

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# **ВЕСТНИК**

Санкт-Петербургского  
государственного университета  
технологии и дизайна



**Серия 1**

Естественные  
и технические науки

**№ 2/2021**

УДК 621: 681.51

С. Л. Горобченко, Д. А. Ковалёв, А. И. Алесин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186 РФ, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

© С. Л. Горобченко, Д. А. Ковалёв, А. И. Алесин, 2021

Рассмотрены вопросы перехода на электронный документооборот с применением CALS-технологий в машиностроительных компаниях. Показано современное состояние электронного документооборота на арматурных и машиностроительных предприятиях. Выделены основные виды программного обеспечения и информационных платформ, оптимальных для применения на машиностроительных предприятиях. Демонстрируется практическое применение последовательности перевода документации на электронный документооборот изделий машиностроения. Из наиболее значимых тенденций развития CALS-систем на предприятиях отрасли выделена тенденция создания клиентских порталов, создаваемых поставщиками оборудования.

**Ключевые слова:** электронный документооборот, CALS-технологии, интегрированные платформы информационной поддержки машиностроительных предприятий, PLM для арматурных предприятий, программные пакеты CAD, CAE, CAM и Autodesk Fusion 360 для машиностроения.

Многие машиностроительные компании осуществляют переход на электронный документооборот, как внутренний (между сотрудниками), так и внешний (удаленный), между отделами предприятия, холдингами и клиентами. Чаще всего это делается при помощи обычных пользовательских средств, таких как Word, Excel, доступные и бесплатные компьютерные сети, электронная почта и пр. Эти средства разобщены, разнородны и, как правило, не могут быть применены для полноценного электронного оборота документации в машиностроительных компаниях.

Причиной этого является большой объем технической документации, которая не вписывается в традиционные пользовательские средства передачи и обслуживания данных и не учитывает все взаимосвязи между базовыми принципами маркетинга, проектирования, производства, продаж, эксплуатации и обслуживания машиностроительной продукции.

Сделать это можно на основе применения CALS-технологий. CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life Cycle Support — компьютерное сопровождение и поддержка жизненного цикла продукции). Общие принципы CALS-технологий представлены на рис. 1.

Основным принципом CALS-технологий является такое выстраивание программных и системных инструментов, которое позволяет обеспечить полную информационную поддержку продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Для этого используются базовые технологии управления данными и технологии управления процессами. Благодаря им обеспечивается комплексная компьютеризация всего процесса промышленного производства.

Комплексность обеспечивается унификацией и стандартизацией спецификаций промышленных изделий на всех этапах их жизненного цикла. Основными

спецификациями являются маркетинговая, проектная, технологическая, производственная и эксплуатационная документации. CALS-системы должны обеспечивать хранение, обработку и передачу информации в сетевой компьютерной среде и оперативный доступ пользователей, формируя единую многофункциональную среду управления проектированием, созданием и эксплуатацией сложной техники.

Результатом использования CALS-технологий является повышение качества изделий за счет использования сразу многих систем доступа — АСУП, САПР, АСПП, АСУТП всеми заинтересованными пользователями, что приводит к оптимизации планов работ, прозрачности содержания заявок, простоты составления графиков производства, планирования нагрузок, трудоемкости и финансов. В CALS-системах они обеспечиваются единым синтаксисом и семантикой с протоколами, принятыми в АСУ ТП, и лишены недостатков «доморощенного» выполнения задач на местах. Выполнение единых протоколов стандартов CALS-систем позволяет избежать проблем, с которыми сталкиваются предприятие и смежники при работе с разными АСУ ТП.

Одновременно значительно снижаются материальные и, особенно, временные затраты на проектирование и изготовление изделий. Резко снижаются затраты на эксплуатацию, благодаря реализации функций интегрирования поставщиков и эксплуатирующих организаций, особенно в области поставок запчастей. Основой этого являются согласованность форматов, способов, руководств, технологических режимов и карт в разных частях общей интегрированной информационной системы управления.

