

Три поколения российских САПР технологических процессов

А.Н. Андриченко, к.т.н., председатель Совета директоров ЗАО “ЭсДиАй Солюшен” (Москва)



В предлагаемой статье описывается опыт трансформации российских САПР ТП с начала 1990-х годов по настоящее время и эволюция двух моделей данных – технологического процесса и НСИ. Представлены преимущества системы следующего поколения – САПР ТП *Timeline*, рассмотрены её принципиальные особен-

ности, функционал и основные расчетные приложения. Показаны механизм взаимодействия САПР ТП *Timeline* с системой *Semantic MDM* и возможность их встраивания в *PLM*-комплексы зарубежных и отечественных производителей.

САПР технологических процессов – одно из немногих направлений отечественной ИТ-индустрии, где российские разработки были и остаются лучше западных. В 1980-х годах Г.К. Горанский, Н.М. Капустин, В.В. Павлов, А.С. Старец, В.Г. Старостин, Б.Е. Челищев и В.Д. Цветков заложили основы советской школы автоматизированного проектирования технологических процессов (ТП). Всех интересовал синтез технологий на основе разбиения деталей на конструкторско-технологические элементы (КТЭ) и механизмы принятия решений при автоматизации трудноформализуемых технологических задач. Конечными целями были “красная кнопка” – для автоматического создания технологии на основе чертежа детали – и возможность оценки технологичности конструкции еще на этапе её проектирования. Эти задачи актуальны и сегодня. Реализация механизмов представления знаний в САПР – это одно из перспективных направлений, которое позволяет создать новый класс конкурентоспособных интеллектуальных информационных систем с высоким уровнем автоматизации принятия решений.

Коллектив разработчиков ЗАО “ЭсДиАй Солюшен” (*SDI Solution*) имеет уникальный многолетний опыт работы в области автоматизации технологической подготовки производства. Авторскими проектами коллектива являются:

- САПР ТП “Автопроект” (ОАО НИАТ. 1991);
- САПР ТП “Вертикаль” (ЗАО Аскон, 2004);

- САПР ТП *Timeline* (ЗАО ЭсДиАй Солюшен, 2011).

Эти системы внедрены и работают на десятках крупнейших предприятий России и СНГ: АО “НПЦ газотурбостроения “Салют” (Москва), ФГУП “КБМ”, ОАО “ПО “Севмаш”, ОАО НПК “Уралвагонзавод”, ОАО “РСК МиГ” и других.

Смена поколений технологических САПР сопровождалась изменениями пользовательского интерфейса, форматов базы данных, расширением состава функциональных задач, возможностей настроек и конфигурирования программного комплекса, но в первую очередь – перераспределением функций между двумя моделями данных: технологии и управления нормативно-справочной информацией (НСИ).

Под термином НСИ (в зарубежной терминологии – основные, мастер-данные) понимается условно-постоянная информация не транзакционного характера, которая не претерпевает существенных изменений в процессе повседневной деятельности компании. К данному типу информации относятся информационно-технические справочники, классификаторы, электронные каталоги средств производства, комплектующих изделий, нормативно-техническая документация.

Принципы построения САПР технологических процессов, реально работающих на производстве, за последние 20 лет практически не изменились: основные трудноформализуемые решения принимаются технологом, а затем оформляются средствами САПР ТП в “диалоговом” режиме – при постоянном обращении к базам данных НСИ, из которых в нужный момент времени извлекаются информационные объекты (оборудование, оснастка, инструменты и т.д.).

Преимуществом написания технологии в САПР ТП является возможность автоматизации расчетных задач, использование часто повторяемых решений в виде типовых технологических процессов и операций, быстрая корректировка ранее разработанной и

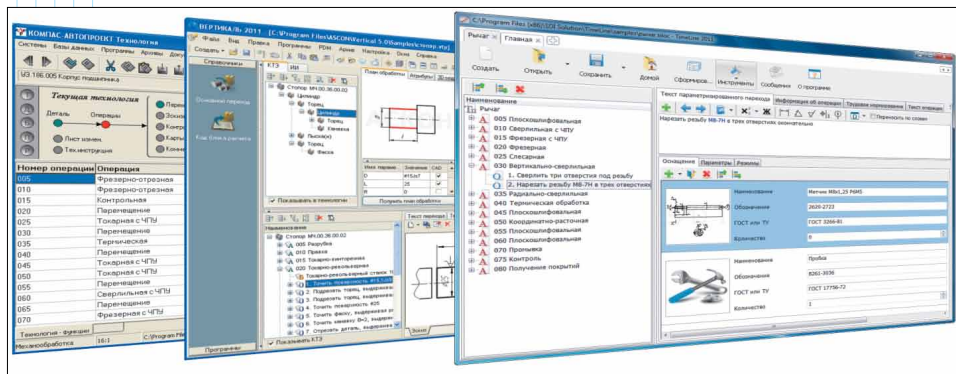


Рис. 1. Три поколения САПР технологических процессов

сохраненной в архиве технологии, автоматическое формирование комплекта документации, доступ к систематизированным базам данных НСИ и, что самое главное, возможность сохранения информации о разработанном ТП в электронном виде в PDM-системе (*Product Data Management* – управление данными об изделии) для последующего анализа технологических данных с целью формирования различных сводных отчетов и ведомостей.

