



## ЦИФРОВОЕ ОКРУЖЕНИЕ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Технологическая трансформация предусматривает интеграцию средних и малых машиностроительных предприятий в единое поле виртуальных фабрик на основе стратегии перехода к цифровому производству в рамках национальных проектов и Национальной технологической инициативы. Динамичное окружение и обусловленные им вызовы предполагают необходимость быстрого принятия эффективных решений с целью сохранения конкурентоспособности в долгосрочной перспективе и способности к ускорению процессов адаптации. Эти изменения сопровождаются развитием принципиально новых бизнес-процессов на всех уровнях.

3D-прототип, цифровое сопровождение производства, информационная среда, малые предприятия.

Стратегия развития машиностроения опирается на тренд виртуальных производств, составной частью которых являются малые и средние предприятия. Эти вызовы определяют вектор развития отрасли, отвечая росту производительности труда, и нацелены на экономический рост и сохранение национального суверенитета. Единое информационное пространство технологических бизнес-процессов предприятий реализуется платформами САПР на базе CAD/CAPP/CAM/CAE/CAO-технологий. Связанное с системами PDM/PLM цифровое отображение свидетельствует о переходе предприятий к виртуальному типу производства и соединении материального и цифрового производств [1–3]. Цель работы – позиционирование малых машиностроительных предприятий в качестве участников виртуального производства, охваченного функционалом платформ PDM/PLM.

Наличие необходимых компетенций у участников проекта в области цифрового проектирования является условием функционирования новой бизнес-модели. Логистика взаимодействий внутри отдельных звеньев и между участниками определяется степенью их кооперации и уровнем интеграции с головным предприятием в рамках функционирования систем MES (ERP).

Концепция сквозного цифрового проектирования определяет возможность для персонализации и кастомизации продукции с помощью опций управления конфигурациями изделия. Платформы PDM/PLM реализуют этот функционал. Здесь формируется дерево изделия как объектная структура, связанная со всеми разделами проекта и технологическими процессами (ТП) изготовления. Выполнение заданий в едином информационном окружении технологических и конструкторских отделов является одним из запросов цифрового производства [4–7].

Инженерное взаимодействие CAD/CAPP/CAM/CAE/CAO-систем ориентировано на формирование виртуального предприятия путем создания общей информационной среды с целью получения доступа к современным способам и видам работ. Указанные технологии требуют постоянных преобразований в организации и культуре производства [1–3].

Пример применения CAD-технологий показан на рисунке 1 как электронный образ механизма выверки визира из комплекта мехатронного прибора. Для визуализации сборочной единицы или изделия используются цветовые гаммы, оптические свойства (прозрачность) и различные текстуры, чем достигается эффект фотореалистичности. Функция CAD-платформы имеет режим разнесения сборочных единиц на детали, а отдельные узлы, входящие в состав сборки, могут быть представлены как одним элементом, так и поддетально. Наглядность достигается путем создания требуемых сечений и разрезов. Чтобы представить состав конструкции в целом, оформляется электронный каталог изделия. Командная работа группы конструкторов и расчетного подразделения, в условиях жестких требований к конфигурации и геометрии изделия, позволяет в многовариантном поиске достичь приемлемого решения и найти компромисс.

Проектирование технологических маршрутов в САПР ТП – следующая ступень подготовительного периода. К задачам автоматизированного технологического сопровождения производства относятся определение методов и способов обработки деталей (рис. 2), выполнение требований технологичности изготовления изделия и сборки конструкции [4–10]. CAPP-платформа с поддержкой нормативно-справочных баз обеспечивает технологическое сопровождение и дигитализацию документооборота. Этот процесс начинается от момента получения задания на проектирование, продолжается при управлении технологическими изменениями и оформлением заявок на разработку средств технического оснащения. Сюда включаются разделы по проектированию управляющих программ для ЧПУ и этап сдачи задания.

Поддержка технологической подготовки производства обеспечивается наличием многопрофильных, структурированных баз данных [4]. Их накопление и пополнение с целью привязки к конкретному предприятию происходит непосредственно в процессе работы. Распределение ролей для участников проекта с соответствующим уровнем доступа позволяет осуществить первый уровень защиты от несанкционированного доступа.

