

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Д.Д. Куликов

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики*
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
E-mail: ddkulikov@mail.ru

А.И. Востропятов

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики*
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
E-mail: art-em39@mail.ru

Ключевые слова: САПР технологических процессов, единое информационное пространство, интероперабельность систем ТПП, проектирование операционных заготовок, использования PDM системы.

Аннотация: В статье рассмотрено создание единого информационного пространства для технологической подготовки производства, на основе применения онтологии ТПП и словарной системы. Определены способы обеспечения интероперабельности между САД -системой и САПР технологических процессов. Показаны требования к современным САПР ТП. Изложена методика проектирования технологических процессов параллельно с проектированием операционных заготовок. Указана необходимость использования PDM системы для отслеживания жизненного цикла технологических документов.

1. Введение

Технологическая подготовка производства (ТПП) является важной составной частью жизненного цикла изделия. Проектирование технологических процессов (ТП) представляет собой одну из главных задач ТПП. Прошло более 40 лет с того момента, когда В.Д. Цветковым была предложена методика автоматического проектирования ТП [1]. Под его руководством была разработана САПР технологических процессов и внедрена на Минском заводе автоматических линий. В настоящее время, несмотря на появление весьма развитых САД, САМ, САЕ систем, существующие САПР ТП остаются лишь автоматизированными системами. За технологом закреплены важные задачи структурного синтеза ТП, определения технологических баз и выбора средств технологического оснащения. Часть технологических задач решается автономно от САПР ТП: расчет операционных размеров, проектирование операционных заготовок, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Возникновение такого определенного регресса вызвана следующими причинами:

1. формализация технологических задач оказалось весьма сложным процессом, влияющим на качество проектируемых ТП; алгоритмы проектирования таковы, что часто требуют вмешательства технологов в процесс проектирования;
2. структурная оптимизация ТП в целом, его операций и переходов решена лишь теоретически и отсутствует в существующих САПР ТП;
3. наличие барьера интероперабельности (interoperability barrier), иначе (совместимости) между САД -системами и САПР ТП, заставляет технологов в режиме диалога переносить информацию из 3D (или 2 D) моделей деталей в технологический процесс;
4. предметная среда САПР ТП представляет собой совокупность баз данных и знаний, содержит нормативно-справочную информацию и информацию о средствах технологического оснащения, имеет большой объем, весьма динамична и требует значительных усилий для поддержания её в актуальном состоянии, иначе слишком много ошибок возникает в технологических картах.

2. Семантическая интероперабельность систем ТПП. Словарная система

Из всех указанных причин рассмотрим лишь вопросы, связанные с обеспечением семантической интероперабельности между системами ТПП (ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012. 1 часть). Первый этап проверки на семантическую интероперабельность при передаче из одной системы в другую заключается в последовательной проверке на консистентность (корректность) атрибутов параметров передаваемой модели. В первую очередь определяется консистентность концептов (понятий), закрепленных за параметрами модели. Сообщение, передаваемое из системы А в систему В, корректно по концептам, если эти системы имеют единую онтологию. Например, результаты поиска передаются из системы поиска средств технологического оснащения в систему проектирования ТП, которая при наличии консистентности по концептам будет правильно понимать принимаемое сообщение.

Необходимо отметить, что параметры моделей передаются без своих концептов. Такое неявное задание концептов необходимо для сокращения объема передаваемой информации. Поэтому создается система, в которую кроме онтологии со своими прямыми и обратными связями входит словарная система, содержащая информацию обо всех параметрах предметной области (кроме значений параметров).

Словарная система со своей онтологией образует единое информационное пространство (ЕИП) [2]. ЕИП предоставляет авторизованный доступ ко всем частям ТПП: программным компонентам, базам данных и знаний, к электронным архивам и т. д. На основе ЕИП с помощью PDM системы выполняется отслеживание жизненного цикла изделия на стадии ТПП.

Рассмотрим теперь консистентность по обозначению параметров. Их важной особенностью является многообразие обозначений параметров и их повторяемость. Например, обозначение d может означать: «диаметр сверла», «диаметр отверстия», «диаметр шпинделя» и т.д. Кроме того, многие обозначения снабжаются индексами, например, d_{min} или V_n и т. д. Для многих объектов имеются стандартизованные обозначения параметров, изменять которые нежелательно. Множество объектов, имеющих одинаковые обозначения, но разные концепты, можно разделить по классам: детали и заготовки, инструмент, оборудование, приспособления и т.д. Для каждого класса создается своя область обозначений (домен). Таким образом, атрибуты параметра могут быть дополнены атрибутом «домен» (например, det – домен «детали», $inst$ – домен «инстру-

мент» и т. д.). При необходимости сужения множества доменов их можно разделить на подклассы. Последний случай наиболее распространен, т. к. роль подкласса играют модели заданного вида. Каждый вид моделей имеет свой набор параметров и, следовательно, свое множество концептов и обозначений параметров.

