

**Ключевые слова:**

цифровое предприятие, цифровой двойник, геометрическое ядро, САПР, CAD/CAM/CAE, жизненный цикл изделия (PLM)

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

## ОБЗОР. ЧАСТЬ 1

**Елена ПОКАТАЕВА**

Нынешние времена наверняка войдут в историю российской информатизации как период, когда оформился переход от эмоционально-описательных определений цифрового промышленного предприятия к инженерным. Этот переход, прежде всего, проявляется в специфических особенностях программных систем. Посмотрим, как изменятся программные продукты, претендующие на то, чтобы стать ИТ-инфраструктурой цифрового промышленного предприятия.

### КАК ПРОЙТИ К ЦИФРОВОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ?

Отрасль машиностроения интересна тем, что прообраз современного понятия «цифровое предприятие» появился еще в конце прошлого века под названием «цифровой двойник». Классические примеры – разработка и производство Boeing-777 и «Сухой СуперДжет». Мотивация авиапрома известна: формат работы цифрового предприятия необходим для ускорения разработок и снижения количества ошибок. Как рассказал Алексей Рыжов, генеральный директор Dassault Systèmes в России и СНГ, после внедрения технологии «цифрового двойника» при конструировании Boeing-777 оказалось, что процент ошибок в изделии составил всего 1% от объема ошибок при разработке предыдущей модели самолета, и этот результат демонстрирует, насколько существенны те отклонения от допусков и размеров, которых практически невозможно избежать при работе с бумажными чертежами. «Важно, что при этом радикально сокращается стоимость изменений в процессе проектирования и подготовки к производству, потому что большая их часть приходится на начальный этап, на котором цена изменений невысока, – подчеркивает Алексей Рыжов. – Это означает также серьезное снижение стоимости кастомизации разработки» (рис. 1).

Современный цифровой двойник – это принципиально иная виртуальная сущность, которую нельзя свести к традиционным для автоматизирован-



Алексей Рыжов,  
генеральный директор Dassault Systèmes в России и СНГ

ного проектирования 3D-модели изделия и кинематическим расчетам, поясняет Алексей Боровков, проректор по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), руководитель Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» СПбПУ, лидер-соорганизатор рабочей группы «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ), лидер мегапроекта «Фабрики будущего», член рабочей группы Экономического совета при Президенте РФ по направлению «Цифровая экономика»: «Сегодня следует говорить об «умном цифровом двойнике», который создается в результате численного моделирования и оптими-

зации». По сути, современный цифровой двойник – это интеллектуальная модель процессов проектирования и производства изделия, которая предполагает разработку многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных и других).

Такая матрица, как поясняет А. Боровков, содержит до 60 тыс. целевых показателей и требований, предъявляемых к продукту и его компонентам, а также ресурсных ограничений. Это дает возможность формировать цифрового двойника, который ведет себя так же, как и реальный объект на всех этапах

жизненного цикла, включая этап эксплуатации, с высокой степенью адекватности реальному физическому объекту.

Сергей Гарбук, заместитель генерального директора Фонда перспективных исследований (ФПИ), согласен, что в России сегодня работают предприятия, у которых нынешний уровень цифровизации достаточно высок: «Предприятия просто вынуждены увеличивать присутствие цифровых производственных технологий в силу двух ключевых факторов: особо жесткой конкурентной среды на глобальных рынках (характерной для авиапрома) и массового серийного производства (автомобиле-



Алексей Боровков, проректор по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), лидер-соруководитель рабочей группы «Технет» Национальной технологической инициативы



Сергей Гарбук, заместитель генерального директора Фонда перспективных исследований

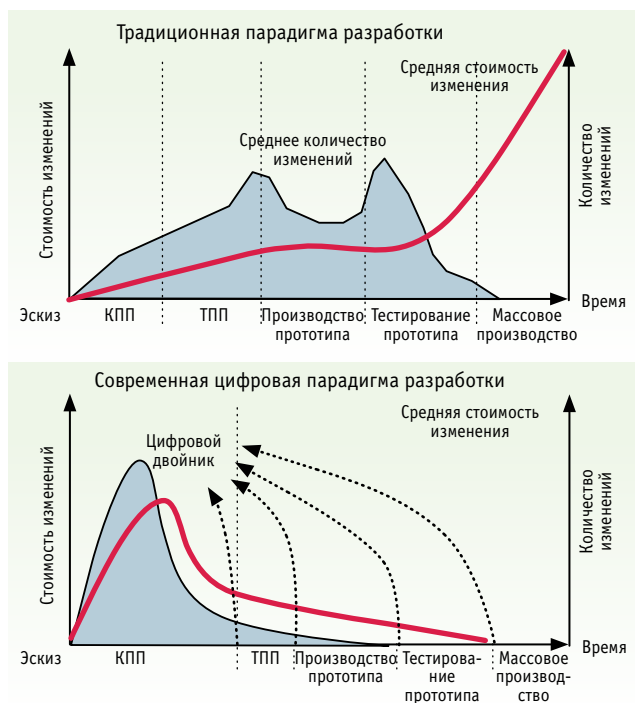


Рис. 1. Традиционная парадигма производства нового изделия vs. парадигма цифрового производства. Источник: CIM Data, Dassault Systèmes