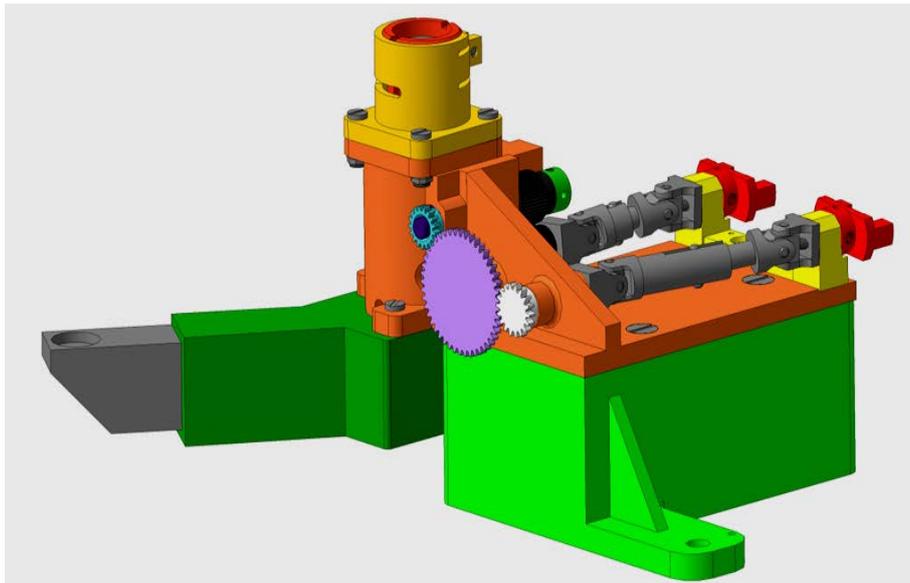


Рис. 1. 3D-прототип под сборки механизма визира мехатронного прибора

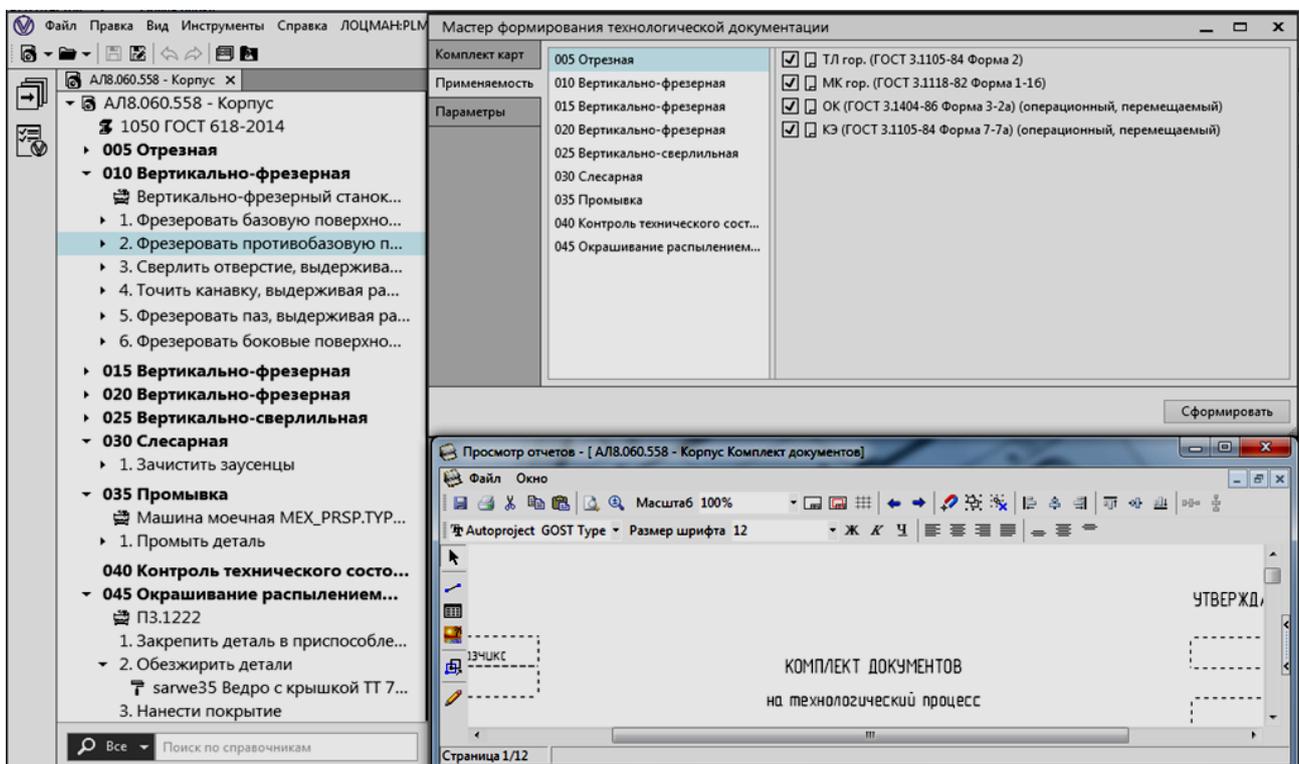


Рис. 2. Фрагмент формирования пакета технологической документации

САПР ТП обеспечивает: многовариантность при проектировании ТП; выбор станочного парка, инструментария, оснастки, приспособлений, универсальных и специализированных измерительных средств; расчет режимов металло- и термообработки, гальваники, лакокраски, сборки, сварки; расчет себестоимости, нормирование материальных и трудовых затрат; создание комплекта технологических документов. САПР-платформа построена на принципах коллективного инжиниринга комплексных проектов в реальном времени. Для созданных объектов реализована ассоциированная связь атрибутов ТП с параметрами графических материалов САД-приложения: эскизов и чертежей.