Конкурентная способность САПР определяется многими параметрами, но, поскольку речь идет об автоматизированном проектировании, **ключевым показателем является степень автоматизации принятия решений**. Для того чтобы он был высоким, в систему необходимо закладывать знания о правилах поведения и взаимодействия материально-технических объектов, применяемых при конструировании и изготовлении. Для этого в САПР должны развиваться механизмы принятия решений и представления знаний, основанные на семантических технологиях и построении онтологической модели предметной области, оперирующей описаниями объектов и правилами их взаимодействия.

Специфика разработки такого программного продукта как САПР ТП заключается в том, что, одновременно с развитием прикладной функциональности в САПР, необходимо обеспечить создание и сопровождение технологических баз данных, что может занимать от 30% всей трудоемкости при разработке программного комплекса.

Именно технолог на предприятии должен видеть характеристики различных производственных объектов максимально подробно. Детальное описание параметров оборудования, инструментов, материалов и др. нужны ему для принятия решения о применимости того или иного объекта в технологическом процессе, а также для расчетов режимов обработки. Ни одна из существующих на предприятии автоматизированных систем – *ERP*, *MES*, *PDM*, *CAD* – не может предоставить ему такую информацию, потому что ею не обладает.

При разработке систем класса САПР приходится иметь дело с двумя принципиально различными моделями данных:

1) прикладная модель (3D-модели детали, сборки в CAD-системе, программы ЧПУ в CAM-системе, технологический процесс в САПР ТП);

2) модель мастер-данных (НСИ) для представления различных иерархических классификаций компонентов, из которых формируется прикладная модель (материалы, комплектующие, конструктивные элементы, оборудование, инструменты и т.д.).

В каждой из трех разработанных в разное время САПР ТП (“Автопроект”, “Вертикаль” и *Timeline*) заложена определенная концепция реализации двух моделей данных: технологического процесса и НСИ. Так, в САПР ТП “Автопроект”, созданной в НИИ авиационных технологий (НИАТ) в 1991 году, была сформирована универсальная модель данных, позволяющая создавать средствами конфигурирования любую иерархическую модель и отображать её в виде

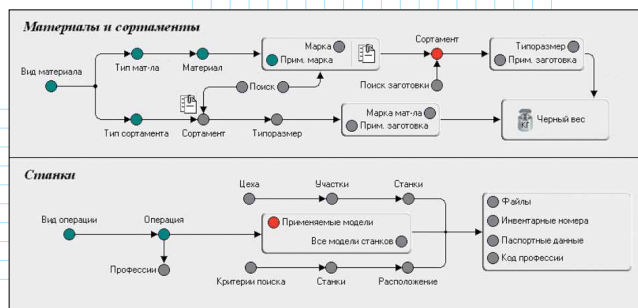


Рис. 2. Навигационные схемы в САПР ТП “Автопроект”

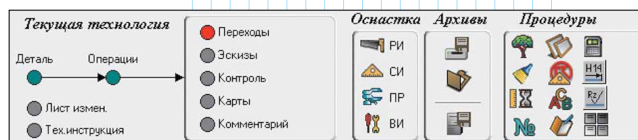


Рис. 3. Навигационная схема технологического процесса в САПР ТП “Автопроект”

графической навигационной схемы (рис. 2). Пользователь в ранге администратора, работающий на предприятии, имел возможность с помощью специальных средств настройки системы создавать новые схемы навигации и вносить изменения в существующие.

Модель технологического процесса в САПР ТП “Автопроект” была представлена в виде трехуровневой цепочки связанных реляционных таблиц: “Деталь” – “Операция” – “Переход” (рис. 3), записи которых, в зависимости от типа технологической операции или перехода, могли менять состав и наименование своих полей – атрибутов. Такое свойство универсальной модели позволяло средствами настройки создавать технологии для различных видов производств и моделировать любой состав их инструментального оснащения. Гибкость и возможность конфигурирования системы “Автопроект” в процессе внедрения и эксплуатации была решающим фактором её жизнеспособности.

За десять лет развития САПР ТП “Автопроект” было выпущено 9 версий этой системы, разработаны модули управления конструкторско-технологическими спецификациями, расчета режимов резания, трудового и материального нормирования. Система широко внедрялась на промышленных предприятиях, включая мелкосерийное и массовое производство.

В 2002 году под эгидой компании “Аскон” стартовала разработка новой системы – САПР ТП “Вертикаль”. Предпосылкой её создания стали ограничения универсальной модели данных, построенной на реляционных таблицах. Система “Автопроект” была разделена на две части: модуль “Вертикаль” стал отвечать за реализацию объектной модели технологии, а универсально-технологический справочник (УТС) – за управление справочными данными (НСИ). Модель ТП была вынесена за пределы универсальной модели данных, получила объектный формат представления и отдельный конфигурактор.