Чтобы достичь указанных целей и получить максимальный эффект от внедрения CALS-технологий

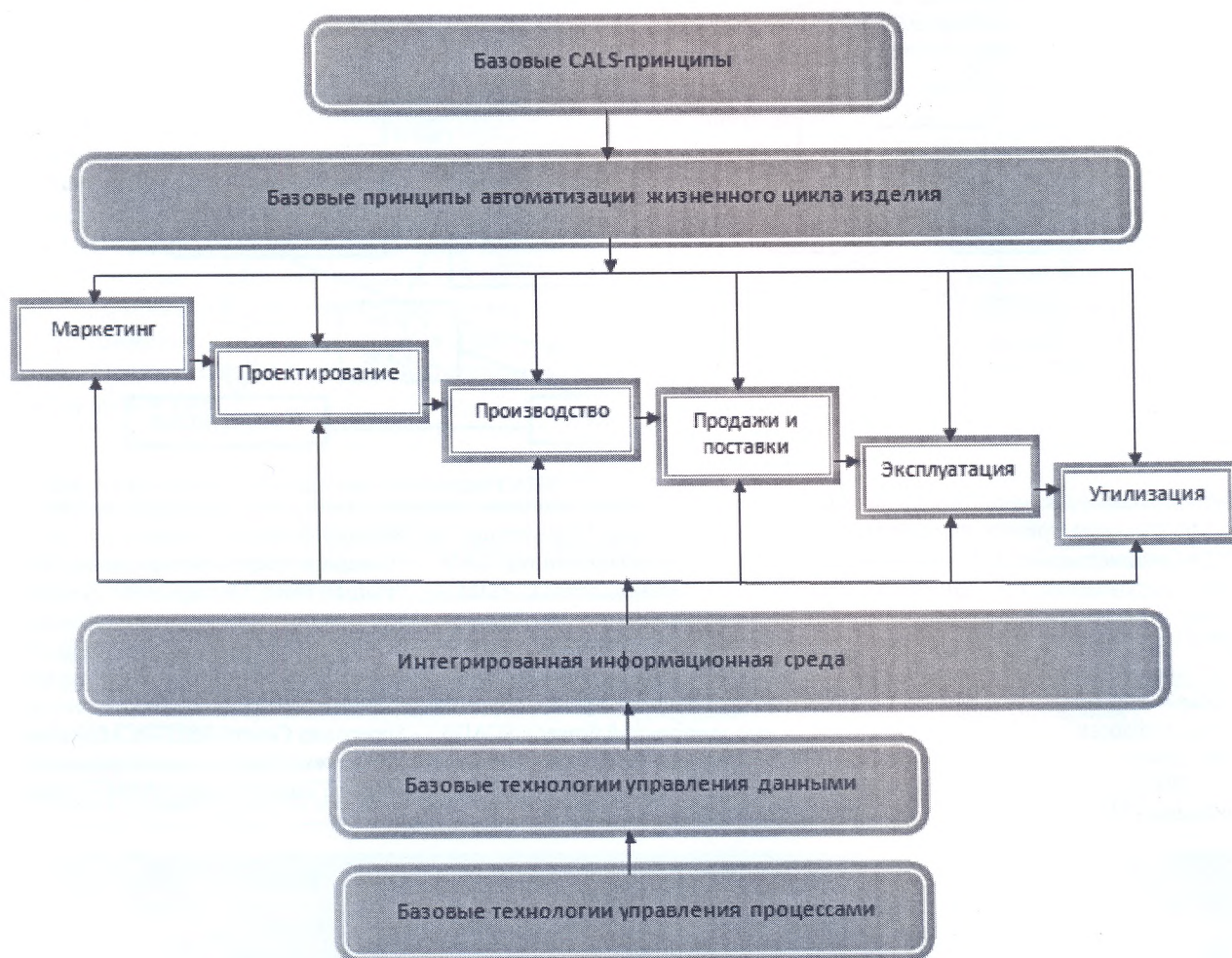


Рис. 1. Общие принципы CALS-технологий

при переходе на электронный документооборот, необходимо обеспечить единообразие описания и интерпретации данных в реальном масштабе времени для распределенных систем. Все внутренние элементы и структуры проектной, технологической, эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизированы.

Пример построения программной архитектуры системы, увязывающей все этапы жизненного цикла изделия на машиностроительном предприятии, показаны на рис. 2.

Как видно из рис. 2, каждый пакет программных платформ связан как с определенным этапом жизненного цикла продукции, так и между собой. В каждой платформе пользователи могут добавлять свои пользовательские программы и базы ресурсов, необходимые для их работы. Так, для арматурных компаний полезно иметь дополнительные банки 3D-моделей, используемых как для собственных нужд, так и для общего пользования в проектных институтах, инженеринговых и строительно-монтажных организациях, дополнительные программы расчета, например, ANSYS моделирования напряженного и термонапряженного состояния арматурных изделий, специализированные программы расчета надежности по SIL, расчета

на сейсмостойкость и вибрационную надежность агрегатированных узлов арматуры, технологические программы расчета, например расчета литейных процессов при литье корпусов, и др. Обязательным требованием является наличие программ для гидравлического расчета арматуры, расчета надежности по критериям гидравлического и термодинамического состояния потоков, специализированные программы формирования проектных спецификаций, расчета KPI проекта и пр.