Рассматривая значения параметров необходимо отметить большое разнообразие способов их задания:

- параметр задан точным значением (например, « $d=20$ »);
- значение параметра задано интервалом;
- значение параметра задано списком возможных значений.

Значения параметров могут быть заданы синтаксически разными способами. Например, интервал от 10 до 40 мм записывают: «1 - 40» или «1.4...5.3». Предельная глубина резания резца может быть задана как «до 4». Могут использоваться отношения порядка, например, « $k > 3$ », « $p < 5.4$ », « $s \leq 0.4$ » и т.д. Размеры могут задаваться с указанием любых способов задания точности. Система, принимающая сообщение, должна выполнять анализ значений параметров объектов, способов их задания и реагировать соответствующим образом. Только в этом случае обеспечивается консистентность по значению параметра.

Анализ атрибутов параметров будет не полным, если не учитывать атрибуты ограничений значения параметра (ОЗП). Например, значение параметра равно 45, но является ли эта величина размером в миллиметрах или в дюймах, или в градусах?

К атрибутам ОЗП относят:

- размерность параметра;
- тип параметра (числовой, текстовый, логический);
- длина поля, отводимого под значение параметра;
- количество знаков после запятой для вещественного числового значения параметра;
- минимальное и максимальное значение при числовом задании значения параметра.

Если значение параметра отвечает этим ограничениям, то имеет место консистентность по ОЗП. Таким образом, можно утверждать, что параметр является в целом корректным, если имеет место консистентность по всем атрибутам передаваемого параметра. Все атрибуты параметров хранятся в словарной системе. В этой системе могут находиться шаблоны, представляющие набор кортежи обозначений параметров, которые поступают в системы ТПП или выходят из них. Эта метаинформация подобна схемам наборов данных для реляционных баз данных. Однако шаблоны могут быть легко изменены без существенного изменения модулей ввода или вывода данных. Синтаксическая интероперабельность достигается применением единого формата, например, XML формата, его теги также входят в словарную систему.

Таким образом, предложенный подход позволяет осуществить эффективный контроль и верификация данных, проверку корректности, полноты и непротиворечивости данных как на этапе анализа и нормализации существующих данных, так и при передаче данных между системами ТПП. Однако при использовании САД систем возникает проблема передачи информации из этих систем в системы ТПП.

Из рис. 1 видно, что даже для электронной геометрической модели (ЭГМ) детали существует большой объем информации, выраженной через аннотации, которую необходимо учитывать при проектировании технологических процессов (ГОСТ 2.052 - 2006).

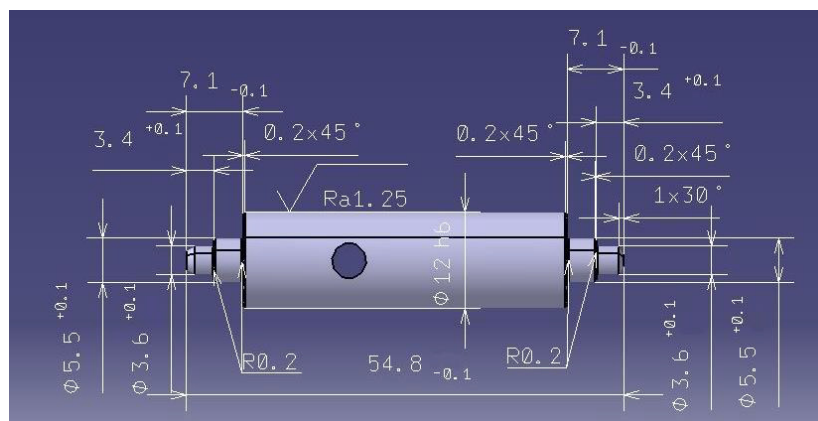


Рис. 1. Пример электронной геометрической модели детали, сформированной в CAD системе.