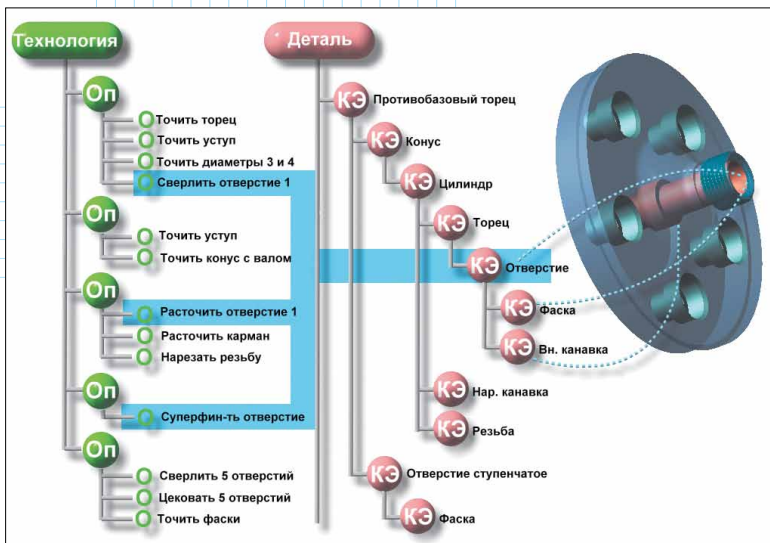


Рис. 4. 3D-модель детали как средство навигации в технологическом процессе

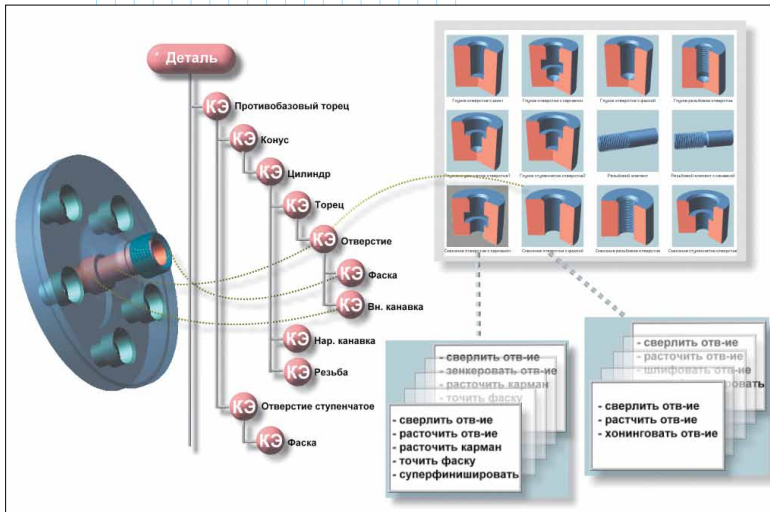


Рис. 5. Библиотека КТЭ, объединяющая интересы систем САД и САПР ТП

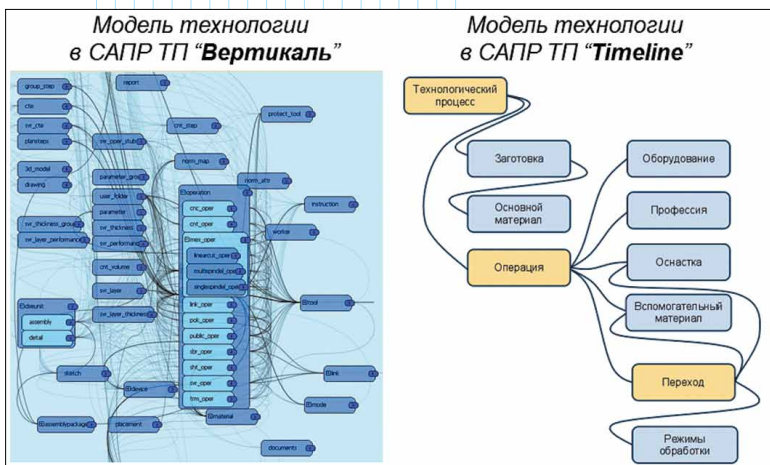


Рис. 6. Упрощение объектной модели технологического процесса в САПР ТП Timeline

Отличительной особенностью этого программного комплекса стала возможность работы с конструкторско-технологическими элементами (КТЭ). В отдельном встроенном ActiveX-окне системы “Вертикаль” отображалась 3D-модель детали, для которой разрабатывалась технология. Грани 3D-модели, образующие конструктивные элементы, посредством уникальных идентификаторов связывались с элементами дерева КТЭ, которые, в свою очередь, были связаны с технологическими переходами обработки этого КТЭ в технологии (рис. 4).