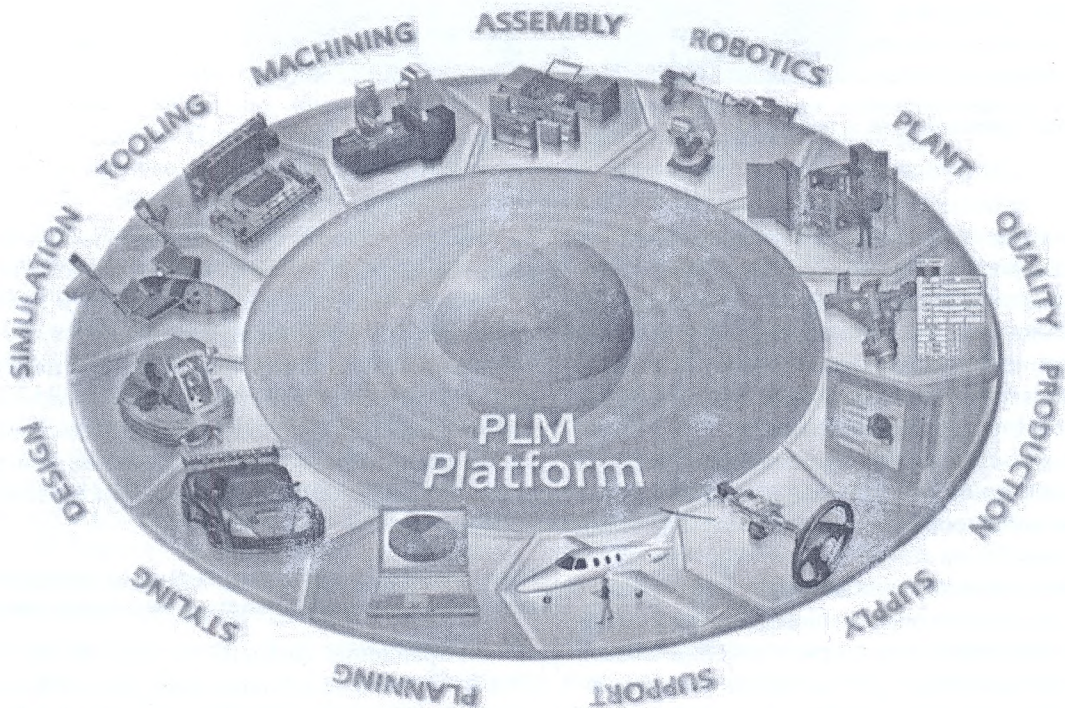
#### Применение концепции жизненного цикла и PLM для проектирования изделий машиностроения

«Управление жизненным циклом продукта» (PLM) — это процесс информационно-технического сопровождения промышленного изделия на всём периоде его существования, от возникновения концепции через процесс проектирования и производства до обслуживания и утилизации произведенных продуктов, рис. 3.

Ключевую роль в цикле PLM играют системы CAD, CAE, CAM — системы инженерного анализа, проектирования и подготовки производства промышленных изделий. Сложенная работа таких САПР является фундаментом, на котором базируется успеш-



**Рис. 2.** Взаимоувязанные программные среды для построения системы сквозного электронного оборота на машиностроительном предприятии, где: CAE — Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ); CAD—Computer Aided Design (автоматизированное проектирование); CAM — Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства); PDM — Product Data Management (управление проектными данными); PLM — Product Lifecycle Management (управление жизненным циклом); SCM — Supply Chain Management (управление цепочками поставок); ERP — Enterprise Resource Planning (управление ресурсами предприятия); MRP-2 — Manufacturing (Material) Requirement Planning (управление ресурсами производства); MES — Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система); CPC — Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес); SCADA — Supervisory Control And Data Acquisition (сбор данных и диспетчерский контроль); CNC — Computer Numerical Control (управление технологическим оборудованием — ЧПУ); CRM — Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками); S&SM — Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием)



**Рис. 3.** Платформа PLM машиностроительного предприятия, где: Planning — планирование; Styling, Design — проектирование и дизайн; Simulation — имитационное моделирование; Tooling — инструментальная и техническая подготовка производства, изготовление оснастки, штампов и кондукторов; Machining — механическая и др. обработка заготовок, в т. ч. на станках с ЧПУ; Assembly — сборка отдельных узлов и агрегатов; Robotics — дальнейшая сборка изделия с применением роботов-манипуляторов; Plant — налаживание техпроцессов серийного производства, стабильного взаимодействия всех этапов изготовления и сборки изделия между собой; Quality — отслеживание качества изготовления и сборки изделий на всех этапах производства; Production — подготовка изделий к продаже в составе различных комплектаций и вариантов исполнения; Supply — налаживание производства запчастей, принадлежностей и аксессуаров; Support — организация технической поддержки выпускаемой продукции

ное производство и реализация машиностроительной продукции.

