



## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПОЛЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАЛЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Приводится опыт валидации отечественных САПР на примере малых предприятий машиностроительного направления. Автоматизация в подготовке производства выступает как интегрирование основных этапов: конструкторского, технологического и инженерного анализа на общей программной основе. Платформа PLM по единым правилам соединяет в общее информационное пространство программные модули САПР, формируя техническую документацию, содержащую 3D-модели и 2D-чертежи, а также вспомогательную атрибутику по компонентам проекта. Пакет документов является целью подготовительного цикла производства, условием модификации изделий, основой работы в команде и выступает средством объединения в единое поле элементов цепи: заказчик – инженеры – производство – снабжение.

Малые предприятия, 3D-модели, цифровой макет, конструкторская и технологическая подготовка производства, инженерный анализ, цифровая экономика.

Атрибутом цифровой экономики является формирование информационного пространства предприятия, в котором функционирует значительная часть управленческих и технических технологий и осуществляется внедрение инновационных программных продуктов. Это направление получило импульс развития и нашло отражение в среде малого бизнеса машиностроительного сектора. Итогом этой деятельности является переход на следующую ступень в организационных подходах при организации производств. Политика цифровизации в модернизации экономических механизмов формирует электронный формат всей технологической документации, необходимой на производствах [1, 2].

Электронные инструменты 3D-проектирования и Product Lifecycle Management (PLM)-концепция в производственной среде качественно меняют содержание процессов организации и подготовки производств и создают новые компетенции для перехода к производству наукоемких видов продукции. Отмеченный фактор является определяющим для повышения конкурентных преимуществ на рынке машиностроительных изделий [2, 3, 4].

Автоматизация конструкторской подготовки базируется на методах проектирования электронных моделей изделий и деталей в 3D-форме, что одновременно сопровождается созданием конструкторских спецификаций и двухмерных сборочных чертежей, а также чертежей отдельных деталей. Связь между электронными прототипами и ассоциативными видами чертежей дает возможность быстрого учета всех модификаций цифровой версии в технической документации [2–4].

Подготовка производства на технологическом этапе опирается на ряд мероприятий: выбор заго-

товки, уточнение назначенного материала, поиск методов и формулирование способов обработки, определение перечня необходимого технологического оборудования и оснастки. Главная особенность работы малого бизнеса заключается в производстве товаров в условиях мелкой серии, а также изделий достаточно простых по конфигурации и трудоемкости при ограниченности станочного оборудования. Это обстоятельство диктует необходимость проектирования техпроцессов для конкретного оборудования и его технологических возможностей. Дополнительной ступенью является задача разработки приспособлений, оснастки и выбора мерительных инструментов.

Обслуживание машиностроительных изделий при эксплуатации требует оформления интерактивных электронных справочных руководств и рекламных буклетов для осуществления мероприятий по ремонту и обслуживанию, а также выработки логистических правил возможности удаленного заказа деталей и комплектующих [2]. Соблюдение сформулированных условий обеспечит выполнение рекомендаций комплекса менеджмента качества ISO 9001:2008 и способствует осуществлению целенаправленной стратегии на рынке машиностроительных продуктов.

При мелкосерийном и широкономенклатурном производстве продукции гибкость бизнеса может быть реализована исключительно на базе автоматизации процесса подготовки, ориентированной на конкретное оборудование. Именно в условиях небольших предприятий открыты широкие возможности реализации инновационных технологий и современных эффективных структурно-организационных принципов деятельности.

Линейка российских программных инструментов: «Машиностроительный комплекс Аскон», а также комплекс приложений компании «Спрут-Технология» дают возможность организовать интегрированную среду, обеспечивающую одновременное взаимодействие всех служб в подготовительный период. Валидацию отечественных САПР в работе малого предпринимательства продемонстрируем на примере производства предприятий в Вологодской области. На рис. 1 показан цифровой прототип изделия «Шредер» установки для измельчения бумажных, картонных, пластиковых и других отходов подобной структуры с целью их дальнейшей утилизации. Проектирование установки отвечает региональной программе по переработке вторичных ресурсов.