Такая двухсторонняя связь позволяла при выделении грани в 3D-модели детали активизировать соответствующий элемент в дереве КТЭ совместно с технологическим планом его обработки. В свою очередь, при выборе технологического перехода активизировался соответствующий элемент КТЭ и подсвечивались обрабатываемые поверхности в 3D-модели, которая в данном случае являлась средством навигации в технологическом процессе.

Идея создания централизованной библиотеки КТЭ, объединяющей 3D-модели конструктивных элементов и технологические планы их обработки, послужила толчком к созданию корпоративной общезаводской системы управления НСИ (рис. 5).

Библиотека КТЭ, так же, как и база данных (БД) материалов и сортов, лежит на пересечении интересов конструктора и технолога. Она должна быть помещена в корпоративную БД, к которой имеет доступ как САД-система, так и САПР ТП. Такой БД на предприятии может стать система класса MDM, адаптированная к работе с инженерными данными [1].

В 2011 году в рамках ЗАО “ЭсДиАй Солюшен” (SDI Solution) стартовала разработка принципиально новой системы следующего поколения – САПР ТП Timeline. Основная идея проекта – это перенос логики взаимосвязи информационных объектов из прикладной модели технологии в семантическую модель справочных данных. Это позволило, с одной стороны, упростить настройку и конфигурирование прикладной модели технологического процесса (рис. 6), а с другой – расширить функциональные возможности системы управления НСИ за счет консолидации знаний о взаимосвязях информационных объектов: станок, инструмент, материал, конструктивный элемент и т.д.

В среде НСИ такие объекты, как оборудование, операции, переходы, оснастка, материалы и т.д. формируют семантическую сеть справочных объектов – “информационную модель предметной области, имеющую

вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги (рёбра) задают отношения между ними”.

Информация о совместимости операций и переходов, оборудования и оснастки, режущего инструмента и материала обрабатываемой детали востребована многими службами предприятия и теми автоматизированными системами, которые её используют. Перенос правил взаимодействия объектов из прикладной модели САПР в семантическую модель мастер-данных системы управления НСИ делает эти знания корпоративными, то есть общедоступными (рис. 7).

Одним из ключевых сервисов такой организации данных является семантический поиск, при котором в качестве критериев выбора объектов можно задавать не только их параметры, но и взаимосвязи с другими объектами. Например, при поиске сверла в классификаторе режущих инструментов можно указать его длину и диаметр, а также материал обрабатываемой детали, схему обработки и металлорежущий станок, на который это сверло планируется установить. Семантическая модель мастер-данных подберет все сверла соответствующих габаритов при условии их совместимости с predeterminedёнными смежными объектами. В отличие от параметрического поиска, семантический – “осмысленный” – поиск объектов позволяет в несколько раз сократить число альтернативных решений, удовлетворяющих критериям выбора.

В технологическом процессе все объекты располагаются в том иерархическом порядке, который им диктует логика прикладной модели данных “Деталь – Операция – Переход – Оснастка”. В этой модели нет необходимости дублировать правила совместимости информационных объектов, поскольку они уже predeterminedены семантической моделью, реализованной в системе управления НСИ. В прикладной модели техпроцесса эти связи должны быть просто унаследованы (рис. 8). Такой подход повышает степень автоматизации принятия решений в САПР ТП (за счет семантического

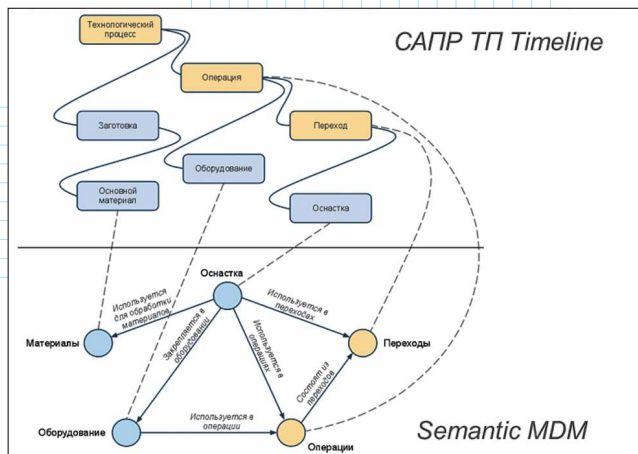


Рис. 8. Модель технологического процесса в САПР ТП Timeline – это “тонкий клиент” семантической модели НСИ в Semantic MDM

поиска) и упрощает конфигурирование прикладной модели ТП при изменении производственных условий. Создание нового технологического передела в САПР Timeline происходит за счет внесения в базу данных НСИ системы Semantic MDM информации об операциях, переходах, оборудовании и оснастке для нового вида производства и установления связей совместимости между этими информационными объектами.

Основное предназначение САПР ТП Timeline – это проектирование технологических процессов для различных видов производств и формирование комплекта технологической документации в формате PDF в соответствии с нормами ЕСТД. Оптимизация объектной модели технологии привела к упрощению архитектуры системы Timeline, что в свою очередь позволило сосредоточить основной ресурс разработки на удобстве и простоте представления технологической информации в интерфейсе системы (рис. 9).