Все изменения атрибутов в графических материалах приводят к модификациям связанных параметров ТП.

На принципе многоуровневой структуры из операций и переходов, оборудования и оснастки, а также необходимых технологических объектов строится дерево ТП. В ходе разработки ТП детали/сборочной единицы формируется структурированная информация с различными уровнями, где отображаются все основные элементы ТП: данные об изделии (3D-модель, чертежи, спецификации и др.), маршруты обработки и выполнения операции. Это обстоятельство позволяет быстро комбинировать объекты ТП, реализуя требуемую технологию обработки детали/сборочной

единицы, электронных моделей изделий. В ходе ТП определяются численность и состав персонала, требования к его квалификации, а также указываются сопровождающие атрибуты, необходимые для достижения планируемых производственных показателей [6, 8–10]. Это дает возможность организовать эффективный инструментальный контроль на всех этапах изготовления.

В функционал CAPP-платформы входит осуществление сопровождения и управления требованиями и изменениями актуальности технологической информации, поиск информации для локализации в документации по итоговым формам. Комплект документов о проекте включает в себя как данные по отдельным ТП изделий, так и сводную технологическую отчетность по всем частям проекта. В его состав входят различные ведомости, специфицированные нормы расхода материалов и технологические маршруты.

Непрерывный поток инженерных данных, формируемых в системах CAD/CAPP/CAM/CAE/CAO, выступает как результат дигитализации отдельных информационных полей и объединения их в единое цифровое пространство. Технологии и алгоритмы функционирования внутри платформ и взаимодействие между ними определяются как интеллектуализация производственной деятельности. Таким образом, под термином «интеллектуализация производства» в широком смысле понимают использование элементов искусственного интеллекта и переход в перспективе на уровень киберфизических систем [1, 2].

К элементам искусственного интеллекта относятся предиктор-корректорная аналитика экспертных систем (на основе концепции BIG DATA), методы компьютерной и вычислительной геометрии, дискретной дифференциальной геометрии, алгоритмы оптимизации и решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, эвристические подходы, основанные на интеллектуальном поиске стратегий решения.

Инженерный и технологический разделы непрерывно дополняются приложениями и предоставляют в релизах новые комплексы расширенного интегрированного инструментария, увеличивая спектр возможностей. Такое направление следует рассматривать как тенденцию по интеллектуализации программного обеспечения и продолжение политики импортозамещения. В узком смысле понятие «интеллектуализация производства» определяет перечень компетенций, необходимых для участия в современном производстве. Это может быть реализовано только при наличии высококвалифицированных сотрудников, что, в свою очередь, ставит задачи их обучения и подготовки в специализированных учебных центрах.

Передача информации о выполненной работе для продолжения бизнес-процесса осуществляется через сетевое взаимодействие или средства PDM/MES (PLM/ERP) в зависимости от уровня организации и численности предприятия. Интеграция этих стратегий концентрирует все инженерные данные о проекте через инструментальное обеспечение и информационную систему управления производством в единый цифровой поток.

Как организационно-техническая система PDM обеспечивает управленческий сектор информацией о продуктах предприятия, взаимодействие подразделений и доступ к результатам на всех циклах разработки/изготовления. К ключевым функциям модуля системы PDM относится управление: документацией САПР и архивацией; инженерными решениями, графическими объектами; номенклатурой продуктов; клиентскими заказами и логистикой и т.д. [9, 10].

Средства управления производством MES позиционируются как оперативно-календарная система внутрицехового планирования, диспетчеризации, контроля и учета межоперационных заделов, т.е. фокусируются на текущих вопросах координации производства. Оперирова актуальными данными о производственных процессах, средства управления производством MES позволяют скорректировать производственное задание и текущую информацию в реальном времени (неоднократно за рабочую смену).

MES-инструментарий ориентирован на управление и контроль мелкосерийного, единичного и позаканного производства в реальном времени. Для серийного и массового производства планирование целесообразно вести на уровне возможностей ERP-систем. Роль MES – связующее звено между управлением ТП и ERP-системой.

