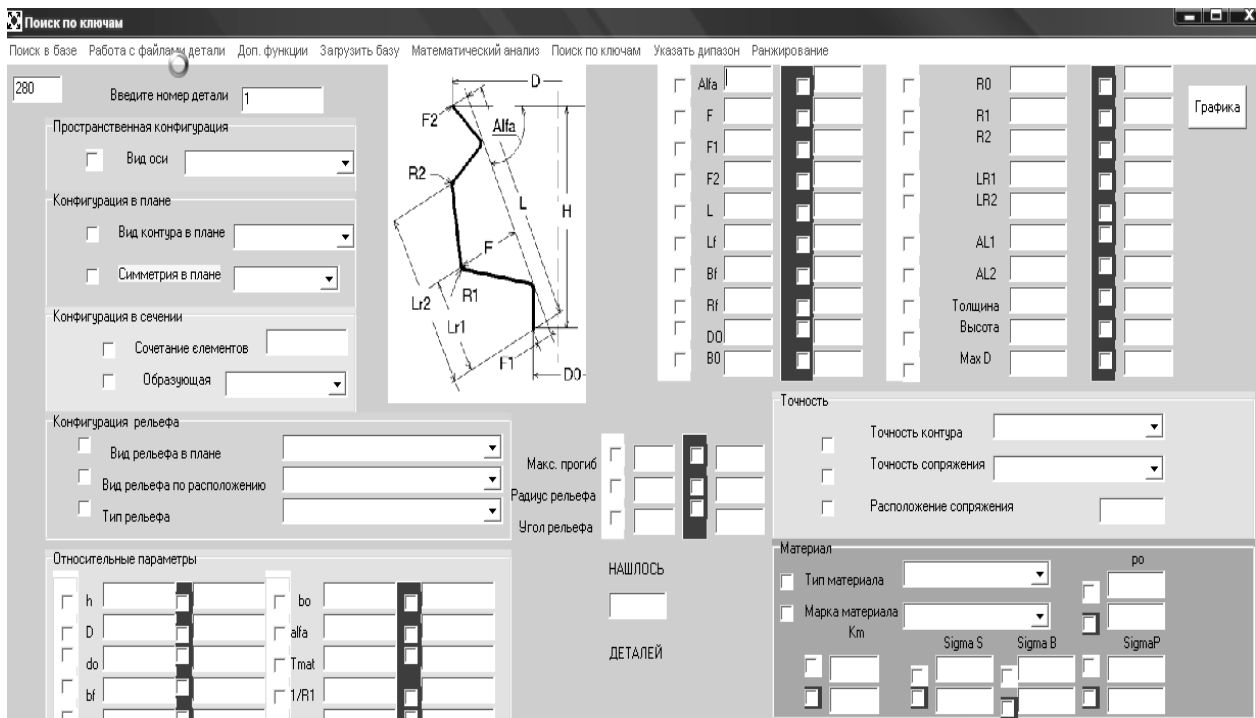


Рис. 2. Фрагмент экранной формы для поиска аналога по ключам

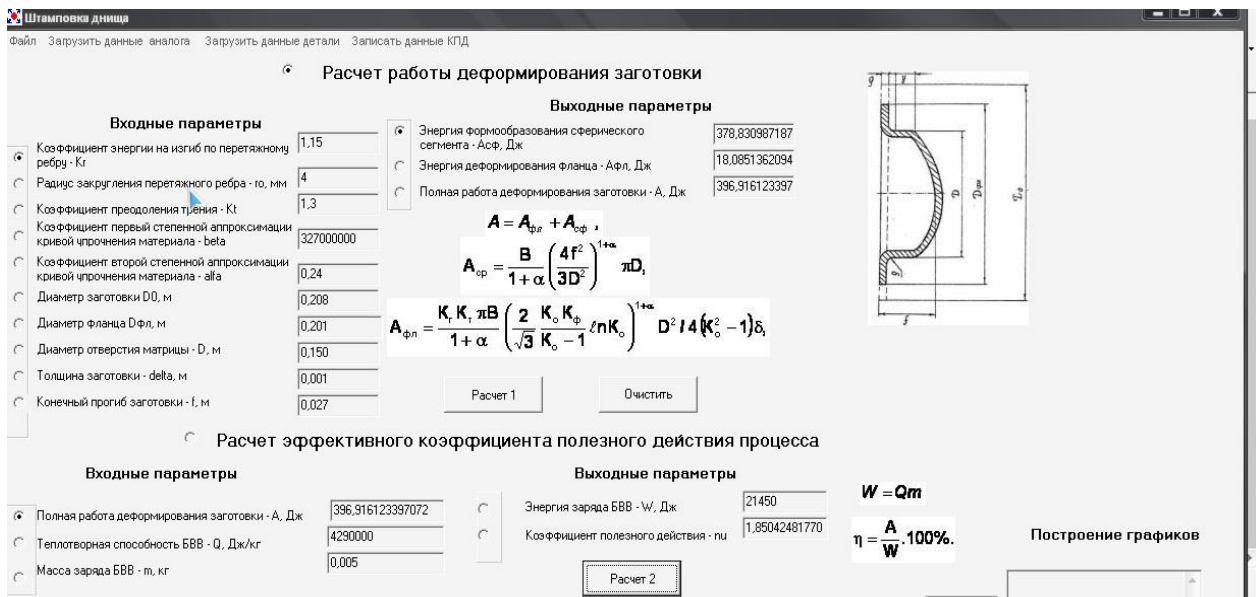


Рис. 3. Фрагмент экранной формы для расчета и корректировки заряда по методике Р. В. Пихтовникова

**Выводы**

В статье продемонстрированы возможности программного комплекса для проектирования импульсных технологий методом «ближайшего соседа». Для успешной работы с программным комплексом авторами выполнены следующие этапы работы:

1. Проведена обработка и анализ информации о листовых деталях, изготавливаемых импульсной

штамповкой и технологий их изготовления, определены технологические проблемы.

2. Произведена оценка возможностей современных методов проектирования технологических процессов, в том числе взрывных, и их использование в современных технологических системах проектирования ТП.

3. Разработаны математические модели формализованного описания конструкции детали, техно-

логии ее изготовления для сложных листовых деталей.

4. Разработана математическая модель проектирования технологии взрывной штамповки методом аналога для уровня проектирования схемы и операционной технологии для сложных листовых деталей методом «ближайшего соседа».

5. Разработать программное и математическое обеспечение для хранения, использования и синтеза информации при проектировании технологических процессов.

6. Отработаны алгоритмы проектирования технологических процессов взрывной штамповки для перспективных сложных листовых деталей.

### Литература

1. *Беспрессовая листовая штамповка с использованием взрывчатых веществ [Текст] : инструктивный материал.* – М. : Машиностроение, 1965. – 198 с.
2. Романовский, В. П. *Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский.* – М. : Машиностроение, 1977. – 520 с.