САПР ТП Timeline унаследовала лучшие интерфейсные решения САПР предыдущих поколений. Многозакладочный механизм, используемый

в интернет-браузерах, позволяет открыть в Timeline несколько файлов технологических процессов и копировать фрагменты технологии между вкладками. Библиотека пользователя предоставляет возможность хранить любые фрагменты ТП для повторного использования. Технологические эскизы могут быть выполнены с помощью различных CAD-систем: AutoCAD, Solid Edge, КОМПАС и др.

В базовой поставке Timeline реализовано более 50-ти технологических карт в соответствии с ГОСТом: маршрутные и маршрутно-операционные карты, ведомости оснастки, материалов и т.д.

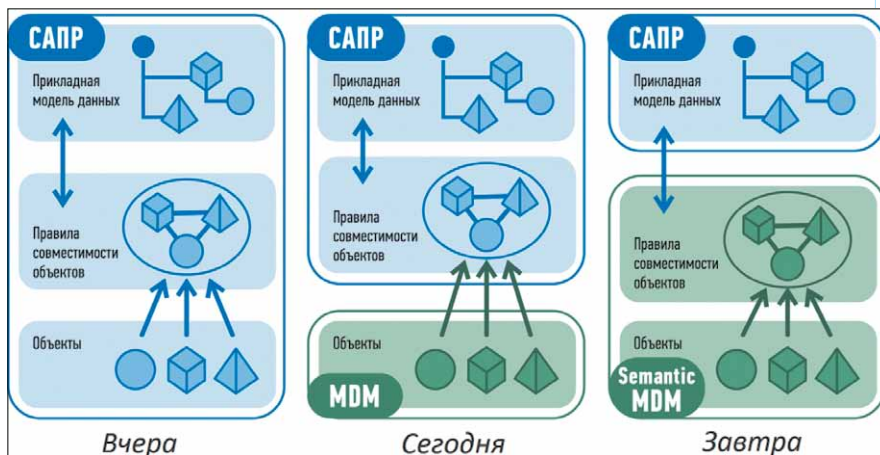


Рис. 7. Консолидации знаний о поведении и взаимодействии информационных объектов в семантической MDM-системе

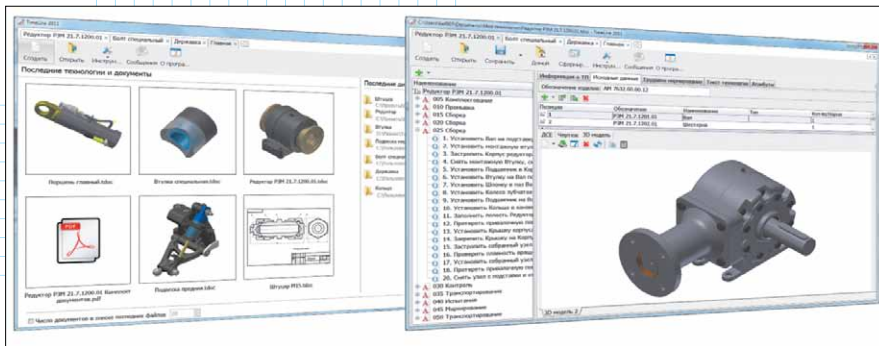


Рис. 9. Интерфейс САПР технологических процессов Timeline

Пользователь-администратор имеет возможность при помощи специального модуля настройки вносить изменения в существующие шаблоны карт и создавать новые.

Стартовая страница в САПР ТП Timeline является “рабочим столом” технолога и позволяет оперативно открывать ранее редактировавшиеся технологии, которые отображаются в виде графических миниатюр чертежа или 3D-модели детали. Наглядная компоновка информации на вкладках и отображение технологических эскизов в практически любых CAD-системах делают интерфейс системы Timeline простым и интуитивно понятным, что сокращает период её освоения технологами. Развитый API-функционал позволяет интегрировать Timeline с различными приложениями: ERP, PDM, MES, CAD, CAM и т.д.

САПР ТП Timeline позволяет:

- проектировать технологические процессы для различных видов производств;
- разрабатывать сквозные технологии в режиме коллективного проектирования;
- разрабатывать типовые и групповые технологии изготовления групп деталей или сборочных единиц;
- рассчитывать режимы резания для различных видов технологических операций;
- рассчитывать материальные затраты и трудовые нормы времени;
- формировать комплект технологической документации по нормам ЕСТД в формате Adobe PDF;
- редактировать существующие шаблоны карт и создавать новые;
- разрабатывать технологические эскизы в любых графических редакторах и практически во всех CAD-системах;
- редактировать технологические параметры, такие как размер, резьба, угол, шероховатость и др., в специализированных формах (рис. 10) и т.д.

В САПР ТП Timeline реализована технология коллективного проектирования технологических процессов. Данный режим позволяет формировать сквозные технологии, состоящие из операций на различные виды производств. В процессе разработки сквозного ТП принимают участие несколько технологов, каждый из которых имеет право на редактирование только своих технологических операций.