Интеграция систем автоматизированного проектирования в единую систему позволяет редактировать документальное сопровождение продукта с помощью интерфейса САПР. Таким образом, реализуется управление файлами непосредственно в интерфейсе CAD-систем, а также использование проектной информации (3D-геометрии, чертежей, ведомостей материалов и т. д.) для выполнения таких процессов, как подсчет себестоимости, поиск поставщиков, производство и др. Основные преимущества интеграции САПР приведены в табл. 1.

### Программный комплекс Autodesk Fusion 360

Для реализации задачи системы PDM (управление данными об изделии), заключающейся в том, чтобы соединить два массива данных — файлы САПР и базу данных PDM, наиболее эффективно использовать программный комплекс Autodesk Fusion 360. Этот инструмент служит для интеграции проектирования, управления изменениями и облегчения задач ведения истории изменений, обмена данными между участниками проекта, а также применения изменений, внесенных разнообразными службами и сотрудниками. Для этого файловая структура CAD и данные PDM управляются одной программной средой.

Табл. 1. Основные преимущества интеграции САПР

Процессы САПР	Достоинства интеграции
Интеграция процессов проектирования в процесс изменения и реализации	Возможность вовлекать в процесс сопровождения различные CAD-системы
Централизованное решение для просмотра документации	Снижение совокупной стоимости владения
Налаженное взаимодействие между подразделениями предприятия	Нет необходимости в дополнительной системе управления данными
Едиственный источник актуальной информации для всех участников	Отсутствие дополнительных системных интерфейсов
Доступ к информации с привязкой к местоположению	Отсутствие избыточности данных
Доступ в реальном времени ко всей необходимой информации	Централизованное управление пользователями системы

