

## ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

*Д.Д. Куликов, Е.И. Яблочников, А.И. Востропятов*

*Университет ИТМО*

*Санкт-Петербург*

Технологическая подготовка производства является важной составной частью жизненного цикла изделий машино- и приборостроения. От ТПП во многом зависит стоимость и качество выпускаемых изделий. Несмотря на использование в ТПП комплекса систем (CAD, CAE, CAM, САПР ТП), позволяющих значительно ускорить решение технологических задач, уровень автоматизации ТПП остается недостаточно высоким и не позволяет автоматически полностью разрабатывать оптимальные технологические процессы [1]. Это обстоятельство вызвано неполным уровнем формализации сложных творческих задач, например, определение структуры ТП в целом и технологических операций в частности, выбор технологических баз и т. д. Кроме того, не решена проблема интеграции систем ТПП между собой, что во многих случаях требует утомительного ручного ввода информации. Решение проблемы интеграции в первую очередь зависит от совместимости (интероперабельности) передаваемых сообщений [2, 3]. Выделим три уровня интероперабельности: семантический (смысловое понимание передаваемой информации), синтаксический (понимание синтаксиса и структуры сообщения) и организационный (организация совместного функционирования для достижения заданной цели) [4].

Семантическая интероперабельность может быть достигнута лишь при обеспечении корректности (консистентности) всех передаваемых сообщений и их внутренней непротиворечивости [5]. Семантическая интероперабельность возможна лишь на основе онтологий предметных областей, которые используются системами ТПП.

В ТПП циркулируют сообщения, содержащие модели объектов: 3D модели деталей и заготовок, модели технологических процессов и технологического оснащения, управляющие программы и т.д. Модели представляют собой структурированную совокупность параметров, отражающих свойства моделируемого объекта.

Параметры  $P$  моделей в общем виде могут быть выражены следующим образом:

$$P = \langle K, Des, SV, Val, At \rangle;$$

где:

$K$  — концепт (понятие, закрепленное за данным параметром), ( $K \subset MK$ );

$Des$  — обозначение параметра, ( $Des \subset MD$ );

$SV$  — способ задания значения параметра, ( $SV \subset MS$ );

$Val$  — значение параметра ( $Val \subset MV$ );

$At$  — атрибуты ограничений для значения параметра;

$MK, MD, MS, MV$  — множества, принадлежащие заданной системам ТПП.

Указанные элементы параметра (за исключением атрибутов  $At$ ) назовем главными атрибутами параметра.

Первый этап проверки на семантическую интероперабельность заключается в последовательной проверке на консистентность атрибутов параметров передаваемой модели. В первую очередь определяется консистентность концептов параметров модели. Сообщение  $SA$ , передаваемое из системы  $A$  в систему  $B$ , корректно по концептам, если эти системы имеют единую онтологию. Например, результаты поиска передаются из системы поиска средств технологического оснащения в систему проектирования технологических процессов, 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 словарная система, в которую кроме онтологии со своими прямыми и обратными связями входят атрибуты всех параметров предметной области (кроме значений параметров).

Словарная система со своей онтологией входит составной частью в единое информационное пространство (ЕИП) [6-8]. 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 корректность по обозначению параметра. 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. Для разделения параметров, имеющих одинаковые обозначения, но разные концепты, множество объектов можно разделить по классам: детали и заготовки, инструмент, оборудование, приспособления и т.д. Для каждого класса создается своя область обозначений (домен). Таким образом, главные атрибуты параметра могут быть дополнены атрибутом «домен» (например,  $det$  — домен «детали»,  $inst$  — домен «инструмент» 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. Если системы обмениваются только моделями одного вида, то параметр, обозначающий вид передаваемой модели, можно опустить.

Рассматривая значения параметров необходимо отметить большое разнообразие способов их задания:

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

Значения параметров могут быть заданы синтаксически разными способами. Например, интервал от 10 до 40 мм записывают: « $l-40$ » или « $l.4...5.3$ ». Предельная глубина резания резца может быть задана как «до 4». Могут использоваться отношения порядка, например, « $k > 3$ », « $t \geq 3$ », « $p < 5.4$ », « $s \leq 5.4$ » 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.

Общее количество объектов, информация о которых используется для решения технологических задач, достаточно велико. Только номенклатура средств технологического оснащения может достигать нескольких тысяч единиц. Поэтому при проверке корректности передаваемых данных необходимо использовать словарную систему, которая состоит из базы данных с онтологией и атрибутами параметров, а также содержит программную компоненту для сопровождения базы и поддержания её в актуальном состоянии.