Реализован режим проектирования типовых (ТТП) и групповых (ГТП) процессов изготовления

групп деталей или сборочных единиц (ДСЕ). Технологические процессы ТТП/ГТП формируются из двух частей:

- общая часть – содержит информацию по всем операциям и переходам, которые могут быть выполнены для группы ДСЕ, на которую разрабатывается ТТП/ГТП;
- переменная часть (на каждую ДСЕ, входящую в комплексный ТП) – содержит список операций и переходов, дополняющий и уточняющий содержимое общей части технологического процесса.

Расчет режимов резания (PPP) в САПР ТП Timeline реализован для операций точения, растачивания, фрезерования и обработки отверстий, включая:

- черновое и получистовое точение и растачивание;
- отрезание резцом;
- нарезание резьбы резцами;
- рассверливание, цекование, зенкование;
- фрезерование концевыми фрезами плоскостей и уступов;

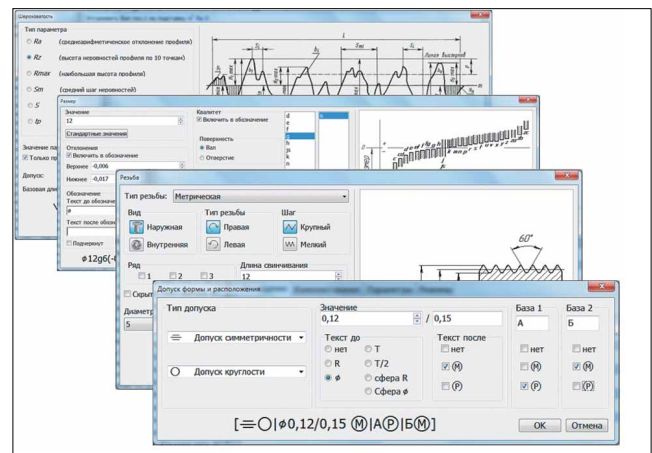


Рис. 10. Специализированные формы для редактирования технологических параметров

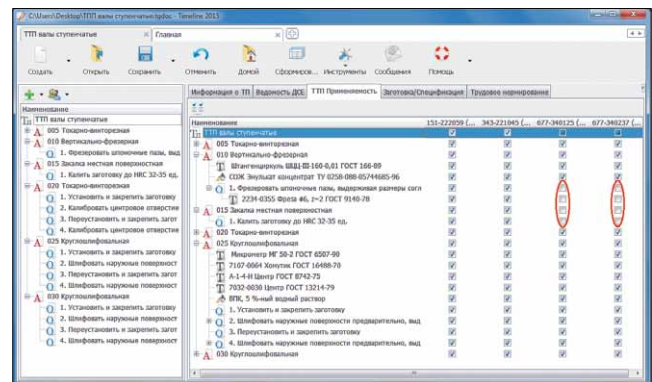


Рис. 11. Проектирование типовых и групповых технологических процессов в САПР ТП Timeline

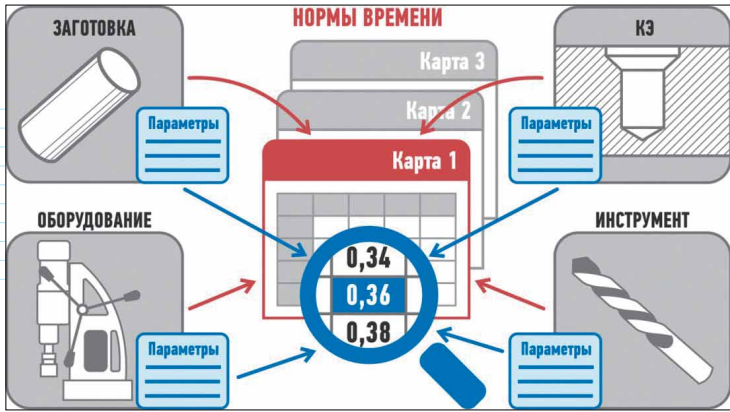


Рис. 12. Нормирование в среде СТН трудовых затрат на основе укрупненных общемашиностроительных норм времени

- фрезерование пазов концевыми фрезами;
- объемное фрезерование концевыми радиусными фрезами и др.

Расчет основан на методике, изложенной в [2].

Система трудового нормирования (СТН), входящая в состав технологического комплекса компании SDI Solution, позволяет нормировать трудовые затраты производства изделий на основе общемашиностроительных укрупненных и других норм времени. В базу данных СТН введено более 50-ти источников трудового нормирования на различные виды операций, содержащих порядка 4000 нормировочных карт, размещенных в БД системы Semantic MDM. Нормирование осуществляется в диалоговом режиме в соответствии с предопределенными сценариями, которые позволяют отображать, редактировать и выбирать табличные нормы времени на выполнение различных технологических операций с учетом поправочных коэффициентов (рис. 12). Перечень операций включает:

- разметочные и заготовительные работы по металлоконструкциям;
- механообработку: работы, выполняемые на токарно-винторезных, карусельных, токарно-револьверных, координатно-расточных, фрезерных, шлифовальных, отделочно-расточных, сверлильных, строгальных, долбежных, горизонтально-расточных, зубообрабатывающих, расточных, гравировальных станках, а также станках с числовым программным управлением (ЧПУ);
- сборку, сварку, обработку давлением, термообработку;
- гальванопокрытие, изготовление изделий из пластмасс;

• консервацию, упаковку, ремонтные работы, транспортировку грузов и др.

