

# Проектирование технологических процессов с использованием моделей операционных заготовок

Д.Д. Куликов,  
проф., д.т.н., [ddkulikov@mail.ru](mailto:ddkulikov@mail.ru),  
Н.Е. Филюков,  
асп., [badfilin@gmail.com](mailto:badfilin@gmail.com),  
Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

Рассмотрен подход к проектированию технологических процессов, основанный на использовании электронной геометрической модели (ЭГМ) детали. Параллельно с формированием ЭГМ автоматически создается её параметрическая модель. На базе ЭГМ детали начиная от последней и кончая первой операцией проектируются ЭГМ операционных заготовок также с получением их параметрических моделей. Проектирование ведется в веб-ориентированной среде с использованием программных агентов на основе автоматической выборки параметров заготовок из их параметрических моделей. Веб-сервисы, решают технологические задачи с использованием баз знаний. Появляется возможность распараллелить принятие решений и существенно сократить общее время проектирования технологических процессов.

The approach to the design of technological processes, based on the use of electronic geometric model (EGM) details. In parallel with the formation of EGM, its parametric model is automatically created. On the basis of EGM parts are designed EGM operational blanks also to obtain their parametric models, starting from the last and ending with the first operation. Design is carried out in a web-based environment using software agents based on the automatic selection of the parameters of blanks from their parametric models. Web services solve technological problems using knowledge bases. There is an opportunity to parallelize decision making and significantly reduce the total time of design of technological processes

Одной из главных систем технологической подготовки производства (ТПП) является система проектирования технологических процессов (САПР ТП). Однако слабая совместимость (интероперабельность) САПР – систем с САПР технологических процессов является, на наш взгляд, главной причиной сложности повышения уровня автоматизации САПР ТП и перехода к проектированию оптимальных технологических процессов. Поэтому на кафедре технологии приборостроения УНИВЕРСИТЕТА ИТМО был выполнен комплекс исследований по разработке САПР ТП нового поколения и предложенный подход к автоматизации проектирования технологических процессов. Принципиальными особенностями данного подхода являются следующие положения:

1. Принципы проектирования ТП основываются на методике В. Д. Цветкова, в которой применяются параметрические модели детали;
2. Модель детали создается как электронная геометрическая модели с одновременным автоматическим формированием её параметрической модели;
3. Создание электронной геометрической модели операционной заготовки (ГМОЗ) ведется методом добавляемых тел с автоматическим получением параметрической модели операционной заготовки (ПМОЗ);
4. Применение многоагентных систем в сочетании с использованием веб-сервисов, решающих технологические задачи, позволяет распараллелить решение этих задач, существенно сокращая общее время проектирования ТП;
5. Использование комплекса процедур доступа к ПМОЗ в процессе позволяет освободить технолога от ввода с клавиатуры компьютера конструкторско-технологическую информацию (КТИ) об операционной заготовке. Таким образом, значительно сокращается время проектирования ТП;
6. Хранение создаваемых объектов выполняется в PDM системе, что дает возможность организовать поиск создаваемых объектов, просмотр и контроль процесса проектирования ТП;
7. Для организации информационной интероперабельности между моделями деталей, заготовок, технологических процессов, а также моделей средств технологического оснащения создается система единого информационного пространства, основанная на онтологии ТПП и средствах для её поддержки.

Рассмотрим более подробно эти положения. Для проектирования ТП нужна полная информация о детали, поэтому 3D модели деталей, предоставляемые конструкторами с помощью САПР – систем не могут быть использованы для проектирования ТП. Возможный подход к обеспечению интероперабельности САПР и САПР ТП систем основан на использовании электронной геометрической модели детали (ЭГМ). Как указано в ГОСТ 2.052-2006 использование аннотаций позволяет выразить конструкторско-технологическую информацию (КТИ) о детали с необходимой полнотой описания. Пример ЭГМ приведен на рисунке 1.