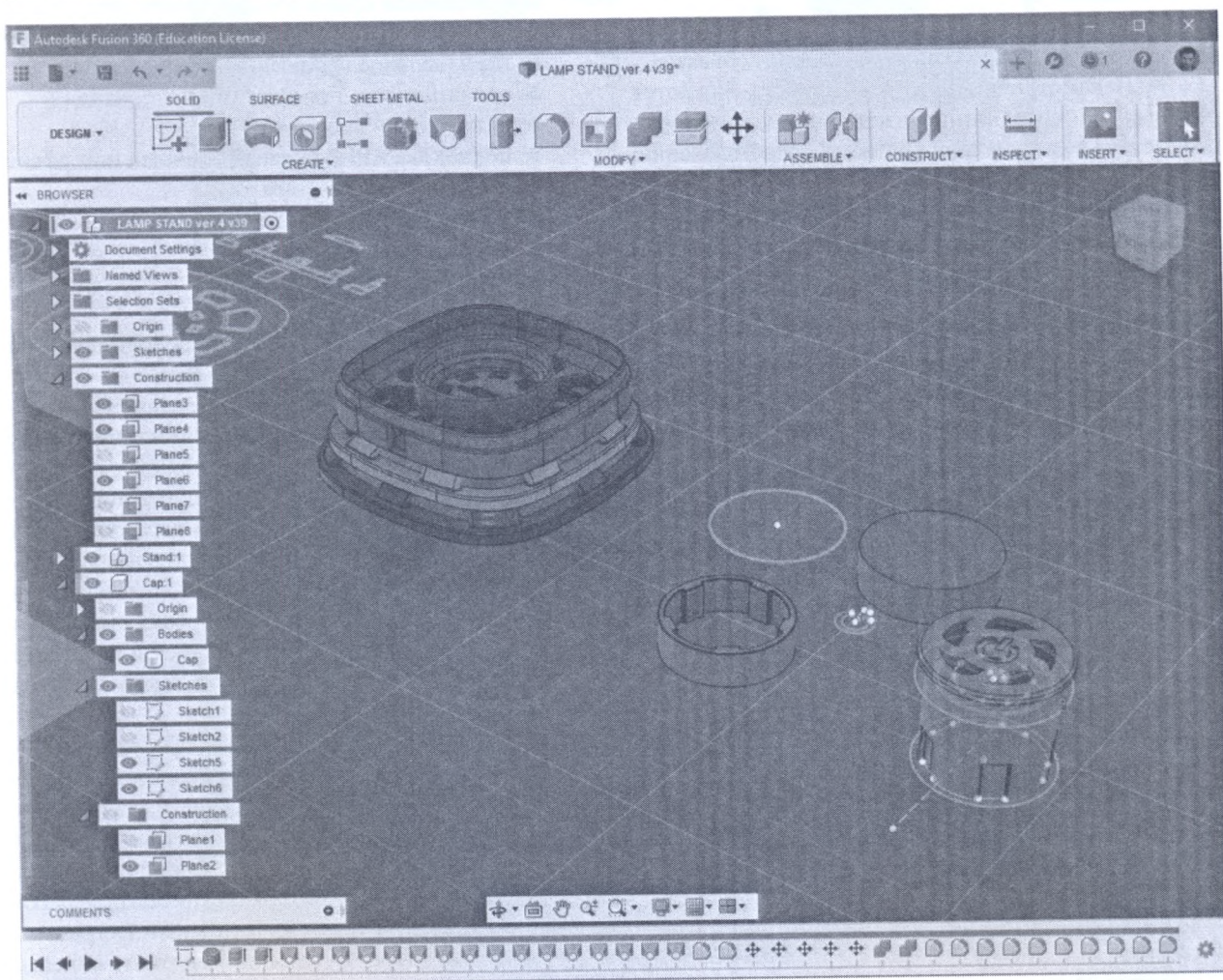


Рис. 4. Пример твердотельного моделирования электронно-механического изделия

Autodesk Fusion 360 — это облачная система проектирования, позволяющая существенно повысить степень взаимодействия между различными подразделениями производственных предприятий и преодолеть барьер существующих САПР путем введения встроенных функции PDM, как части инструментов САПР.

Этапами проектирования являются следующие:

1. Проектирование и моделирование (CAD)
2. Системный технический анализ (CAE)
3. Организация производства (CAM)
4. Совместная работа участников проекта над проектом в Autodesk Fusion 360

### 1. Проектирование и моделирование (CAD)

Первый этап — это построение эскиза и трехмерной модели изделия. Среди возможностей, предоставляемых программой Fusion 360, выделяются следующие:

► Слайновое моделирование. Моделирование выполняется путем задания точной кривизны линий и поверхностей или путем «ручного» редактирования вершин и крайних точек образующих.

► Твердотельное моделирование. Используются инструменты твердотельного моделирования в комплекте с совершенно новыми функциями (например, временной шкалой).

► Сеточные модели. Обеспечивается работа с данными, отсканированными с материальных объектов.

► Параметрическое моделирование. Задаются размеры при создании эскизов. Любое изменение параметров ведет к волнообразному преобразованию связанных элементов.

► Библиотека готовых решений. Используются стандартные компоненты для подготовки чертежей и документации.

### 2. Анализ с точки зрения инженерии (CAE)

После основной части проектирования требуется провести инженерный анализ модели для того, чтобы понимать, как будущее изделие поведет себя в реальных условиях. Для этого программа Fusion 360 предлагает следующие возможности:

- анализ термонапряженного состояния изделия;
- исследование устойчивости к статическим нагрузкам;
- выявление частот собственного резонанса;
- проверка приложением нелинейных напряжений в различных плоскостях изделия;
- моделирование ударных нагрузок;
- оптимизация формы;
- анализ болтовых соединений.

Виртуальная среда Autodesk позволяет осуществить проверку поведения изделия/сборки в условиях, приближенных к реальным: какие нагрузки сможет выдержать, какие точки/области/узлы деформируются/разрушаются, как будут выглядеть области деформации и т. д., рис. 5.

В окне исследований состояния изделия производится редакция множества исходных данных, создается

анимация сборки, задается характер взаимодействия между деталями, рис. 6.

### 3. Организация производства (CAM)

Следующий шаг — настройка оборудования и подготовка технической документации для запуска производства. В среде Autodesk Fusion 360 выполняется:

► подготовка управляющей программы для станков с ЧПУ. Программный комплекс разрабатывает оптимальные траектории для фрезы, резца и пр., позволяющие ускорить процесс обработки, соблюдая при этом допуски по посадкам/шероховатостям поверхностей, и сократить износ используемой оснастки;

► подготовка корпусной модели для 3D-печати. В среде проектируется будущее изделие и готовится его модель для последующей печати на 3D-принтере, автоматически создается сеть поддерживающих платформ;

► выпускается двумерный или аксонометрический чертеж, рис. 7. Программа Fusion 360 расставляет размеры, настраивает вид с разных сторон и экспортирует данные в файл DWG или PDF. При необходимости чертеж дорабатывается в AutoCAD, рис. 8.