строение). В списке лидеров цифровизации следует упомянуть также КАМАЗ, «Вертолеты России» – эти компании, в силу требований заказчиков, также вынуждены жить в цифровой парадигме». Но как повторить опыт лидера цифровизации всем предприятиям отрасли? Единства мнений по этому вопросу пока не наблюдается. Посмотрим далее, как отражается переход к цифровому предприятию в разработках поставщиков технологий.

### CAD: ТРАНСФОРМАЦИИ НА УРОВНЕ ЯДРА

«Сердце» большинства современных систем автоматизированного проектирования – геометрическое ядро, которое обеспечивает формирование цифровых моделей объектов проектирования: деталей, узлов и изделий в целом. Как правило, геометрическое ядро имеет вид набора библиотек с программным интерфейсом, с помощью которого можно пользоваться функциями математического моделирования.

Для целей практического использования имеет значение вариант реализации геометрического ядра: лицензируемый или доступный в исходном коде. Большая доля САПР, представленных на глобальном рынке, использует лицензированное ядро ACIS

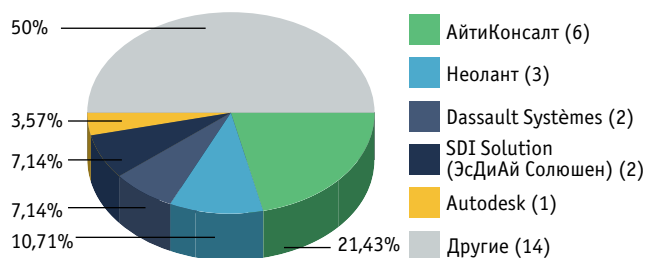


Рис. 2. Подрядчики – лидеры по количеству проектов САПР, итоги 2017 г. Источник: TADviser

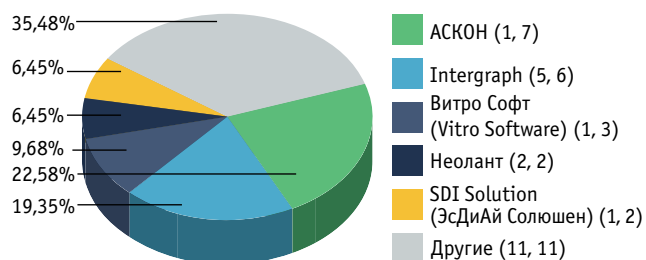


Рис. 3. Распределение вендоров по количеству проектов внедрений (систем, проектов) САПР с учетом партнеров, итоги 2017 г. Источник: TADviser

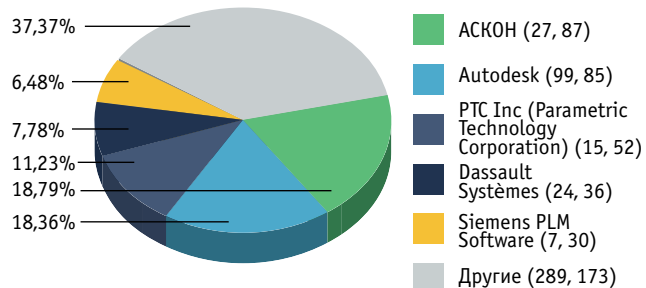


Рис. 4. Распределение вендоров по количеству проектов внедрений (систем, проектов) САПР с учетом партнеров, за всю историю. Источник: TADviser

(Dassault Systèmes) или Parasolid (Siemens PLM Software), которые традиционно считаются самыми быстрыми, доступными для лицензирования. Такое ядро обеспечивает технологию для твердотельного моделирования, обобщенного ячеистого моделирования, интегрированные поверхности свободной формы и листовое моделирование.

Геометрические ядра, доступные в исходном коде, распространяются на принципах свободного программного обеспечения (СПО) open source. Наиболее известное СПО-ядро – Open CASCADE Technology. Это платформа для трехмерного моделирования (CAD/CAM/CAE), визуализации и обме-

на данными, вокруг которой сформировался набор геометрических и топологических библиотек, поддерживающих NURBS-сплайны (Non-Uniform Rational B-Spline, неоднородные рациональные B-сплайны) для моделирования трехмерных кривых и поверхностей.