3. САПР ТП нового поколения

Необходимо отметить, что создание ЕИП не позволяет преодолеть концептуальный барьер интероперабельности между CAD системой и САПР ТП. При переходе к нейтральному формату типа STEP аннотации ЭГМ преобразуются в облако точек и требуется разработка сложного алгоритма распознавания образов для определения информации, выраженной аннотациями. Одним из возможных подходов в преодолении этого барьера заключается в получении параметрической модели детали (ПМД), подобной хорошо забытой модели Цветкова В.Д. [1]. Как показано в работах [3] ПМД можно создавать автоматически при проектировании ЭГМ детали на основе специально разработанных для CAD – системы макросов. Параметры, входящие в ПМД, взяты из словарной системы и, следовательно, удовлетворяют требованиям ЕИП. Комплекс процедур позволяет выполнять выборку параметров из ПМД для модулей САПР ТП вместо ручного переноса значений параметров в технологический процесс. Именно при таком подходе, на наш взгляд, может быть повышен уровень автоматизации САПР ТП и появится возможность создания оптимальных технологических процессов.

Аналогичная ситуация имеет место и при создании операционных эскизов. Наглядная информация о том, как будет выглядеть операционная заготовка (ОЗ) (операционные размеры, шероховатость поверхностей, отклонение формы поверхностей и т. д.) после её создания на заданной операции, весьма важна. Операционные размеры предоставляются от технологических баз и необходимы для назначения режущего и измерительного инструмента. Существующие системы расчета технологических размеров обычно не встроены в САПР ТП. В работах [4] показано, что проектирование ОЗ может выполняться на основе преобразования ЭГМ детали. Для этого используется метод добавляемых тел, при котором проектирование ОЗ ведется от последней операции к первой. ЭГМ детали модифицируется в ЭГМ операционной заготовки с одновременным и автоматическим преобразованием ПМД в параметрическую модель ОЗ для заданной операции.

Очень важным является возможность решения технологических задач параллельно с проектированием ОЗ. Для этого САПР ТП создается как платформа, содержащая веб-сервисы для решения технологических задач, имеющих свои базы знаний. Обслуживание платформы выполняется многоагентной системой.

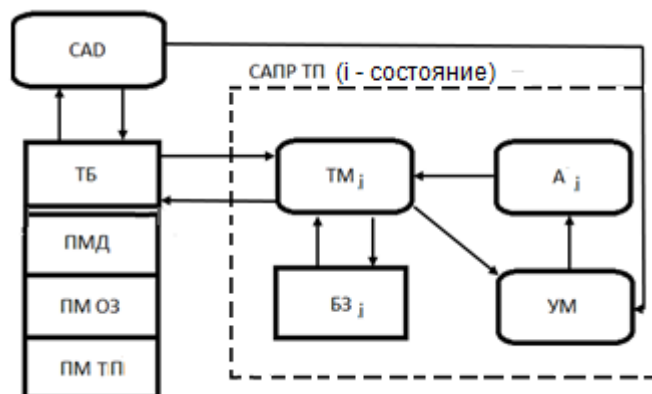


Рис. 2. Схема функционирования CAD-системы совместно с САПР, ТБ – текущая база, ТМ_i – текущий модуль, БЗ – база знаний текущего модуля, А_i – i-ый агент, УМ – управляющий модуль, ПМД – параметрическая модель детали, ПМОЗ – параметрическая модель операционной заготовки, ПМ ТП – параметрическая модель технологического процесса.