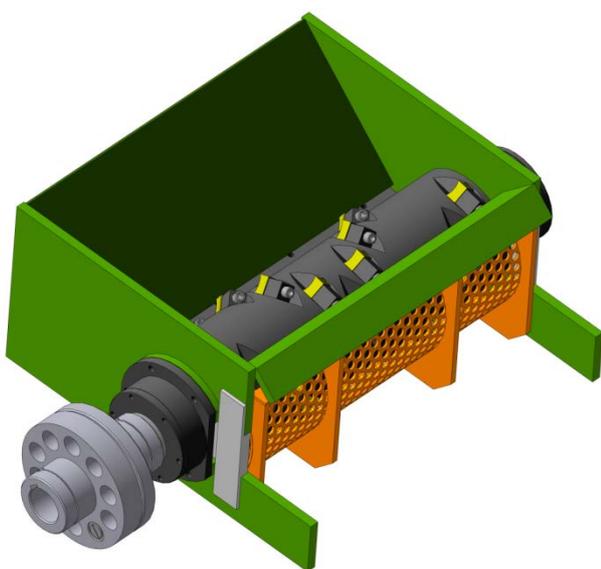


Рис. 1. Цифровая модель корпуса шредера

В рамках конструкторского этапа уточняются компоновочные решения, а также кинематическое взаимодействие узлов, состав будущей конструкции с учетом максимальной унификации и применения стандартных комплектующих. Дальнейшие шаги подразумевают классификацию и кодирование новых деталей. Присвоение кода облегчает поиск их прототипов в технологических базах предприятия. Методологической основой автоматизированного проектирования являются методы синтеза и адресации. Техника параметризации позволяет, используя единожды спроектированный прототип, получать конфигурации схожих деталей. Формообразующие элементы выступают средством наполнения конструкторских баз данных для следующих проектов.

Платформа «КОМПАС-3D» дает возможности создания и редактирования трехмерных макетов деталей (рис. 2), формирования их рабочих чертежей с изображением необходимых видов, сечений и разрезов, а также возможность получать виртуальные виды сборочных единиц. Этап подготовки чертежей завершается нормоконтролем полученного материала посредством программной библиотеки «КОМПАС-Эксперт», в функции которой входит поиск неточностей и замечаний в оформлении чер-

тежей. Финальная стадия проектирования – создание спецификаций.

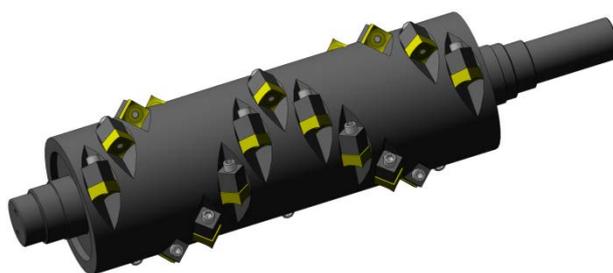


Рис. 2. 3D-модель сборочной единицы «Ротор» из сборки «Корпус шредера»

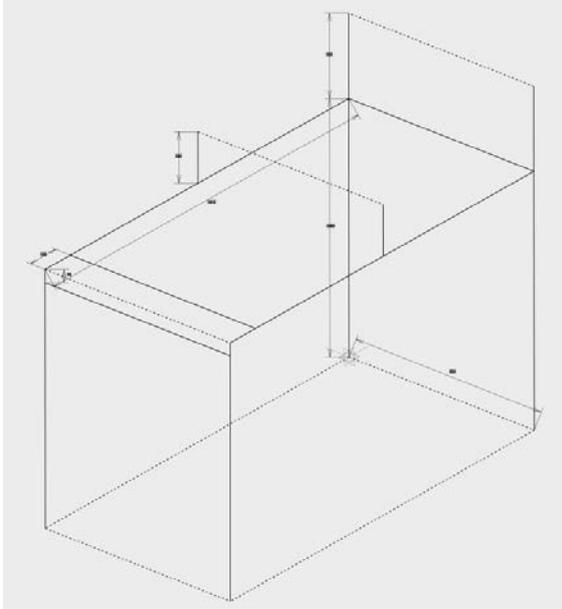
Электронные макеты сборочных единиц и всего изделия позволяют устранить коллизии и исключить ошибки проектирования, провести проверку размерных цепей, установить допуски из принципа взаимозаменяемости. Применение 3D-проектирования малыми машиностроительными предприятиями является отражением политики цифрового прогресса в экономике и слагаемым в становлении производства нового типа.