СТН работает в комплексе с САПР ТП Timeline и системой управления НСИ Semantic MDM. Поставщиком исходной информации в СТН является технологический процесс, разработанный в Timeline, а первоисточником справочных данных – Semantic MDM. Результаты расчетов СТН сохраняются в САПР ТП Timeline. Вместе с рассчитанными нормами в технологии запоминается история расчета, что делает их технически обоснованными, поскольку всегда существует ссылка на первоисточник – справочник, утвержденный на предприятии.

Кроме того, система трудового нормирования может работать автономно или включаться в программные комплексы других поставщиков ПО.

СТН реализована в виде простого, интуитивно понятного пошагового мастера. Назначение норм производится в диалоговом режиме по шагам, в соответствии с определенным настраиваемым сценарием. Система анализирует формулы, по которым в каждом конкретном случае рассчитывается норма времени, и предлагает пользователю заданную последовательность прохождения нормировочных таблиц. При таком подходе даже неопытный нормировщик не пропустит необходимых шагов для расчета конечного значения.

Если предприятие применяет отраслевые справочники, которые не издавались для общего использования, то актуальной является задача расширения базы данных трудовых нормативов. В состав СТН входит модуль администрирования, который позволяет добавлять, удалять и редактировать нормировочные карты любой сложности.

Модуль настройки СТН позволяет вносить изменения в нормировочные карты непосредственно на предприятии без участия разработчика. Карты могут быть сложными, содержащими многострочные заголовки столбцов и строк, рисунки, комментарии и примечания. Изображения в область заголовков добавляются в виде файлов в форматах BMP, JPEG, ICO, EMF, WMF (рис. 13). Конфигуратор позволяет копировать нормировочные карты целиком и фрагментами, изменять шрифт и цвета ячеек, осуществлять импорт/экспорт таблиц в различные форматы, включая XLS.

Система трудового нормирования, интегрированная с САПР ТП Timeline и Semantic MDM, может быть

| № позиции | Высота шрифта Н, мм, до | Глубина гравирования с, мм, до | Сталь: от до 0,588 ПТ, стеклотекстолит | Медные и алюминиевые сплавы | Гетинакс, текстолит, оргстекло | Время Т, мин |
|-----------|-------------------------|--------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1 | Основного 2 | 0,13 | 0,39 | 0,28 | 0,22 | |
| 2 | 3 | 0,19 | 0,42 | 0,3 | 0,23 | |
| 3 | 4 | 0,25 | 0,44 | 0,31 | 0,24 | |
| 4 | 5 | 0,32 | 0,46 | 0,32 | 0,25 | |
| 5 | 8 | 0,5 | 0,5 | 0,35 | 0,27 | |
| 6 | 10 | 0,3 | 0,46 | 0,33 | 0,26 | |
| 7 | 0,5 | 0,52 | 0,38 | 0,29 | | |
| 8 | 12 | 0,3 | 0,49 | 0,35 | 0,27 | |
| 9 | 0,5 | 0,56 | 0,4 | 0,3 | | |
| 10 | Узкого 2 | 0,1 | 0,4 | 0,29 | 0,23 | |
| 11 | 3 | 0,15 | 0,43 | 0,31 | 0,25 | |
| 12 | 4 | 0,2 | 0,47 | 0,33 | 0,26 | |
| 13 | 5 | 0,25 | 0,49 | 0,35 | 0,27 | |
| 14 | 8 | 0,4 | 0,54 | 0,39 | 0,3 | |
| 15 | 10 | 0,5 | 0,57 | 0,4 | 0,31 | |

Рис. 13. Представление таблицы неполного штучного времени в системе СТН

рекомендована как небольшим предприятиям с производством единичного и мелкосерийного типа, так и крупным, которым необходим оперативный расчет трудозатрат на изготовление изделий.

Расчет норм расхода основного материала для мерного проката различного профиля реализован на основе алгоритмов, описанных в [3]. В систему *Semantic MDM* внесены электронные таблицы, полностью идентичные таблицам из справочной литературы, по которой настраивался расчет.

Таким образом, технологический комплекс компании *SDI Solution*, объединяющий САПР ТП *Timeline*, систему управления НСИ *Semantic MDM*, а также расчетные приложения СТН, СМН и РРР, является составной частью единой системы автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (рис. 14). Тесная интеграция компонентов комплекса с *PDM*-, *CAD*- и *CAM*-системами зарубежных и отечественных поставщиков позволяет решать задачи, связанные с расчетом трудоемкости, материалоемкости и себестоимости изготовления изделий.