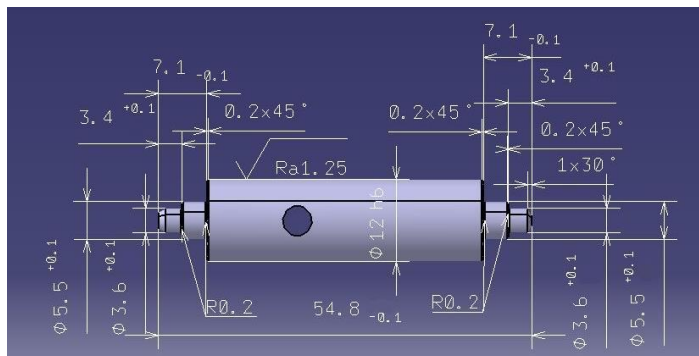


рис. 1. Пример ЭГМ детали, выполненной в САПР «CATIAv5»

Однако для САПР ТП необходимо использовать текстовые форматы для выражения КТИ, содержащейся в ЭГМ детали. Проведенный анализ форматов передачи данных (включая STEPГОСТ Р ИСО 10303-21-2002) показал сложность перевода ЭГМ в требуемую текстовую форму. Поэтому была разработана система параметрического описания деталей, основанная на работах В. Д. Цветкова [1]. Параметрические модели детали представляют собой описания конструктивно-технологических элементов (КТЭ), содержащих код формы и параметры этих элементов. Кроме того, указываются способы соединения КТЭ между собой. Для формирования ЭГМ использовалась САД «САТIAv5», возможности которой позволили разработать комплекс макросов для создания в фоновом режиме параметрической модели детали (ПМД) [2]. Эта модель выражена как текстовый файл в формате XML. Таким образом, в процессе создания ЭГМ детали автоматически формируется текстовый файл для ПМД, содержащий КТИ, необходимую для проектирования технологических процессов.

«Мешанина» параметров деталей, заготовок, технологических процессов и средств технологического оснащения, при которой за одним и тем же обозначением параметров, закреплены разные понятия (концепты) и разные атрибуты значений параметров, должна быть систематизирована на основе создания онтологии ТПП и организации единого информационного пространства (ЕИП) с использованием словарной системы. На основе ЕИП обеспечивается информационная интероперабельность систем ТПП[3].

Предлагаемая методика проектирования операционных заготовок (ОЗ) основана на трансформации ЭГМ детали в ЭГМ операционной заготовки с помощью метода добавляемых тел[4]. Одновременно автоматически формируется и параметрическая модель операционной заготовки (ПМОЗ). Проектирование операций и заготовок ведется от последней операции к первой, т. е. после проектирования ОЗ и получения ПМОЗ выполняется переход к предшествующей операции. Результат проектирования операционной заготовки – ЭГМ заготовки и её параметрическая модель. Проектирование ОЗ заканчивается после формирования исходной заготовки. Общая схема получения моделей операционных заготовок показана на рис. 2.

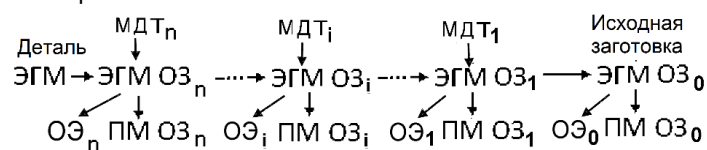


рис.2. Общая схема получения моделей операционных заготовок, начиная от n – й операции и кончая 1 -й

Как только получена ПМОЗ для проектируемой операции можно переходить к определению параметров операции на основе решения комплекса технологических задач. Необходимым условием для этого является переход на веб-ориентированную идеологию функционирования ТПП. Модули, решающие технологические задачи оформлены в виде веб-сервисов, взаимодействие между которыми выполняется с помощью программных агентов. Для доступа к нужной информации необходим комплекс процедур анализа и выборки заданной конструкторско-технологической информации из ПМОЗ, что позволяет значительно уменьшить объем информации, вводимой технологом с клавиатуры компьютера и ускорить проектирование ТП.

Первой технологической задачей является проверка правильности простановки операционных размеров с помощью веб-сервиса «Расчет операционных размеров», позволяющего определить: выдерживается ли точность конструкторских размеров при выбранной простановке операционных размеров. Возможны три варианта результатов расчета:

1. Все размерные цепи для рассматриваемой операционной заготовки рассчитаны правильно и обеспечивают выдерживание точности конструкторских размеров на заданной операции;
2. Есть конструкторские размеры, точность которых не выдерживается; необходимо изменить простановку технологических баз и операционных размеров;
3. Некоторые размерные цепи не удалось составить, т. к. в цепях участвуют операционные размеры для предшествующих операций, у которых ОЗ еще не сформированы (отложенное составление размерных цепей). Однако решение технологических задач можно продолжить с последующим возвратом к сформированной ОЗ.

Предложенная схема расчета операционных размеров удобна тем, что не требует простановки операционных размеров для всех ОЗ и позволяет вовремя обнаружить неправильную простановку технологических баз на более ранних стадиях решения технологических задач [5].