Функционал САПР, реализующих методологию 3D-моделирования, позволяет выполнить компоновку спроектированного изделия. Математическое описание 3D-модели даёт возможность оценить проектируемую конструкцию в пространстве и проекциях для предварительного вывода о конструкторских решениях, показать фотореалистичное оформление согласно цветовой гамме окраски для дизайнерских и эргономических оценок [2–4]. Рис. 3, 4 и 5 иллюстрируют 3D-макеты нескольких сборочных единиц изделия «Шредер».

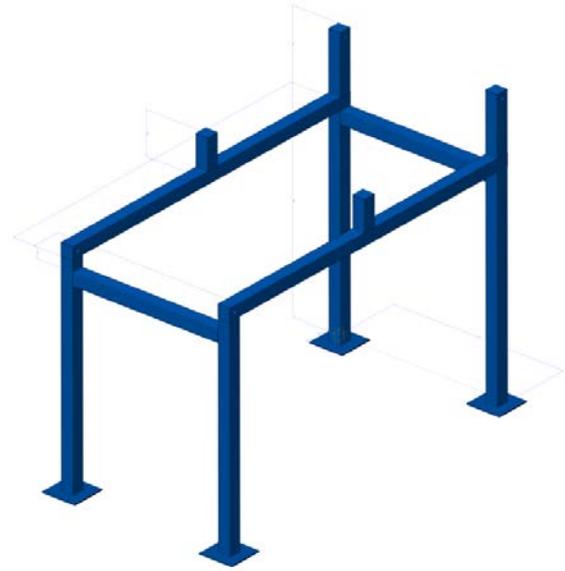
Координация САПР-платформ осуществляется в интеграторе «ЛОЦМАН: PLM», где ведется цифровой комплект конструкции путем включения всех электронных макетов (сборочные единицы, детали, стандартные компоненты и т. д.), а также сопровождением всеми требуемыми дополнениями [2].

С целью зрительного восприятия состава машиностроительного продукта, организации регламентных и ремонтных работ формируется электронный справочный перечень разнесенных сборок конструкции. Возможности САПР предполагают последовательное разнесение изделия на узлы, при этом подузлы в составе сборочных единиц выносятся как одним элементом, так и поэлементно. Окончательный результат – это наглядное изображение и доступность быстрой модификации.

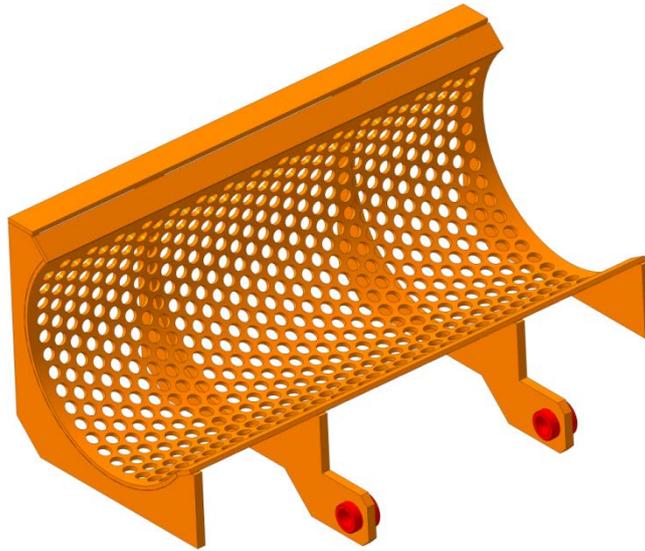
Электронный прототип узла «Рама», полученный по 3D-каркасу рис. 3, показан на рис. 4. Данная схема металлоконструкции допускает редактирование с целью применения в качестве прототипа в других конструкциях. Геометрическое моделирование с использованием параметризации обеспечивает высокопроизводительную работу конструктора, что значительно снижает трудоемкость и затраты времени в подготовительном периоде.