3. Пихтовников, Р. В. *Штамповка листового металла взрывом [Текст] / Р. В. Пихтовников, В. И. Завьялова.* – М. : Машиностроение, 1964. – 164 с.
4. *Технологическая подготовка гибких производственных систем [Текст] / С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Миляев, Б. С. Падун ; под общ. ред. С. П. Митрофанова.* – Л. : Машиностроение, 1987. – 352 с.

5. *Інтерактивний програмний комплекс для розрахунку технологічних процесів імпульсних технологій. Комп'ютерна програма / В. В. Третьяк, А. М. Грінченко, Т. В. Лоза [та ін.] // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 577712 від 19.12.2014 р.*

### References

1. *Bespriessovaja listovaja shtampovka s ispol'zovaniem vzryvchatyh veshhestv. Instruktivnyj material* [Pressless sheet punching using explosives]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965. 198 p.
2. Romanovskij, V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke* [Cold Stamping Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 520 p.
3. Pihtovnikov, R. V., Zav'jalova, V. I. *Shtampovka listovogo metalla vzryvom* [Explosion Stamping of Sheet Metal]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1964. 164 p.
4. Mitrofanov, S. P., Kulikov, D. D., Miljaev, O. N., Padun, B. S. *Tehnologicheskaja podgotovka gibkih proizvodstvennyh sistem* [Technological preparation of flexible production systems]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987. 352 p.
5. Tretyak, V. V., Grinchenko, A. M., Loza, T. V., Onopchenko, A. V., Fedorova, A. S. *Interaktyvnyj programnyj kompleks dlya rozrachunku tehnologichnyx procesiv impul'snyx tehnologij. Komp'yuterna programa* [An interactive software package for the calculation of impulse technologies. Computer program]. Svidocztvo pro reyestraciyu avtors'kogo prava na tvir [Certificate of copyright registration of a work], no. 577712, 19.12.2014.