### 4. Совместная работа над проектом в Autodesk Fusion 360

Программная среда обеспечивает следующие возможности для взаимодействия участников проекта:

- параллельное проектирование;
- вариативность проекта;
- синхронный просмотр;
- поддержка API (унифицированный интерфейс взаимодействия со сторонним ПО);
- мониторинг прогресса и связь;
- управление доступом;
- менеджмент версий;
- поддержка мобильных платформ.

Окно поддержки взаимодействия пользователей в среде Fusion 360 показано на рис. 9.

Для современных CALS-систем становится возможным и необходимым выход за пределы внутренних отделов арматурных предприятий и широкое создание функциональных порталов взаимодействия с клиентами. В наибольшей степени это характерно для компаний, занимающих сильное, а иногда и монопольное положение по отношению к наиболее значимым клиентам на рынке. В дальнейшем упрощенные версии таких порталов начинают применяться и средними компаниями. Пример архитектуры такой системы приведен ниже, рис. 10.

В портал выведено большинство процессов, необходимых клиентам для проведения проектов с применением арматуры компании. В частности, сюда входят блоки поддержки выполнения проектом; поставки запчастей, поддержки и изменения версий продуктов, обеспечения актуальными видами технического сопровождения и отчетов, обучения и сервисные программы.

Завершая наш обзор, сделаем некоторые выводы. CALS-технологии получают все более широкое распространение в связи с развитием внутреннего и удаленно-