Такая архитектура САПР ТП позволяет повысить уровень автоматизации проектирования ТП и ускорить процесс получения технологических карт. Рассмотрим пример. Пусть добавляемое тело – это трубка, имеющая толщину, равную ориентировочному значению припуска, снимаемого на заданном переходе. Эта трубка в САД системе с помощью логического сложения соединяется с поверхностью, выбранной для обработки на данной операции. Информация об обрабатываемой поверхности заносится в параметрическую модель формируемой ОЗ. Автоматически запускается агент, который отыскивает модуль (веб-сервис) для определения типового плана обработки (ТПО) поверхностей. Этот модуль представляет собой табличный процессор [5], который передает найденные варианты ТПО в параметрическую модель формируемого технологического процесса (ПМ ТП). Далее аналогичным образом запускается новый агент, который отыскивает модуль выбора модели оборудования. После этого отыскивается нормативное значение нужного припуска. На его основе технолог уточняет ориентировочный припуск. Далее выполняется поиск режущего инструмента, расчет режимов резания и т. д. Информация для поиска и расчетов автоматически выбирается из соответствующих параметрических моделей. Схема принятия решений показана на рис. 2. На её базе в процессе функционирования образуются расчетные цепочки, которые динамически формируются для принятия решений [5]. Таким образом, пока технолог в САД системе конструирует операционную заготовку «коллектив» агентов и веб-сервисов «пашет», решая технологические задачи и пополняя соответствующие параметрические модели. Технолог всегда имеет возможность проверить полученные результаты, откорректировать принятые коллективом решения или выбрать предлагаемые варианты решений. «Коллектив» снова запускается, однако обходит решения, которые не требуют изменений. Следовательно, расчетные цепочки могут быть изменены. Таким образом имеет место автономное функционирование САПР ТП. После формирования модели ОЗ наступает этап проверки этой модели на основе простановки аннотаций для операционных размеров. Проставляется технологическая база, шероховатость обрабатываемых поверхностей, а для операционных размеров задается обозначение и точность их получения. Далее после автоматического расчета операционных размеров на экран выводятся размерные цепи и результат просчета этих цепей. Некоторые цепи не удастся рассчитать, так как они зависят от размеров для ОЗ, получаемых на предшествующих операциях. Это так называемые «отложенные размеры» [6]. Они будут определяться

при переходе к предыдущим операциям. Если окажется, что для отложенных размеров точность не выдерживается, то технолог делает возврат к ОЗ на которой они проставлены и решает нужно ли менять технологические базы и ужесточать операционные размеры. При таком подходе можно вовремя определить необходимость корректировки простановки технологических баз, не дожидаясь завершения формирования операционных заготовок, на которые эта ошибка может повлиять. После конструирования исходной заготовки необходимо с помощью веб-сервиса вывести на просмотр параметрическую модель ТП и после её корректировки сформировать технологические карты.

Созданные объекты регистрируются в PDM системе для дальнейшего отслеживания их жизненного цикла. Технологические карты проходят утверждения в ряде технологических бюро. Для автоматизации контроля может использоваться диаграмма «workflow», позволяющие автоматически сообщать о нарушении сроков выполнения необходимых заданий. Накопление статистики по возвратам, например, из бюро нормоконтроля, позволяет не только принимать организационные решения, но и определять пути дальнейшего совершенствования ТПП.

Цифровизация производства открывает новые возможности при проектировании технологических процессов. Например, если при выборе оборудования будет известно состояние каждой его модели (находится в ремонте, степень износа, когда будет свободен для следующей загрузки новой партии заготовок и т. д.) или по инструменту — наличие его на складе, то это может значительно повысить качество разработанного технологического процесса. Наличие хорошо работающей системы заказа специальной оснастки, позволяющей на основе конкурса выбирать внешних исполнителей, так же повышает качество технологических процессов.

4. Выводы

- Организация единого информационного пространства - важный фактор полноценной интеграции систем ТПП.
- Организация ТПП, как веб-ориентированной системы с использованием многоагентных систем, обеспечит эффективное решение технологических задач в условиях расширенного предприятия.
- Преодоление барьера интероперабельности между САД системой и САПР ТП возможно при параллельном создании ЭГМ детали и её параметрической модели как источника информации при проектировании технологических процессов.
- Соединение процессов создания в САД системе ЭГМ операционных заготовок и параметрической модели технологического процесса позволит значительно ускорить проектирование ТП и повысить его качество.
- Интеграция системы расчета размерных цепей и САПР ТП позволяет контролировать правильность простановки технологических баз и своевременно обнаруживать ошибки базирования, не дожидаясь окончания проектирования технологического процесса.
- Интеграция САПР ТП с PDM системой позволит отслеживать жизненный цикл технологических документов и использовать диаграммы «workflow» для автоматического контроля процесса проектирования ТП.
- Цифровизация производства позволит обеспечить доступ к достоверной информации о состоянии производства и тем самым повысить качество проектирования ТП.

Список литературы

1. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / Под ред. П. И. Ящерицына. Минск: Наука и техника, 1979. 264 с.
2. Куликов Д.Д. Интеграция систем технологической подготовки производства // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 7-й международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 29-30 мая 2018 г. С. 749-759
3. 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.
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., Сагидуллин А.С., Носов С.О. Интеграция CAD-системы с системами автоматизированного проектирования // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 8. С. 1820
6. Куликов Д.Д., Дыгина М.В. Расчет операционных размеров в САПР технологических процессов, // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1991. Т. 34, № 9.