



**С.А. Казакова**

*Вологодский оптико-механический завод*

**В.Ф. Булавин**

*Вологодский государственный университет*

## КОМПЛЕКСНАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье представлен опыт комплексной цифровизации машиностроительного производства на основе платформы PLM, представлены основные направления совершенствования технологической подготовки производства, приведены примеры комплексного подхода к полностью цифровой подготовке машиностроительного производства, представлен опыт использования программных продуктов, определены основные направления дальнейшей цифровизации производства.

3D-модель, цифровой образ, конструкторская и технологическая подготовка производства, информационная среда.

Цифровое развитие машиностроительного производства определяет стратегию цифровизации всего перечня необходимой для него конструкторско-технологической документации. Рост сложности проектных работ, с одной стороны, и стремление получить конкурентные преимущества за счет быстрого выхода на рынок, с другой стороны, диктуют внедрение цифровых технологий в сфере технологической подготовки производства (ТПП).

В этих условиях основным направлением в совершенствовании ТПП является внедрение электронного формата в технологическое обеспечение и инновационные технологии в организации труда. Этому в полной мере удовлетворяют комплексы в составе систем автоматизированного проектирования (САПР), баз данных и экспертных систем для решения и поддержки технологических задач.

Отечественное программное обеспечение позволяет во многих случаях полностью решить задачу автоматизированного проектирования. Интеграция продуктов САПР («КОМПАС-3D», «Вертикаль» и «ЛОЦМАН:PLM»), а также линейка программ «СПРУТ-Технология» позволяют реализовать сквозную интегрированную программно-информационную среду для повышения эффективности подготовки производства [1].

Концепция сквозной поддержки обеспечивает быстрое изменение состава конструкции или ее модификацию с помощью опций управления конфигураций изделия. Последнюю функцию берет на себя платформа PLM (*Product Lifecycle Management*) – «ЛОЦМАН:PLM», в которой формируется объектная модель изделия, связанная со всеми деталями и технологическими процессами для них. Коллективная работа над проектом технологических и конструкторских бюро приводится «к общему знаменателю».

На этапе конструкторской подготовки производства (КПП) уточняется общая компоновка, кинематические связи и состав будущего изделия из условия унификации и максимального использова-

ния стандартных узлов. Последующие действия опираются на предварительную классификацию и кодирование деталей с дальнейшим поиском прототипов в базах данных. Основой автоматизированного проектирования служат методы адресации и синтеза [2, 3].

На этапе КПП определяются как конструкция изделия в целом, так и конструкция отдельных сборок и деталей, назначаются физико-химические свойства применяемых материалов, внешний вид и эргономические показатели. Результатом завершения является пакет конструкторской документации нового изделия или документация для модернизации ранее изготовленного. Технологии 3D-проектирования предполагают создание цифрового образа изделия. Эта задача может быть решена на базе российской платформы «КОМПАС-3D».

Принятие конструкторских решений требует согласования с технологическими службами возможности изготовления на имеющемся оборудовании отдельных узлов и деталей, а со службами снабжения – необходимости приобретения комплектующих компонентов и материалов.

Электронные модели подборок и всего изделия в целом дают возможность выявить возможные коллизии и ошибки. Технология параметризации позволяет изменять геометрию объекта с целью, с одной стороны, создания унифицированного образа, а с другой – обеспечения разнообразия в формообразовании и получения моделей схожих изделий на основе одной спроектированного прототипа. Технология 3D-проектирования является проявлением одной из сторон цифровой экономики [4, 5].

Примером конструкторской подготовки является деталь «Кронштейн» (рис. 1), представляющая собой несимметричное тело с базовой установочной плоскостью. В изделии имеются три крепежных и одно перпендикулярно расположенное, вспомогательное отверстие для сопряжения с соседними деталями.

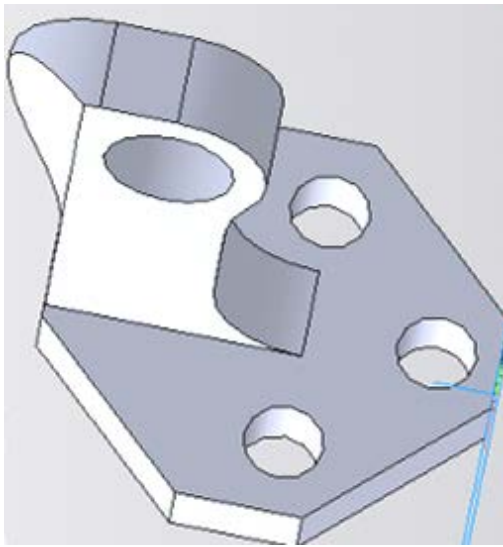


Рис. 1. 3D- и 2D-модели детали «Кронштейн»

Для наглядного представления состава изделия, облегчения сборки и разборки узлов разрабатывается каталог разнесенной сборки. Функционал программ САПР позволяет выполнить разнесение узлов конструкции на детали, при этом подузлы, входящие в сборку, могут быть вынесены одним элементом или также разнесены поддетально. Требования к результату – наглядность разнесения и возможность быстрого редактирования. На заключительном этапе конструкторского раздела осуществляется оформление электронного каталога.

Второй этап подготовки производства состоит в разработке на базе САПР ТП технологических процессов с использованием «Справочника технолога». В функции единой системы технологической подготовки производства входит обеспечение технологичности деталей и конструкции изделия в целом [6].