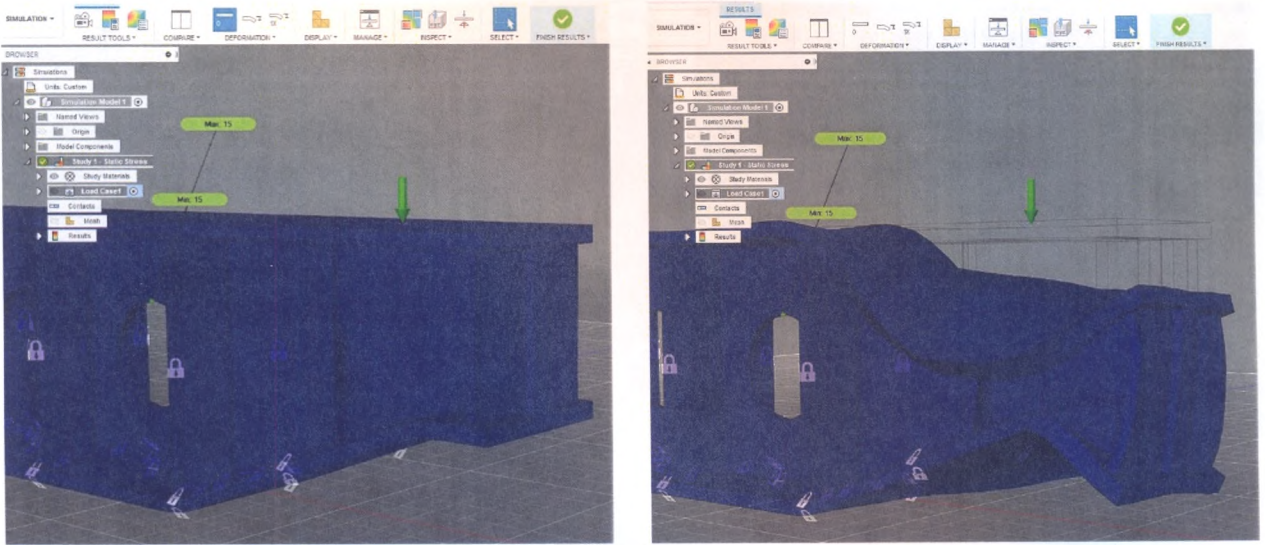


Рис. 5. Пример исследования деформации при статичной нагрузке на изделие

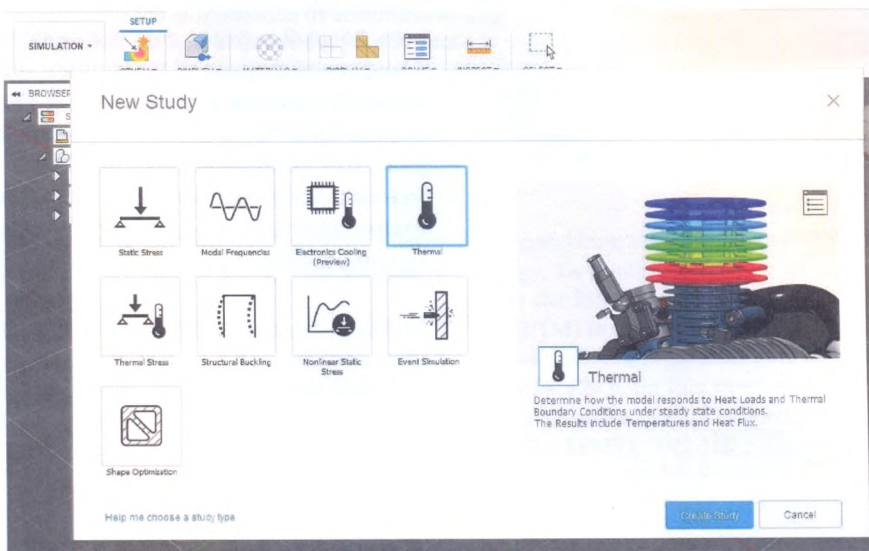


Рис. 6. Окно инструментов CAE Fusion для моделирования термонапряженного состояния изделия



Рис. 7. Изготовление аксонометрического чертежа в САМ

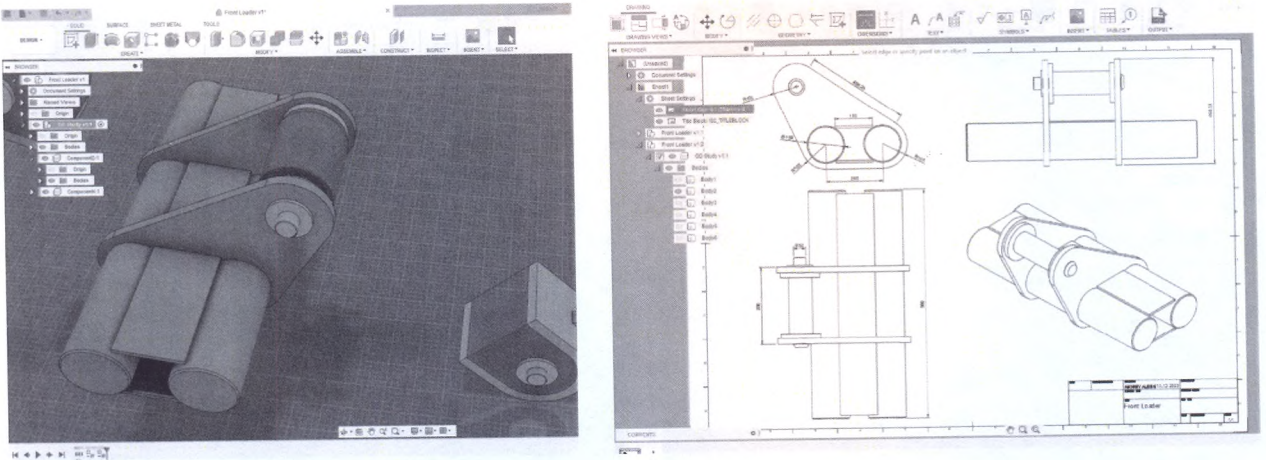


Рис. 8. Изготовление чертежей по 3D-моделям в САМ

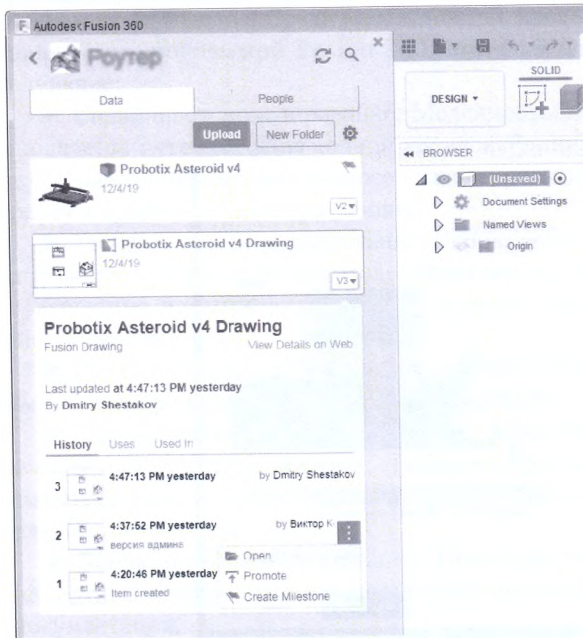


Рис. 9. Поддержка взаимодействия пользователей в среде Fusion 360

го электронного документооборота на предприятиях. Современные CALS-системы и соответствующие пакеты программного обеспечения способны обеспечить полный перевод документооборота предприятий в цифровой формат. Для машиностроительных предприятий решение практических задач обеспечивается в среде CAD+CAE+CAM, Autodesk. Наиболее важным участком использования CALS-технологий в современных условиях становится формирование порталов взаимодействия между клиентами и поставщиками машиностроительной продукции.