*Рис. 3. Каркас из 3D-библиотеки металлоконструкций*



*Рис. 4. Модель рамы, созданной по 3D-каркасу*



*Рис. 5. Цифровая модель сборочной единицы «Сетка откидная»*

Следующая ступень в подготовке производства – создание на базе системы автоматизированного проектирования технологических процессов «ВЕРТИКАЛЬ» и нормативных справочных материалов, присутствующих в БД платформы, техпроцессов на основе конкретного предприятия. Центральной задачей при использовании систем техподготовки является проработка на технологичность деталей изделия. В процессе функционирования САПР ТП обеспечивает поддержку связи с групповыми, типовыми и единичными технологическими объектами информационной платформы предприятия. На этом принципе анализируются известные техпроцессы и проектируются новые с учетом технологи-

ческих возможностей имеющегося парка станков, выбираются инструментальные средства, оснастка и определяется форма заготовок, рассчитываются временные нормативы.

Технологические решения разработанного техпроцесса хранятся как объектная модель в дереве структурного состава изделия на базе комплекса «ЛЮЦМАН: PLM» и связаны с деталью, для которой созданы. Для сборочной единицы из состава рамы (рис. 6) изделия «Шредер» представлен пример проектирования технологического маршрута с одновременным выбором оборудования, инструментария, вычислением времени и подбором мерительных средств.

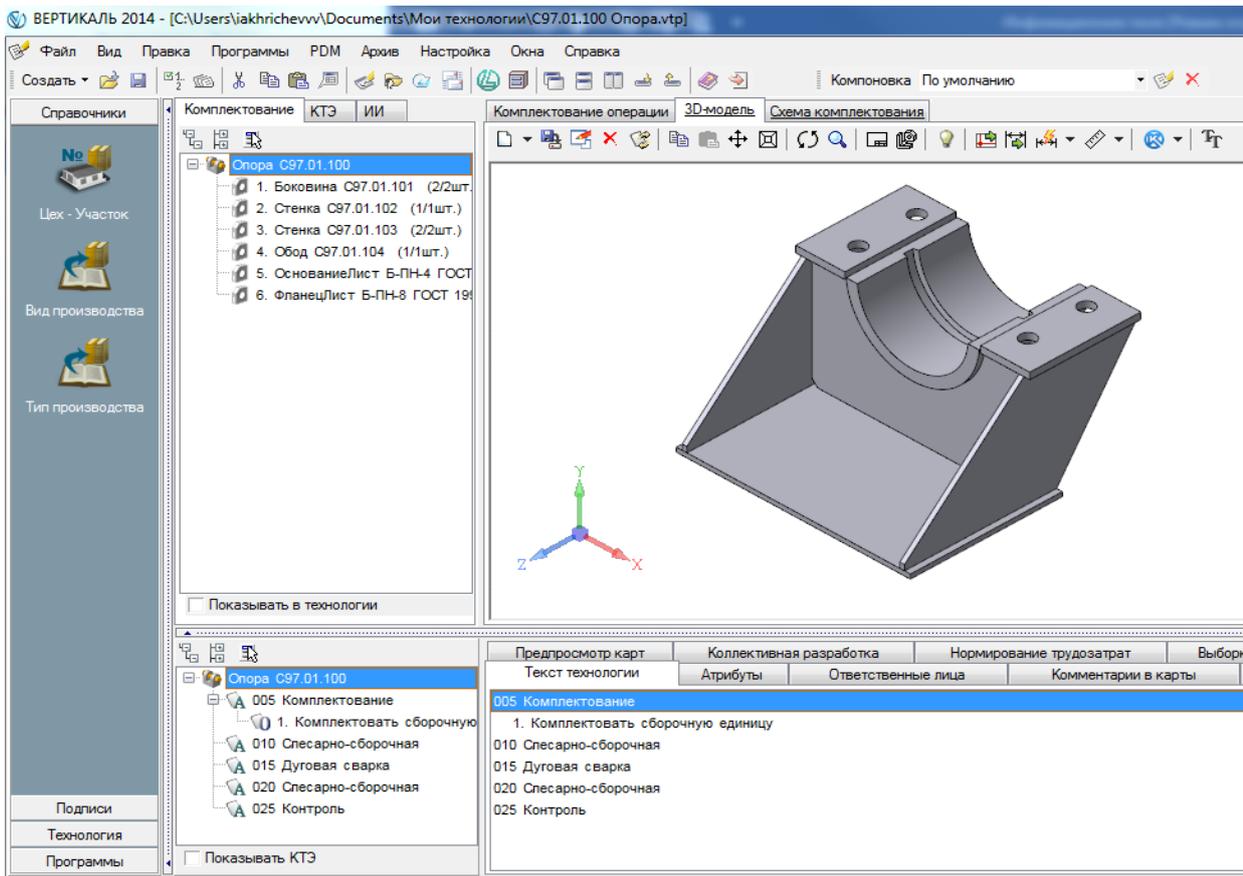


Рис. 6. Технологический процесс в системе САПР «ВЕРТИКАЛЬ-ТП»