Особое место на нашем рынке занимает геометрическое ядро C3D (разработка российской компании C3D Labs), поддерживающее набор возможностей для твердотельного и гибридного моделирования, 2D- и 3D-элементы геометрической модели, а также совместимость с различными популярными форматами данных, включая STEP, Parasolid, ACIS, IGES, STL, VRML. Начав свою деятельность в качестве проекта родительской компании АСКОН в интересах САПР КОМПАС-3D, к нынешнему времени продукт C3D обрел статус автономного коммерческого продукта, продаваемого, как сообщает руководство компании, в том числе и зарубежным заказчикам. В стартовой позиции находится еще одно отечественное геометрическое ядро – разработка компании «Топ Системы», основы которой были созданы при поддержке Минпромторга России, а существенная доработка – в рамках проекта ФПИ «Гербарий». Как рассказал С.Гарбук, ядро RGK – это современный инженерный движок, обеспечивающий возможность создания САПР «тяжелого» класса.

В сегодняшней классификации возможности 3D-моделирования и построения чертежей по 3D-моделям характеризуют САПР среднего класса, а «тяжелые» системы, помимо 3D-моделирования деталей, дают возможность проектировать технологии их изготовления, проводить разнообразные инженерные расчеты, разрабатывать управляющую программу для станков с ЧПУ. Денис Маринич, руководитель департамента САПР и ГИС группы компаний Softline, отмечает любопытную тенденцию: «Растет разрыв между продуктами разных уровней. Более продвинутые hi-end-платформы



Денис Маринич, руководитель департамента САПР и ГИС группы компаний Softline

и системы все дальше уходят вперед, оставляя позади решения среднего и начального уровня. Если раньше границы классов систем («тяжелый», средний, «легкий») были достаточно размытыми по спектру решаемых задач, то наблюдаемый сегодня разрыв сделал эти границы менее проницаемыми. Для производителей, которые хотят создать решения классом выше, очевиден «эффект стеклянного потолка». Им остается искать и осваивать новые ниши в рамках своего класса решений – без особой надежды на повышение этого класса».

### САМ: РАВНЕНИЕ НА «БЕЗЛЮДНОСТЬ»

В силу тесной связи ПО компьютерной подготовки производства (САМ) с проектированием (САД) сфера САМ охватывает широкий спектр задач: от ПО, используемого технологами при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ, до поддержки всего процесса компьютеризированной подготовки производства. В результате, многие программные комплексы данного класса являются интегрированными системами: САД/САМ, САЕ/САМ, САД/САЕ/САМ. Соответственно, на рынке есть как САМ-системы, имеющие собственные средства моделирования, так и продукты, работающие исключительно в интерфейсе популярных САД-систем.

Рынок САМ-систем, который, по сути, отражает динамику потребления станков с ЧПУ, пережил вместе с глобальной отраслью в 2014–2015 годах мировой финансовый кризис, к которому добавились санкции и двукратный рост курса валют. Как отмечается в исследовании ресурса planetacam.ru, проведенном в 2017 году, падение бизнеса поставщиков станков с ЧПУ в нашей стране могло достигать 25–30%. Правда, лидеры отечественного рынка сумели добиться в 2016 году неплохого (15–20%) роста рублевой выручки. В исследовании отмечается рост продаж 4- и 5-осевых, а также многоза-

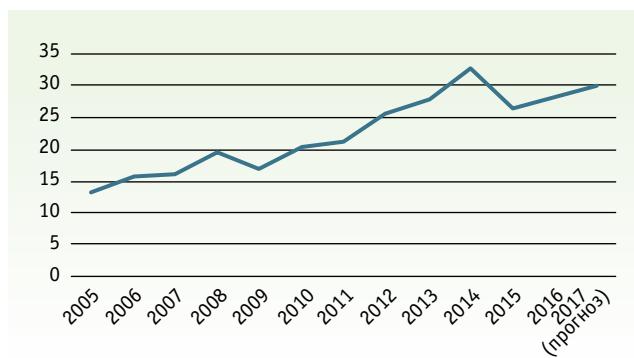


Рис. 5. Объем российского рынка САМ (поставки лицензий, в ценах конечного пользователя, млн долл.). Источник: planetacam.ru

дачных станков по отношению к простым 2- и 3-осевым станкам. Это положительный знак для разработчиков и поставщиков САМ-систем, так как их доход располагается в сфере технологически сложных задач.