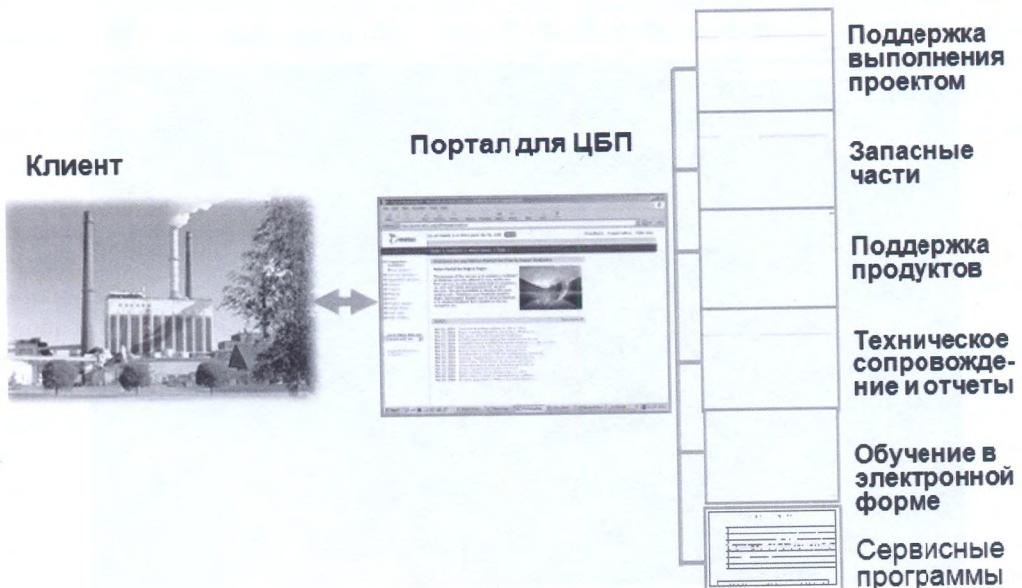


Рис. 10. Портал компании Метсо (Валмет Автоматизация) для крупных клиентов ЦБП



### Список литературы

1. *Норенков И. П., Кузьмик П. К.* Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002. 320 с.
2. *Мамонов В. И., Мамонова В. Г.* Функциональная модель системного анализа в проблеме управления качеством. Часть I: учеб. пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. 92 с.
3. *Веретехина С. В., Веретехин В. В.* Информационные технологии. Проектирование базы данных технической документации в виде интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) в рамках технологии CALS. Программно-аппаратная организация ИЭТР: учеб. пособие. М.: Русайнс, 2015. 124 с.
4. *Рахманова И. О.* Информационная поддержка бизнес-процессов. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2012. 128 с.

### S. L. Gorobchenko, D. A. Kovalev, A. I. Alesin

St. Petersburg State University of Technologies and Design  
191186 Russia, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18

### MODERN APPROACH TO IMPROVING ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT IN A VALVE MANUFACTURING COMPANY BY USING CALS-TECHNOLOGIES

The current state of electronic document management at valve manufacturing companies and machine-building enterprises is shown. The main types of software and information platforms that are optimal for use in machine-building enterprises are highlighted. The practical application of the sequence of translation of documentation to electronic document flow is demonstrated on the example of an electromechanical product. One of the most significant trends in the development of CALS-systems at valve and machine building industry is the trend of creating client portals created by equipment suppliers.

**Keywords:** Electronic document management, CALS-technologies, integrated platforms of information support for machine-building enterprises, PLM for valve's manufacturers, CAD, CAE, CAM and Autodesk Fusion 360 software for electromechanical products.

### References

1. *Norenkov I. P., Kuzmik P. K.* Information support for high technology products. CALS technologies. M.: N. E. Bauman MSTU. 2002. 320 p. (in Rus.).
2. *Mamonov V. I., Mamonova V. G.* Functional model of system analysis in the problem of quality management. Part I: textbook. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2014. 92 p. (in Rus.).
3. *Veretekhina S. V., Veretekhin V. V.* Information Technology. Designing a database of technical documentation in the form of interactive electronic technical manuals (IETM) in the framework of CALS technology. Hardware and software organization IETR: textbook. M.: Rusays, 2015. 124 p. (in Rus.).
4. *Rakhmanova I. O.* Information support of business processes. SPb.: SPbPU, 2012. 128 p. (in Rus.).