Особо следует отметить, что поэтапное и рациональное импортозамещение в области инженерного программного обеспечения (ИПО) может быть реализовано за счет включения в состав существующих зарубежных *PLM*-комплексов российских подсистем, адаптированных к специфике отечественного промышленного производства.

Поставку комплексов *PLM* на российском рынке осуществляют четыре зарубежные компании:

1 *Siemens PLM Software* (подразделение немецкого концерна *Siemens AG*), США;

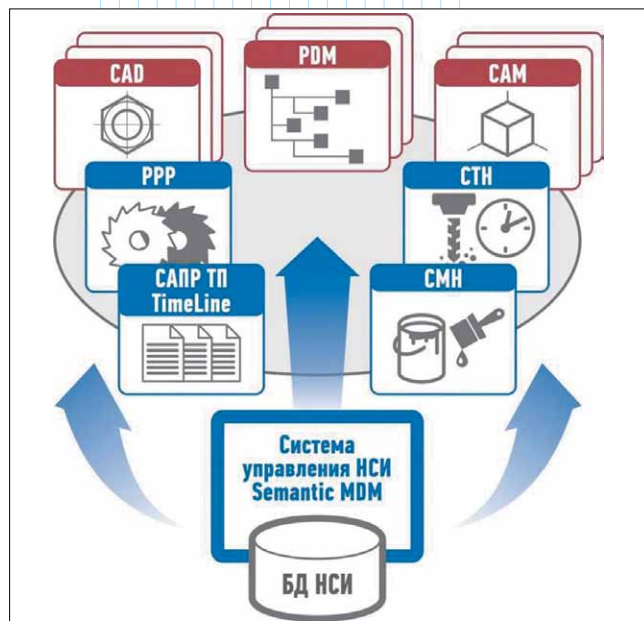


Рис. 14. Конструкторско-технологический программный комплекс на базе *Semantic MDM*

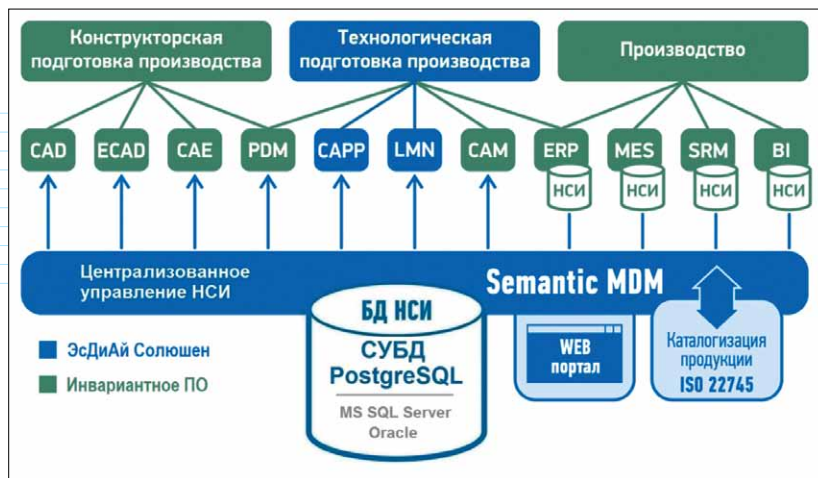


Рис. 15. Архитектура инженерного программного комплекса на платформе российской *MDM*-системы

- 2 *PTC* (США);
- 3 *Dassault Systèmes* (Франция);
- 4 *Autodesk* (США).

Специалистами *SDI Solution* реализовано несколько проектов по локализации этих комплексов *PLM* путем включения в их состав САПР ТП *Timeline* и системы централизованного управления корпоративными мастер-данными *Semantic MDM*, которая является связующим звеном интегрированных программных комплексов (рис. 15).

Система *Semantic MDM* обеспечивает единство конструкторского и технологического этапов проектирования на основе централизации и устранения дублирования объектов НСИ. Система позволяет создать на предприятии единое информационное пространство, в котором корпоративные справочные данные принадлежат всем пользователям: конструкторам, технологам, бухгалтерам, снабженцам и др.

Таким образом, *MDM*-система в составе отечественного комплекса *PLM*, создаваемого в рамках подпрограммы Минпромторга РФ "Разработка отечественного инженерного программного обеспечения", может стать инфраструктурной составляющей, обеспечить качество мастер-данных, стандартизацию и унификацию описаний объектов промышленного производства на основе гармонизированных национальных и международных стандартов. 🌐

Литература

1. Андриченко А. Управление корпоративными мастер-данными в промышленных холдингах и корпорациях // *CAD/CAM/CAE Observer* #1 (109) / 2017.
2. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением / Под ред. В.И. Гузеева. Москва: Машиностроение, 2007.
3. Бабаев Ф.В. Нормирование расхода металлопроката и стальных труб в промышленности. Москва: Машиностроение, 2010.