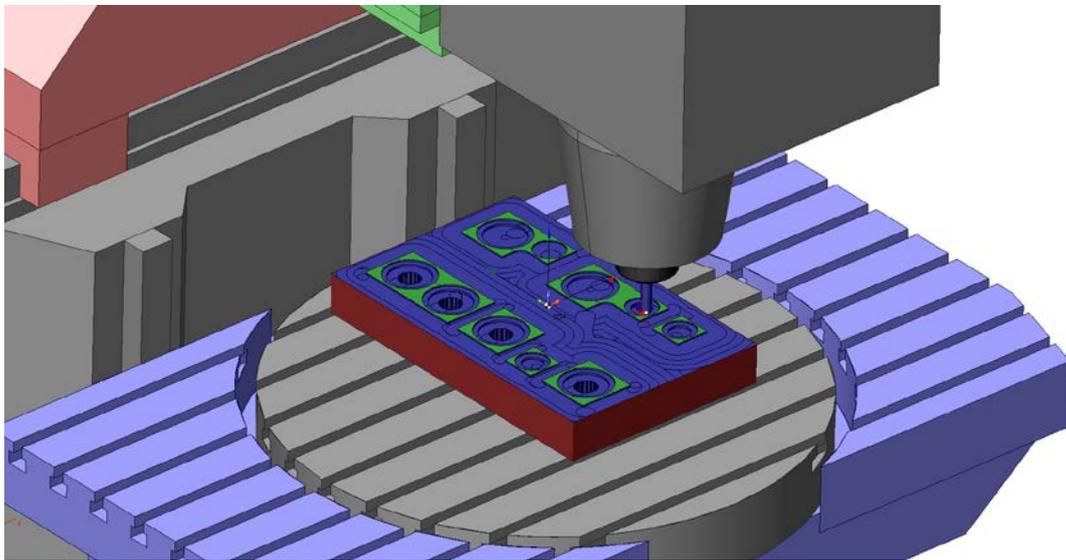


Рис. 7. Моделирование обработки детали на фрезерном станке

Среди отечественных САМ-приложений по автоматизированной подготовке программного обеспечения оборудования с числовым программным управлением отметим приложение «SprutCAM». Взаимодействие с приложением подразумевает назначение режущего инструмента из БД «ВЕРТИКАЛЬ» и получение требуемой формы детали посредством задания траектории движения инструмента. Возможности приложения позволяют провести моделирование токарных, фрезерных обработок, операций резки и ад-

дитивных технологий, а также получить затраченное на отдельные операции время выполнения техпроцесса и готовую программу с учетом вида станка с ЧПУ.

Визуальный контроль симуляции траектории движения узлов станка и инструмента в ходе процесса механообработки, учитывая перемещения также и оснастки, гарантирует безошибочность программного кода управляющей программы. На рис. 7 показано моделирование операции фрезерования объекта «Плита».

Виртуальная версия детали в «ЛОЦМАН: PLM» становится основным навигационным элементом комплекса автоматизированной конструкторской и технологической подготовки производства. Интеграция инструментов «КОМПАС-3D», «ВЕРТИКАЛЬ», «ЛОЦМАН: PLM» и «Гольфстрим» обеспечивает создание программно-информационной среды, что следует считать направлением в создании элементов виртуального предприятия в рамках движения к инициативе «Индустрия 4.0».

Концепция сквозного технологического обеспечения позволяет реализовать модифицирование конструкции с помощью управления конфигурациями изделий. Эти возможности регламентируют замены

как комплектующих, так и ДСЕ, используемых в фазе сборочных операций. В дереве построения изделия отражаются изменения, а информация записывается в «ЛОЦМАН: PLM» (рис. 8).