Большинство веб-сервисов представляют собой модули близкие к экспертным системам и используют развитые базы знаний. Заполнение баз ведется на основе технологических справочников, представляющих собой совокупность разнообразных справочных таблиц. Программный аппарат принятия решений, названный табличным процессором, обрабатывает базу знаний по заданным входным параметрам и заносит результаты в параметрическую модель технологического процесса (ПМТП). Как только закончено проектирование очередной ОЗ и сделан расчёт операционных размеров начинается этап решения следующих технологических задач. В первую очередь определяются технологические переходы. Для этого программный агент - «почтальон» (АП) выбирает параметры обрабатываемых поверхностей из ПМОЗ и передает их табличному процессору для определения типового плана обработки этих поверхностей. Переходы, входящие в найденный план, агент распределяет по операциям, где они могут быть выполнены. Если уровень «интеллектуальности» не позволил табличному процессу выбрать одно решение, то записываются найденные варианты для дальнейшего уточнения технологом. Работа над обрабатываемыми поверхностями выполняется параллельно, как только определены переходы, при этом решаются следующие задачи: выбор модели оборудования, выбор режущего и измерительного инструмента, расчет режимов резания и т. д. Применение многоагентного подхода и веб-сервисов, решающих отдельные технологические задачи, позволяет распараллеливать процесс принятия решений по этим задачам. Формируются расчётные цепочки, работающие параллельно и независимо от технолога [6]. В то время пока технолог проектирует ОЗ система «пашет» над решением технологических задач для уже спроектированных ОЗ, что позволяет значительно сократить время проектирования технологического процесса в целом.

Когда технолог закончит проектирование исходной заготовки технологический процесс уже во многом будет сформирован. Необходимо с помощью веб-сервиса для работы с параметрическими моделями ТП просмотреть технологический процесс и внести нужные исправления. Далее выполняется вывод на экран комплекта технологических

карт. Комплект дополняется картами операционных эскизов, получаемых из ЭГМ операционной заготовки путем стандартного проецирования 3D в 2D модель ОЭ.

Хранение моделей объектов целесообразно организовать, используя PDM – систему. Эксперименты, проведенные для PDM – системы «SMARTEAM», показали возможность занесения всех создаваемых объектов в дерево проекта «SMARTEAM», что позволяет быстро выводить на экран любые сформированные объекты для проверки и исправления найденных системой решений, а также отслеживать динамику проектирования ТП, включая этапы утверждения технологических документов. Автоматизированный контроль процесса проектирования возможен путем применения диаграмм «workflow», позволяющих вовремя обнаружить нарушения сроков проектирования с оповещением соответствующих инстанций.

Завершая доклад нужно отметить, что за бортом осталось без внимания много различных аспектов, в частности не вошли вопросы интеграции САПР ТП с другими системами ТПП и АСУ предприятия, однако их изложение требует значительного текстового пространства.

Реализация предлагаемого подхода весьма перспективно и позволяет создавать САПР ТП нового поколения. Однако создание и внедрение такой системы в условиях функционирующей ТПП является достаточно сложным и трудным процессом. На первых этапах функционирования САПР ТП уровень формализма при принятии решений будет не очень высоким, что может потребовать внесения значительных исправлений в разработанный проект технологического процесса. Однако по мере последовательного реинжиниринга, учитывающего специфику предприятия, уровень «интеллектуальности» системы будет постепенно повышаться, что возможно лишь при высокой квалификации специалистов, сопровождающих базы знаний в условиях цифровизации предприятия.

### Литература

1. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск, наука и техника - 1979.-264с.
2. Куликов Д.Д., Бабанин В.С. Автоматизированное формирование моделей операционных заготовок // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2014. Т.57, №8, С. 26 – 29.
3. Куликов Д.Д. Интеграция систем технологической подготовки производства // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 7-й международной научно-практической конференции (СПб, 29-30 мая 2018г.) - 2018. - С. 749-759
4. Куликов Д.Д., Востропятов А.И., Арнст А.А. Синтез операционных заготовок при проектировании технологических процессов. //Труды международной конференции "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2017)". - 2018. - С. 390-395
5. Куликов Д.Д. Расчёт операционных размеров в САПР технологических процессов Текст. / Д.Д. Куликов, М.В. Дыгина // Изв. вузов. Приборостроение. 1991. - Т. 34, № 9.
6. Носов, С.О. Интеграция САД-системы с системами автоматизированного проектирования /Д.Д. Куликов, А.С. Сагидуллин, С.О. Носов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – СПб.: НИУ ИТМО, 2014. – Т. 57. – №8. – С. 1820