Согласно данным исследования planetacam.ru, около 60% от общего числа проданных в нашей стране рабочих мест САМ-систем приходится на фрезерование. При этом предприятия стали активнее приобретать лицензии для «3+2» и полноценной 5-осевой обработки. Доля рабочих мест для токарной и токарно-фрезерной обработки выросла и достигла величины 25%. Рынок САМ для электроэрозионной обработки держится на уровне 3%, и 12% приходится на САМ для работы с промышленными роботами, газо-плазменным, дыропробивным, штамповочным, деревообрабатывающим и прочим специализированным оборудованием. В то же время около 57% всех УП создаются с использованием САМ, а 43% – в форме так называемого цехового программирования (вручную или с помощью специального функционала станка).



Рис. 6. Распределение САМ-систем по видам обработки. Источник: planetacam.ru

Одна из существенных проблем современных САМ-систем – отсутствие стандартизации при формировании промежуточных файлов. Обычно пользователю предоставляется набор базовых постпроцессоров с редактируемыми переменными, работая с которыми, он может самостоятельно настроить постпроцессор для своего станка. Тесная зависимость САМ-системы от технологий геометрического проектирования, с одной стороны, и конкретных видов станков, с другой стороны, определяет широкий спектр систем САМ, имеющих на рынке. В России активно работает более двух десятков поставщиков. Примечательно, что в пятерку лидеров по использованию на предприятиях РФ входит российская система SprutCAM, а вот самая устанавливаемая в мировой промышленности САМ-система Mastercam не достигает даже скромных 4%.

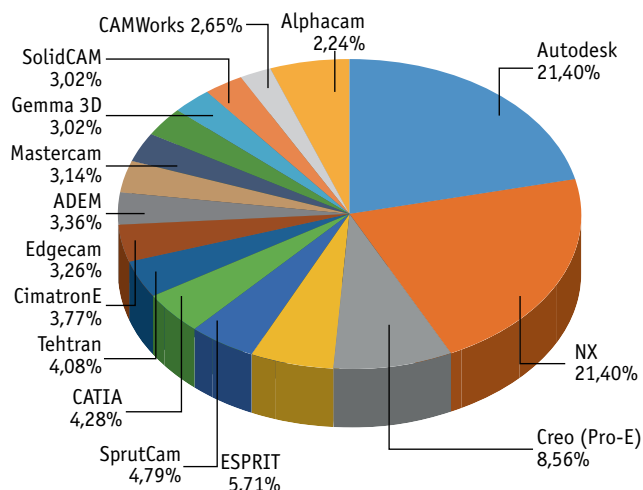


Рис. 7. CAM-системы на предприятиях РФ.  
Источник: planetacam.ru

За лидерство в продажах традиционно сражаются Autodesk и Siemens PLM, российский SprutCAM борется за четвертое место. В целом, российские системы активно атакуют позиции зарубежных вендоров, отмечают исследователи planetacam.ru: SprutCAM и «Техтран» демонстрировали в 2016 году очень хороший рост выручки (свыше 30% в рублевом выражении), рост доходов от продаж систем ADEM, T-Flex и «Гемма-3D» составил 5–10%. В то же время дилеры американских и европейских САМ-систем сохранили или даже увеличили рублевую выручку, несмотря на некоторое сокращение количества продаж лицензий, – отечественные предприятия продолжают охотно приобретать зарубежные САМ-системы.

Современная промышленная САМ-система обладает следующими возможностями:

- импорт трехмерной геометрии – важнейший элемент для многих ситуаций, когда геометрия детали создается в САД-системе, которая не является «родной» для САМ-системы;
- возможность создания вспомогательной геометрии;
- библиотеки режимов резания, материалов, станков и инструмента;
- наличие стратегий для 2.5D, 3D, 4- и 5-координатной фрезерной, токарной, токарно-фрезерной, электроэрозионной обработки с гибкой настройкой параметров;
- возможность симуляции (моделирования) процесса обработки;
- средства для контроля траекторий на зарезы, недоработки и столкновения;
- функционал постпроцессорирования и генерации постпроцессоров – сегодня разработать программы для 5-координатного фрезерного станка без САМ-системы не представляется возможным.

Одна из специфических веток развития САМ-систем – так называемое shop-floor programming, при котором визуальные средства программирования доступны непосредственно со стойки станка. Пример – ShopTurn и ShopMill компании Siemens. Такие системы обладают меньшей гибкостью, однако обычно проще в использовании, обладают большей совместимостью с конкретной системой ЧПУ и станком, а следовательно, надежностью программ и при производстве несложных типовых изделий позволяют перенести функции программиста ЧПУ на квалифицированного оператора станка.

САМ-системы развиваются по следующим основным направлениям:

- высокоскоростная обработка и методы оптимизации траекторий;
- 5-осевая обработка;
- распознавание и обработка элементов детали;
- повышение уровня автоматизации программирования;
- повышение простоты использования системы;
- более глубокая интеграция с САД/САЕ/САРР и прочими производственными системами.