Инженерный анализ [6] узлов основан на силовом расчете и прогнозирует их поведение в рабочем режиме и в нештатных условиях. В качестве примера на рис. 9 показана конечно-элементная модель изделия «Барабан». В перечень исследований, доступных пользователю, входят следующие разделы: статический расчет деталей и узлов, устойчивость при циклическом нагружении, частотный анализ и тепловые деформации.

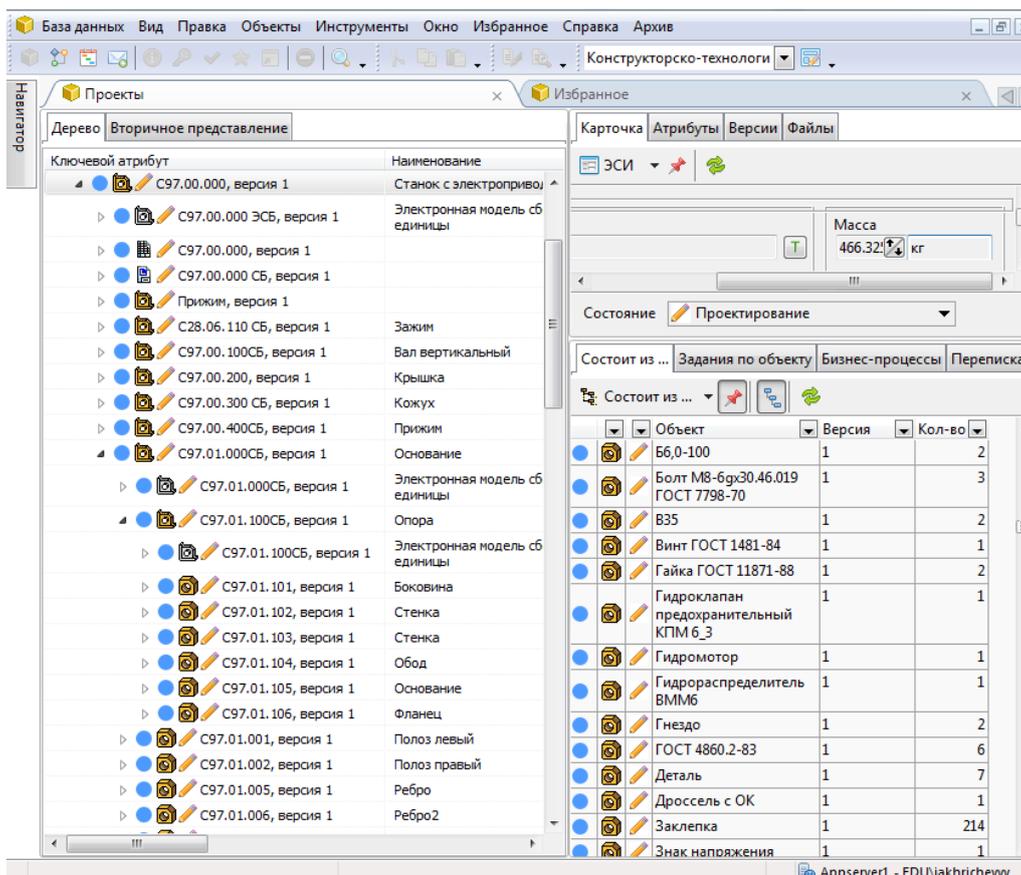


Рис. 8. Электронная структура изделия

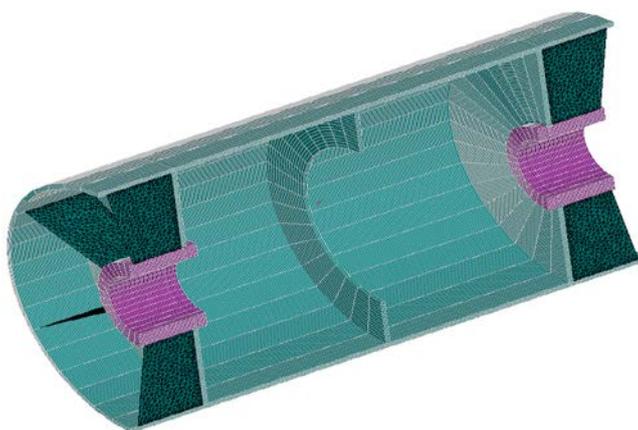


Рис. 9. Конечно-элементная модель (произвольный вид, в разрезе) барабана

Библиотека материальных компонентов дает возможность задать при расчете требуемый материал. В качестве первоочередного шага анализируются условия работы детали и выявляется распределение действующих усилий. По окончании расчета на напряженно-деформированное состояние формируется отчет с графическим отображением изделия после эксперимента, распределением коэффициента запаса прочности, напряжений и перемещений по объему детали. Цветная легенда, дополненная шкалой с числовыми величинами, позволяет выявить области максимальных значений параметров исследования и принять решение о прочностных характеристиках детали или конструкции.

Иерархическая последовательность CAD-продуктов отображается в виде дерева изделия, на базе которого «ЛОЦМАН: PLM» формирует состав конструкции. Структура содержит всю атрибутивную информацию, а также сопровождающие документы. В рабочем архиве данных спроектированный объект сохраняется как объектный образ, с которым связаны детали и узлы, присутствующие в разработке, а всем архивным документам присваивается инвентарный номер. Сформированный пакет технической документации является условием начала производства и служит возможностью дальнейших модификаций конструкции. «ЛОЦМАН: PLM» выступает средством и условием организации работы в команде над проектом [2], а также инструментом взаимодействия всех участников цепи – от заказчика до потребителя.

Внедрение PLM-стратегии в деятельность малого предпринимательства является фактором роста их эффективности при широкономенклатурном и наукоемком, но ограниченном выпуске продукции. При сопоставимой с аналогичными иностранными продуктами стоимости российские комплексы выигрывают в цене на обслуживание, поддержку и обновление.

Экспертные оценки прогнозируют рост эффективности производства до 100% на отдельных этапах, а в целом – до 40% и делают это направление