Более комплексный функционал обеспечивают PLM-системы, включающие в себя PDM как подуровень. Помимо опций управления изделиями PLM-системы предоставляют дополнительные модули контроля финансами, персоналом и другими возможностями. В систему сопровождения жизненного цикла входят следующие блоки: исследования рынка; транзакционных операций; проектирования и планирования создания продуктов; закупки комплектующих и выходного/входного контроля; упаковки, хранения, продаж и утилизации; технического, информационного и эксплуатационного обеспечения; взаимодействия и интеграции различных систем в единое информационное окружение.

Использование функционала PLM/ERP актуально для предприятий машиностроения с большой степенью кооперации и с территориально удаленными подразделениями (поставщиками). Цель – масштабирование решений, выстраивание логистики сотрудничества и комплексное уменьшение издержек. Функционал платформ PLM/ERP способен отслеживать единичные экземпляры продукции и учитывать индивидуальные требования. Если система PLM координирует взаимодействие структурных подразделений и механизмы согласований, извещений и утверждений, то система ERP нацелена на исполнение заказов, средне- и долгосрочное планирование. В состав функций системы входят все функции MRP II, модули планирования и моделирования финансов и маркетингового обеспечения, управления производством и поставками, ресурсами и потребностями. Отдельные модули ориентированы на специализированные сферы деятельности или конкретный бизнес-процесс [9, 10].

Подведем итоги:

1. Виртуальная кооперация конструкторских и технологических подразделений дает возможность объединить процедуры автоматизированного проектирования CAD/CAM/CAPP/CAE/CAO со средствами управления производством PDM/MES и выстроить логистику их взаимодействия.

2. Внутренний контур управления PDM/MES позволяет контролировать производственный процесс в реальном времени и выработать обоснованные решения в условиях быстроменяющейся конъюнктуры.

3. К функциям внешнего контура PLM/ERP относится обеспечение логистики и устойчивости управления всей цепочки распределенных подразделений, в состав которых входят и малые предприятия.

4. Наличие цифрового отображения выводит на новую ступень содержание подготовки и управления производством, требуя передовых технологий при переходе на наукоемкие и высокотехнологичные виды продукции.

#### Литература

1. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. – Москва : Московская школа управления Сколково, 2017. – URL: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11\\_november/17/tsifrovoe\\_proizvodstvo\\_112017.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf) (дата обращения: 07.12.2020). – Текст : электронный.

2. Боровков, А. О дорожной карте «Технет» (передовые производственные технологии) национальной технологической инициативы / А. Боровков, Ю. Рябов. – Трамплин к успеху. – 2017. – № 10. – С. 8–11.

3. Concomitant digitalization effect. Measuring the real impact of the digital economy. In: Presentation by Huawei and Oxford Economics / Xu W., Cooper A., et al. – 2017. – URL: [https://www.huawei.com/minisite/gci/en/digital-spillover/files/gci\\_digital\\_spillover.pdf](https://www.huawei.com/minisite/gci/en/digital-spillover/files/gci_digital_spillover.pdf). – Text : electronic.

4. Булавин, В. Ф. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, А. С. Степанов – doi <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2019-9-35-45> // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 9. – С. 35–45.

5. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. I. Конструкторский этап / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев и др. – doi <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-242-249> // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 3. – С. 242–249.

6. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. II. Технологический этап / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев и др. – doi <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-250-256> // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 3. – С. 250–256.

7. Трансформация технологического обеспечения малых предприятий машиностроения / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Цифровая экономика и индустрия 4.0: Форсайт Россия : сборник трудов науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2020, С. 28–40.

8. Digital design and technological innovation in the small machine building sector / Bulavin V. F., Bulavina T. G. et al. – doi <https://doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012016> // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – vol. 939. – art. 012016.

9. Bulavin, V. F. Digital space of small enterprises in engineering / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, A. S. Stepanov // Proc. ICIE 2020. – Springer, 2021. – PP. 462–468.

10. Digital support of production small business preparation in engineering / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, V. V. Yahrachev et al. – doi <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033045> // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – vol. 1399, no. 3. – art. 033045.

*V.F. Bulavin, T.G. Bulavina*  
*Vologda State University*

#### DIGITAL ENVIRONMENT FOR SMALL BUSINESSES

The technological transformation provides for the integration of medium and small machine-building enterprises into a single field of virtual factories based on the strategy of transition to digital production within the framework of national projects and the National Technological Initiative. The dynamic environment and the challenges caused by it imply the need for rapid and effective decision-making in order to maintain competitiveness in the long term and the ability to accelerate adaptation processes. These changes are accompanied by the development of fundamentally new business processes at all levels.

3D prototype, digital support, technological support of production, information environment, small businesses.