Развитие технологий САМ оборачивается новыми вызовами информатизации. Так, вне зависимости от количества управляемых координат, может быть применен один из методов (стратегий) формирования траектории движения инструмента либо их комбинация. Однако пока не существует интеллектуальных программ, которые могли бы автоматически выбирать комбинацию стратегий для той или иной детали – это остается прерогативой пользователя.

Серьезная задача для современных САД/САМ-систем – формирование наилучшей траектории движения инструмента в рабочей зоне станка. Применяя к детали те или иные стратегии формирования траектории, можно получать различные управляющие программы, причем, время обработки и качество получаемой поверхности будут также отличаться. Иными словами, применение правильной стратегии механообработки – важнейшая вещь, она способна существенно влиять на снижение производственных затрат. В этой части появилось перспективное направление объемной обработки (его развивает, в частности, российская компания PureLogic).

Появление нового оборудования и оснастки – быстрорежущих станков и сверхтвердого инструмента – внесло ряд корректив в методы формирования траекторий движения. На первый план вышли проблемы вибропрочности дорогостоящего режущего инструмента.

Один из современных подходов – зонная обработка, способ изготовления деталей с дискретной сменой ориентации детали в пространстве. Так как

зонная обработка в первую очередь обеспечивает оптимальный доступ к различным элементам детали, то нередко возникает вопрос о рациональном распределении элементов по зонам. Если на многих корпусных деталях технолог не встречает трудностей в решении этой задачи, то на сложных обводообразующих изделиях ему необходима помощь со стороны CAD/CAM-системы.

Таким образом, несмотря на широкие возможности и высокий уровень автоматизации подготовки управляющих программ, САМ-система не может полностью заменить труд человека. Особенно остро ощущается потребность в опыте квалифицированного технолога при оптимизации программ в соответствии с требованиями массового производства, а также при производстве изделий с высокими требованиями к точности и качеству поверхностей. Даже при разработке программ для изготовления типовых корпусных 2.5D-деталей с использованием технологии FBM (Feature Based Machining), что сегодня является образцом высокой степени автоматизации, требуется предварительная настройка, адаптация к существующим производственным условиям, которую сможет выполнить только человек.

### САЕ: НАУКОЕМОСТЬ НАРАСТАЕТ

САЕ-системы (Computer-Aided Engineering – системы инженерного анализа) представляют собой обширный класс систем: от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья, стресс-анализа компонентов и узлов на основе метода конечных элементов и оптимизации продуктов или процессов. САЕ-программы являются важной составной частью средств управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM) и используют трехмерную модель изделия, созданную в САД-системе.

САЕ системы можно условно разделить на три большие группы:

1. Системы полнофункционального инженерного анализа: обладают мощными средствами, большими хранилищами типов для сеток МКЭ (метода конечных элементов), а также всевозможных физических процессов. Обладают собственными средствами моделирования геометрии, а также обеспечивают импорт через промышленные стандарты геометрического ядра Parasolid, ACIS. Наиболее известны системы ANSYS/Multiphysics, A1\*NASTRAN, MSC.NASTRAN.
2. Системы инженерного анализа, встроенные в «тяжелые» САПР: имеют менее мощные средства анализа, однако тесно интегрированы с гео-

метрическим ядром, что дает возможность детально отслеживать любые изменения модели. Расчетные данные структурированы и интегрированы в общую систему проектирования САПР. Примеры: Pro/МЕCHANICA для Pro/ENGINEER, Unigraphics NX CAE для Unigraphics NX, Extensive Digital Validation (CAE) для I-deas, Catia CAE для CATIA.

3. Системы инженерного анализа среднего уровня: не имеют мощных расчетных возможностей и хранят данные в собственных форматах. Некоторые из них имеют встраиваемый интерфейс в САД-системы, другие считывают геометрию из САД. К первым относятся COSMOS/Works, COSMOS/Motion, COSMOS/FloWorks для SolidWorks, ко вторым – visualNastran, Procision.

В России активно работают, как глобальные вендоры САЕ-решений (ANSYS, MSC Software, Dassault Systèmes, LMS International, UGS), так и отечественные. Например, компания «Фидесис» занимается разработкой ПО в области механики деформируемого твердого тела и прочности, НИЦ «Стадио» – расчетами прочности и надежности конструкций и сооружений, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – системами имитационного моделирования сложных физических процессов. Решения НТЦ АПМ охватывают моделирование широкого спектра физических процессов: теплопередача, электромагнитные взаимодействия, течение жидкости, газа и др., включая проведение мультифизических расчетов, которые сочетают анализ физических явлений и механической прочности конструкций. Разработчики инжиниринговой компании «ТЕСИС» сосредоточили свои усилия на развитии специализированных решений, предназначенных для расчетов трехмерных течений жидкости и газа, решения сложных мультидисциплинарных задач по взаимодействию жидкости и конструкции. Разработки компании в области интеллектуальной трансляции САД-моделей между различными прикладными системами, включая верификацию и валидацию этих моделей, а также автоматизированные средства работы с PMI (Product Manufacturing Information), дают основания причислять компанию «ТЕСИС» к поставщикам специализированных PLM-решений.