Большинство систем ТПП имеют свой синтаксис передаваемых сообщений, что затрудняет их синтаксическую интероперабельность. Переход к нейтральным форматам типа STEP для графических систем или, в целом, к XML-файлам хотя и облегчает согласование сообщений, однако не снимает всех барьеров интероперабельности. Поэтому возникает необходимость в создании конверторов для согласования сообщений. В настоящее время в большинстве CAD — систем имеются ряд конвертеров для перехода к нейтральным форматам.

Организационная интероперабельность применительно к ТПП может быть обеспечена за счет использования PDM-системы. В дереве проекта этой системы фиксируются результаты как конструкторской, так и технологической подготовки производства. Эти результаты используются в системе управления предприятием. С помощью PDM-системы отслеживается жизненный цикл на всех стадиях создания изделия, обеспечивая тем самым организационную интероперабельность и для ТПП.

Рассмотренный подход был использован при создании экспериментальной «Технологической интегрированной системы» (ТИС) на кафедре технологии приборостроения УНИВЕРСИТЕТА ИТМО [9]. Эта система была разработана как веб-ориентированная система, что позволяет использовать её в условиях расширенного предприятия, когда общение с системой происходит из территориально разнесенных подразделений. В систему входят следующие компоненты (веб-сервисы):

- ТИС-Админ (функции администрирования);
- ТИС-Процесс (проектирование технологических процессов);
- ТИС-СТО (сопровождение базы данных для средств технологического оснащения);
- ТИС-Словарь (словарная система);
- ТИС-Деталь (сопровождение параметрических моделей деталей и операционных заготовок);
- ТИС-ТАП (табличный процессор для расчетов режимов резания, выбора припусков и сортамента, опрелеления типовых планов обработки поверхностей деталей и т. д.).

Для организации баз данных и знаний используется нереляционная СУБД MongoDB. Все системы интероперабельны между собой, обмениваются XML-файлами и функционируют в едином информационном пространстве. Наиболее сложным оказалось преодоление барьера интероперабельности между САД-системой САТІА и ТИС-Процесс. Информации, получаемой из 3D моделей деталей, недостаточно для проектирования технологических процессов. Поэтому был сделан переход к электронным геометрическим моделям деталей (ЭГМ) [10] путем насыщения аннотациями 3D моделей, что позволило обеспечить полное описание деталей. Однако распознать эту информацию из STEP — модели очень трудно, т.к. аннотации выражены в виде облака точек! Поэтому была создана библиотека конструктивных элементов (КЭ) деталей с аннотациями и разработан комплекс макросов для вывода таблиц с параметрами КЭ [11]. Ввод информации о КЭ выполняется следующим образом. Для заданного элемента выводится его таблица и заполняется значениями параметров элемента (размеры и их точность, шероховатость поверхностей, отклонение от формы поверхностей элемента и т. д.). После этого с помощью макросов на экран выводится ЭГМ элемента, т. е. объемный образ элемента со всеми аннотациями. Одновременно формируется параметрическая модель элемента. Таким образом, параллельно с получением ЭГМ детали создается и её параметрическая модель (ПМД). Для создания ЭГМ операционных заготовок используется метод добавляемых тел [11]. Подход к созданию ПМД заимствован из трудов В.Д. Цветкова [12]. При проектировании технологического процесса выборка нужной информации из ПМД детали или операционной заготовки осуществляется с помощью специально разработанного комплекса процедур. Таким образом, на наш взгляд, преодолевается весьма сложный барьер между САД-системой и САПР ТП и открывается путь к созданию автоматических систем, проектирующих оптимальные технологические процессы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства. Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 8. С. 7-11.
2. ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012 Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий. Часть 1. Основа интероперабельности предприятий.
3. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы.
4. Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности информационных систем. URL: <https://www.itweek.ru/upload/iblock/6c4/oleynikov.pdf>.
5. Kshemkalyani, A.D. and Singhal, M. Distributed Computing: Principles, Algorithms, and Systems. — Cambridge University Press, 2011.
6. Яблочников Е.И. Организация процесса технологической подготовки производства на основе модели предприятия // Известия вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50. № 8. С. 69—73.
7. Яблочников Е.И. Современные информационные технологии в ТПП приборостроительного предприятия // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2006. № 30. С. 3-8.
8. Андриченко, А.Н. Единая информационная платформа современного машиностроительного предприятия / А.Н. Андриченко, Н.А. Щербаков. // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2010. №2 (103). С. 202-105.
9. Куликов Д.Д., Носов С.О., Филюков Н.Е. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства. Часть 10. Технологическая интегрированная система». СПб: Университет ИТМО, 2016. 43 с.
10. ГОСТ 2.052-2006 «Единая система конструкторской документации»
11. Куликов Д.Д., Клеванский Н.С., Бабанин В.С. Автоматизированное формирование моделей операционных заготовок // Известия Вузов. Приборостроение. 2014. №8. С. 26 – 29.
12. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков; под ред. П. И. Ящерицына. Минск: Наука и техника, 1979. 264 с.