Поступила в редакцию 7.05.2019, рассмотрена на редколлегии 7.08.2019

### МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МЕТОДОМ «НАЙБЛИЖЧОГО СУСІДА»

*В. В. Третьяк, А. В. Онопченко, А. С. Федорова*

В літальних апаратах і двигунах використовуються деталі для виконання складних функцій: забезпечення несучої здатності вузлів і виробу в цілому; розмежування різних середовищ – робочих і оточуючих, має різні параметри по тиску, температурі, густині, швидкості, забезпечення мінімальних втрат при обтіканні потоками різних середовищ і т.д. Силі функції в більшості випадків виконують деталі оболонкової форми або плоскі з елементами жорсткості, а функції розмежування середовищ – деталі з каналними поверхнями. Дані деталі можуть виготовлятися методами імпульсного штампування. Розроблений програмний комплекс, що дозволяє проектувати імпульсні технології методом «найближчого сусіда». Дані про деталі представлені на декількох інформаційних рівнях – рівні генеральної форми, фрагментів і додаткових елементів, рельєфу і точності. На рівні генеральної форми дані про деталі представити у вигляді сукупності трьох основних компонентів: дна, стіни і фланець. На даних компонентах виконуються фрагменти і додаткові елементи, що сприймають навантаження, а також локальні елементи для розміщення і кріплення в них датчиків, приладів, вузлових одиниць. Програмний комплекс дозволяє використовувати декілька можливих варіантів проектування: без зміни структури аналога і параметричної настройки (метод повного запозичення аналога); без зміни структури аналога (метод запозичення аналога з параметричною настройкою); із зміною структури аналога. При близькому аналогу деталі доробка в аналогу зводиться в основному до коректування режимів обробки. За відсутності такого, використовуються декілька аналогів, і доробці піддається весь аналог і його структурні одиниці на основі синтезу нових технологічних рішень. Для стійкого у виробництві



масиву деталей з близькими конструкторсько-технологічними властивостями створюється типовий технологічний процес для комплексної деталі, в якій є відображений основні сукупності поверхонь і їх елементів, характерних для всього масиву. В програмі використовуються декілька алгоритмів пошуку найближчого «сусіда». В програмі використовуються алгоритми по евклидовій відстані, по квадрату евклидовій відстані, по відстані Чебишева і статичної відстані Мінковського. Представлені основні алгоритми, екранні форми програмного комплексу і можливості програмного комплексу.

**Ключові слова:** імпульсні технології; проектування технологічного процесу; метод адресації; метод найближчого сусіда

## POSSIBILITIES OF PROGRAM COMPLEX FOR PLANNING OF IMPULSIVE TECHNOLOGIES BY THE METHOD OF «NEXT-DOOR NEIGHBOUR»

*V. V. Tretyak, A. V. Onopchenko, A. S. Fedorova*

In aircraft and engines details are used for implementation of difficult functions: providing of bearing strength of knots and good on the whole; differentiations of different environments – working and surrounding, having different parameters on pressure, temperature, closeness, speed, providing of minimum losses at the flowline around by threads of different environments and etc Power functions in most cases execute the details of oblochkovoy form or inflexibilities flat with elements, and functions of differentiation of environments – details with the channel surfaces. The given details can be made methods of the impulsive stamping. A program complex is developed, allowing to design impulsive technologies by the method of «next-door neighbour». Data about details are presented at a few informative levels – level of general form, fragments and additional elements, relief and exactness. At level general form to present data about details as an aggregate of three basic components: bottom, walls and flanges. On the given components fragments are executed and additional elements, perceiving loading, and also local elements for placing and fastening in them of sensors, devices, key units. A program complex allows to use a few possible variants of planning: without the change of structure of analogue and parametriceskoy tuning (method of the complete borrowing of analogue); without the change of structure of analogue (method of borrowing of analogue with the parametriceskoy tuning); with the change of structure of analogue. At the near analogue of detail a revision in analogue is taken mainly to adjustment of the modes of treatment. In default of such, a few analogues are used, and all analogue is exposed to the revision and its structural units on the basis of synthesis of new technological decisions. For the tract steady in production of land of details with the near designer-technological properties a model technological process is created for the complex detail, in which are reflected basic to the aggregate of surfaces and their elements, characteristic for all tract of land. In the program a few algorithms are used of search of «next-door neighbour». Algorithms are used to the program on the Evklid distance, on the square of Evklid distance, on the distance Chebisheva and sedate distance Minkovskogo. Basic algorithms are presented, screen forms of program complex and possibilities of program complex.

**Keywords:** impulsive technologies; planning of technological process; method of addressing; method of next-door neighbour

**Третьяк Владимир Васильевич** – канд. техн. наук, доцент, проф. каф. технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Онопченко Антон Виталиевич** – ассистент кафедры технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Федорова Анастасия Сергеевна** – ведущий инженер отдела по вопросам интеллектуальной собственности, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Tretyak Volodimir** – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Aircraft Engine Manufacturing Technologies, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: v.tretyak@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0003-4493-2689.

**Onopchenko Anton** – Assistant of Lecturer of Department of Aircraft Engine Manufacturing Technologies, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: a.onopchenko@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0002-9004-4140, ResearcherID: X-1798-2018.

**Fedorova Anastasiya** – Leading Engineer of Intellectual Property Office, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: patent@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0002-7293-2013