Новые направления развития САЕ-систем связаны с бурным ростом аддитивных технологий и сферы виртуального прототипирования. Так, в аддитивных технологиях появились новые понятия: 4D- и 5D-печать.

Технологии 4D-печати предполагают, что к трем координатам прибавляется четвертая – время, то есть напечатанные трехмерные изделия в будущем могут изменяться под влиянием тех или иных внешних факторов, например, температуры, влажности, солнечного света или иного облучения. В частности,



Рис. 8. Испытания установки 5D-печати

в лаборатории Self-Assembly Lab Массачусетского технологического института идут исследования в области автономной сборки и создания материалов с программируемыми свойствами. Первыми

результатами стали работы по созданию полимеров, способных запоминать исходную форму. Они могут найти применение для точечной доставки лекарственных препаратов и при создании медицинских имплантатов.

В технологии 5D-печати (по пяти осям) формируемый предмет может вращаться вдоль двух осей, и напыляемый порошок оказывается управляющее воздействие тоже по двум осям. Результаты исследований, проведенных в Mitsubishi Electric Research Labs, показывают, что даже при использовании простейшей технологии с наплавлением пластика в оболочке образуется структура, увеличивающая ее прочность во много раз. Так, оболочка, выполненная по технологии 5D, оказалась в 40 раз прочнее оболочки с обычными горизонтальными слоями.

Достижения аддитивных технологий обуславливают высокий спрос на решения топологической

## С КАКОЙ ЦЕЛЬЮ ПРЕДПРИЯТИЮ НУЖНО НАЧИНАТЬ ДВИЖЕНИЕ В СТОРОНУ «ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ»?



Сергей Гарбук, заместитель генерального директора ФПИ

**С. Гарбук:** «Если говорить о цифровом предприятии на практическом уровне, то это означает, что представление данных о производственных процессах, об изделиях как таковых, об особенностях создания, эксплуатации изделия, вся нормативно-справочная, конструкторская и технологическая документация – все существует в цифровом виде и позволяет существенно повысить качество выпускаемой продукции. Качество – это комплексный критерий, который согласно международным стандартам группы ISO 9001 означает степень удовлетворенности потребителя предоставляемой продукцией или услугами. Данный критерий включает и функциональные характеристики изделия, и экономические показатели типа совокупной стоимости владения (ТСО), и многое другое. Можно сказать, что эффективность функционирова-

ния предприятия в целом определяется качеством и конкурентоспособностью выпускаемой продукции. Таким образом, «цифровизация» предприятия должна, прежде всего, приводить к повышению качества продукции».



Григорий Абаев, руководитель отдела технической поддержки компании «Би Питрон»

**Г. Абаев:** «Конечно, цель любых изменений – в повышении производительности труда, но в контексте тематики цифрового производства я бы выделил ряд критериев, отвечающих за автоматизацию и степень цифровизации. Например, плотность роботизации, отношение количества оборудования с ЧПУ к универсальным станкам, степень автоматизации бизнес-процессов конструкторско-технологической подготовки производства и наличие безбумажного документооборота. Последнее также актуально в цехах,

где могут быть установлены мониторы для получения сменных заданий рабочими в соответствии с их квалификацией, уровнем допуска к тем или иным работам, а также степенью приоритетности задач по текущим технологическим процессам. Подобная организация рабочих мест позволяет отделу планирования оперативно получать информацию о выполнении текущих заказов, загрузке производственных систем, а также быстро вносить изменения в производственные планы».



Василий Чуранов,  
руководитель  
направления «Диспетчер» компании  
«Цифра»

**В. Чуранов:** «Несомненно, повышение производительности труда будет возглавлять перечень практических критериев цифровизации предприятия. Иначе трудно объяснить всю шумиху вокруг всеобщего движения к цифровой экономике. В текущей деятельности заводов параметру производительности труда уделяется большое внимание. В частности, ГОСТ 22110-2016 определяет ряд ключевых показателей эффективности (КПИ), с помощью которых оценивается эффективность работы производственного предприятия и производительность труда. Для расчета этих КПИ имеются специализированные системы мониторинга. В частности, они дают возможность оперативно, практически в режиме реального времени, оценивать полезное использование производственных ресурсов: коэффициенты готовности, загрузки, эксплуатационной эффективности и т.п.».