приоритетным. PLM-идеология предполагает инновационные принципы в организации работы предприятий: быстрый учет изменений конструкции изделий согласно требованиям потребителей и обмен технологическими данными участников подготовки производства. Эти системы становятся серьезным фактором роста производительности труда и конкурентоспособности отечественных продуктов машиностроительной отрасли.

## Литература

1. Булавин, В. Ф. Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев // САПР и графика. – 2018. – № 6. – С. 52–55.
2. Булавин, В. Ф. Валидация CAD-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 5 (325). – С. 64–72.
3. Российские CAD-системы в приборостроительном секторе производства / Е. В. Волков, В. Ф. Булавин, Н. С. Григорьев, В. В. Яхричев и [др.] // Эффективные исследования современности: материалы Междунар. XXXII научн. конф. – Москва: ЕНО, 2017. – Ч. 1, № 10 (32). – С. 65–68.
4. CAD/CAPP-технологии в машиностроительном производстве / С. А. Казакова, В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев и [др.] // Наука и современность 2018: материалы XXXV Междунар. научн. конф. – Москва: ЕНО, 2018. – Ч. 1, № 1 (35). – С. 70–73.
5. Булавин, В. Ф. PLM-стратегия в мелкосерийном производстве машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, В. А. Глазков // Известия высших учебных заведений. Серия: Машиностроение. – 2018. – № 8. – С. 37–49.
6. Булавин, В. Ф. Инженерный анализ и новые технологии в методе конечных элементов / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 2 (328). – С. 109–120.

**V.F. Bulavin A.S. Stepanov V.V. Yakhrichev**  
Vologda State University

**INFORMATION FIELD OF SMALL MACHINE-BUILDING ENTERPRISES  
DIGITAL TECHNOLOGY**

The experience of validation of domestic CAD systems is given on the example of small machine-building enterprises. Automation in the preparation of production acts as the integration of the main stages: design, technological and engineering analysis on a common program basis. The PLM platform integrates CAD software modules into a common information space using uniform rules, forming technical documentation containing 3D models and 2D drawings and supporting attributes by project components. The package of documents is the purpose of the preparatory production cycle, the condition for the modification of products, the basis of teamwork and acts as a means of combining the chain elements into a single field: customer - engineers - production - supply.

Small enterprises, 3D-models, digital layout, design and technological preparation of production, engineering analysis, digital economy.