**В. Кононов:** «Цифровое предприятие – это апофеоз развития промышленного объекта. Главное отличие – это наличие цифрового актива, виртуального прототипа реального предприятия, в основе которого находится информационная модель. Она позволяет собрать воедино сведения, содержащиеся в информационных системах, и данные, занесенные в бумажные журналы. Наличие цифрового актива повышает управляемость, прозрач-



Виталий Кононов,  
президент ГК «НЕО-ЛАНТ»

ность и предсказуемость производственных процессов на всех стадиях жизненного цикла объекта, так мы получаем четко структурированную информацию, привязанную к однозначно определенной модели объекта, которая готова к любой компьютерной обработке».



Алексей Боровков,  
проректор по перспективным проектам СПБПУ

**А. Боровков:** «IV промышленная революция создает спрос на новые бизнес-модели и новые формы организации производства. Таковыми являются «Фабрики будущего». Учитывая общий тренд тотальной цифровизации, целесообразно стремиться к лидерству именно в области Цифровых фабрик, чтобы стать «Мировым конструкторским бюро». Помимо того, этот сектор дает наибольшую добавленную (интеллектуальную) стоимость, а высокий уровень проведения НИОКР имеет ключевое значение для удерживания конкурентного преимущества по сравнению с Китаем, где традиционно сильно развито производство. Производство же возможно в любом регионе страны, либо – если речь идет о глобальных рынках – на территории заказчика или другой подходящей территории, например, в том же Китае».



## «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» – ПОНЯТИЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ

В рамках проекта умного города в Сингапуре компания Dassault Systèmes создала «цифрового двойника» городских зеленых насаждений. Каждое дерево, которое может каким-то образом негативно повлиять на городскую инфраструктуру (например, упасть на дорогу под ударом ураганного ветра) описано с помощью персональной математической модели. Модель изменения погоды, совмещенная с моделями отдельных деревьев и целых парков, способна формировать предупреждения и заблаговременные рекомендации для сотрудников местной МЧС.

оптимизации, включая одновременную оптимизацию для различных вариантов параметров нагрузок/граничных условий. Сюда же примыкают весьма перспективные задачи сферы бионического дизайна, который рассматривается, как попытка не повторить, а воссоздать «мышление» природы при решении всевозможных задач из области прочности, оптимальной геометрии, механики и т. п.

Быстрое изготовление виртуальных прототипов становится важнейшей частью CAD/CAM-процесса, ведь они предельно сокращают этап верификации данных CAD-системы и время перехода к физическому производству. Так, компания ESI, специализирующаяся на задачах создания виртуальных прототипов, предлагает программные средства, позволяющие виртуально моделировать процесс производства, сборки, тестирования изделий в различных средах, а также проходить предварительную сертификацию. Иными словами, концепция виртуального прототипирования пересекается с концепциями поддержки жизненного цикла изделий (PLM), а виртуальный прототип изделия превращается в полноценный цифровой двойник изделия.

Дополнительным стимулом быстрого роста CAE-решений стало мощное наращивание вычислительной мощности компьютеров, а также снижение барьера доступности высокопроизводительных вычислений. Григорий Абаев из «Би Питрон» перечисляет, какие типы данных, свойственных цифровому двойнику, загружают компьютерные ресурсы:

- данные, полученные путем проведения виртуальных экспериментов (CAE) и функционального моделирования поведения систем (MATLAB/Simulink, Dymola/Modelica);
- данные о функционировании системы, полученные с датчиков в реальном времени;
- данные о результатах функционирования системы (например, в случае производственной системы, данные о браке).

В результате, не будет ошибкой сказать, что развитие CAE-сегмента сегодня подталкивает рост традиционного рынка PLM. Сдерживающий фактор, по сути, один – сложность внедрения наукоемких CAE-систем, которое предполагает не только закупку специализированных CAE-технологий и, возможно, высокопроизводительных вычислительных систем, но и экспертную поддержку этих технологий. Дело в том, что, несмотря на все успехи, наблюдается некоторый разрыв между CAD-моделью и расчетной схемой на эту модель, а ликвидация этого разрыва зависит от профессионализма конструктора, владеющего расчетными методами.

«Сегодня явно прослеживается тренд на демократизацию технологий. Он заключается в том, чтобы сделать высокотехнологичное программное обеспе-

## ДВИЖЕНИЕ В ОБЛАКА ПРОДОЛЖАЕТСЯ

Относительно новое слово – облачные технологии для CAM. Чуть больше года прошло с того момента, как американская компания MecSoft анонсировала релиз первой облачной CAM-системы под названием shapeCAM, а несколько месяцев назад стартовало открытое бета-тестирование VisualCAMc – системы, работающей в среде Onshape. VisualCAMc предлагает более сотни готовых облачных постпроцессоров. Скорее всего, говорит автор planetacam.ru Андрей Ловыгин, они портированы в систему из десктопного собрата и даже поддерживают стандартные циклы: «В результате выполнения команды Post-Process на ПК скачивается файл УП, который можно открыть в любом текстовом редакторе и передать на станок с ЧПУ». В тестах с 2D-операциями, отмечает эксперт, система отработала на хорошем уровне, а вот с загрузкой более сложной модели – кузова автомобиля Tesla Model 3 в формате сборки SolidWorks – возникли проблемы. «Илон Маск смог запустить Tesla Roadster сквозь облака в глубокий космос, а мы не смогли даже загрузить в облако 3D-сборку кузова Tesla Model 3», – иронизирует Андрей Ловыгин.

Несмотря на текущие технические проблемы с загрузкой CAM-данных, облачную 3D-CAD платформу для машиностроения Onshape специалисты называют выдающимся примером применения облачных технологий для решения некоторых специальных проблем совместного проектирования и управления данными. Согласно опросам, проведенным Business Advantages Research в рамках исследования облачных CAD, Onshape оказался на втором месте по узнаваемости после Autodesk. Кстати, в магазине приложений Onshape в разделе CAM, помимо VisualCAMc, можно обнаружить еще восемь продуктов, в том числе ПО Connector российской компании SprutCAM.

чение и высокопроизводительные вычислительные системы доступными для большего числа людей, сократить или скрыть от пользователя всю сложность использования инструментов, – говорит А. Боровков, проректор по перспективным проектам СПбПУ. – Однако, несмотря на упрощение программного обеспечения в использовании, понимание сути инженерных проблем по-прежнему необходимо, поскольку профессиональная интерпретация результатов является неотъемлемой частью работы в данной области».

В этой связи следует упомянуть программы семейства CADfix британской компании International TechneGroup – они предназначены для передачи геометрии между CAD/CAM/CAE системами и «лечения» геометрических проблем. По утверждению вендора, CADfix решает практически все существующие проблемы, связанные с обменом данными 3D-моделей и повторным использованием между двумя различными инженерными приложениями.

Таким образом, можно выделить два основных направления развития CAE-систем:

- развитие методов решения междисциплинарных задач моделирования, в том числе связанных с разработкой и расширением возможностей

платформ для интеграции различных CAE-систем при решении междисциплинарных задач; → улучшение интероперабельности CAE- и CAD-систем, а также интеграция CAE-систем в PLM-решения.

Иными словами, ключевой тренд отрасли – углубление интеграционных способностей CAE-систем и общего уровня интеграции различных этапов жизненного цикла конструирования и производства новых изделий. В частности, тенденции усиления интеграции отдельных функциональных модулей CAM/CAM/CAE соответствует развитие систем EPD (Electronic Product Definition), поддерживающих концепцию полного электронного описания объекта. Кроме того, эволюционный тренд технологической интеграции получает мощный стимул со стороны других глубинных трансформаций, происходящих в недрах промышленной информатизации. О них читайте в продолжении обзора в следующем номере.

**ПОКАТАЕВА Елена Николаевна** –  
обозреватель журнала «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



### СПРАВОЧНИК ПО ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ

Редактор оригинального издания С. Катаяма

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2015. – 704 с. + 32 с. цв. вкл.,  
ISBN 978-5-94836-420-9

Цена 2800 руб.

Среди технологий, предназначенных для обработки материалов лазером, особо выделяется лазерная сварка, включившая в себя последние достижения в разработке лазерных устройств. Для ее правильного применения и использования требуется ясное понимание физических механизмов и явлений, сопровождающих лазерную сварку. Поэтому в справочнике рассмотрены разнообразные лазерные или гибридные процессы сварки, сварка различных видов материалов, а также приведено описание металлургических, химических и механических аспектов сварки.

Справочник разделен на четыре части. В разделе I рассмотрены базовые принципы физических процессов сварки и раскрыты причины появления дефектов. Раздел II посвящен конкретным технологиям, в нем рассмотрена лазерная сварка различных материалов. В разделе III представлены методы численного моделирования процесса лазерной сварки, описана процедура калибровки инструментов в роботизированной сварке. В разделе IV рассмотрены конкретные значения рабочих параметров и условий сварки в промышленных применениях.

Книга адресована студентам, инженерам, ученым, преподавателям и станет важной и полезной для всех, кто интересуется лазерной сваркой, – от новичков до специалистов и экспертов.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я91; ☎ +7 495 234-0110; 📞 +7 495 956-3346; ✉ [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)