Технологическая подготовка производства (ТПП) – продолжение работ КПП. Российская САПР-платформа

«ВЕРТИКАЛЬ» поддерживает все процессы технологического обеспечения и электронного инженерного документооборота, в том числе управление технологическими изменениями и заявками на разработку специальных средств технологического оснащения.

САПР ТП позволяет:

- ✓ проектировать технологические процессы в нескольких автоматизированных режимах;
- ✓ проводить выбор оборудования, инструментов и оснастки;
- ✓ проводить выбор и расчет режимов резания;
- ✓ рассчитывать себестоимость, а также материальные и трудовые затраты на производство;
- ✓ формировать все необходимые комплекты технологической документации, используемые на предприятии.

Платформа «ВЕРТИКАЛЬ» реализует принцип проектирования технологических процессов, в основе которого лежит иерархическая структура из операций, переходов, оборудования, профессий, оснастки и других технологических объектов, а также предоставляет возможность параллельного проектирования сложных и сквозных технологических процессов группой технологов в реальном режиме времени.

САПР ТП поддерживает двустороннюю связь параметров технологического процесса с параметрами графических документов КОМПАС-3D: чертежей, эскизов, 3D-моделей. При изменении значений параметров в графических документах происходит соответствующее изменение ассоциированных параметров технологического процесса (например, изменение размеров в тексте перехода при изменении соответствующего габарита на чертеже). Предоставляется возможность и обратного действия – обновление значения параметра в графическом документе в ответ на изменения в ТП [4–6]. На рис. 2 представлен технологический маршрут, привязанный к последовательности операций детали «Кронштейн».

Комплект карт	Предпросмотр карт	
	Текст технологии	Атрибуты
005 Абразивно-отрезная	Станок абразивно-отрезной 8A230 Резчик на пил.,нож.,стан. 17052 1. Нарезать заготовки в размер (1) 300 Линейка ГОСТ 427-75 Rz 20 ФТ Образец шероховатости ГОСТ 9378-93 2. Контроль исполнителем 100% 3. Контроль ОТК - 5%	
010 Транспортирование	Тележка АЩВ-062	
015 Термическая обработка		
020 Транспортирование	Тележка АЩВ-062	
025 Токарно-винторезная	Ст. спец. токарный 250ИТВ Токарь 06100 Тара 6800-005 Патрон 7100-0005 ГОСТ 2675-80 Rz 20 ФТ Образец шероховатости ГОСТ 9378-93 1. Установить, выверить и закрепить заготовку 2. Подрезать торец "как чисто" 2102-0071 Резец Т30К4 ГОСТ 18877-73	

Рис. 2. Технологический маршрут детали «Кронштейн»

M01	Пружок АМг6	Код	Цех	Уч.	PM	Дубл.	Взам.	Подп.																		
									А	Б	К/М	Цех	Уч.	PM	Опер.	Код, наименование операций		Обозначение документа								
M02	114633	Б	Цех	Уч.	PM	К/М	Цех	Уч.	PM	Опер.	Код, наименование оборудования		СМ	Проф.	Р	УТ	КР	К/ОИД	ЕН	ОП	Кшт.					
А	Цех	Уч.	PM	К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала		Обозначение код							ОП	ЕВ	ЕН										
A01	103	20	A01	103	00	045	020000	Контроль		0209.60103.21239																
E02	3811832232	04	B02	3867542814	Стол контролёра									1	1	1										
A03	135	00	A05	506	10	050	040100	Транспортирование в цех 1:																		
B04	3813385028	05	B06	3171111139	Тележка АЦВ-062																1	1				
A07	135	00	A09	113	01	055	014000	Обезжиривание		0209.01271.00005																
B08	3171111139	06	B10	3851211016	Линия авт.анодирования ГЛДИ.30.170.00.00.00		07030	3	1	1	1	1														
A11	214	41	A13	113	01	060	714220	Анодирование		0209.01271.00101																
B12			B14	3851211016	Линия авт.анодирования ГЛДИ.30.170.00.00.00		07030	3	1	1	1															
A15	135	00	E15	3445110006																						
B16	3171111139	16																								
<b>МК</b>		Маршр	<b>МК</b>	Маршр	<b>МК</b>		Маршрутная карта																			

Рис. 3. Формирование маршрутной карты изделия

На базе платформы «ВЕРТИКАЛЬ» пользователь может создавать ТП трех видов: технологический процесс изготовления детали, технологический процесс изготовления сборочной единицы и типовой/групповой технологический процесс.

Заключительный этап – формирование комплекта, который включает в себя документы, содержащие сводную информацию, необходимую для решения одной задачи или комплекса инженерно-технических (рис. 3), планово-экономических и организационных задач, полностью и однозначно определяющих технологический процесс (операцию) изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия).

К вспомогательным относят документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании технологических процессов и операций, например: карта заказа на проектирование технологической оснастки; акт внедрения технологического процесса и др.

После завершения разработки технологического процесса, который содержит все необходимые сведения для производства изделия, система «ВЕРТИКАЛЬ» позволяет в автоматическом режиме сформировать комплект технологической документации. В базовой поставке системы имеется большинство форм документов, предусмотренных ГОСТ серии ЕСКД (технологические карты и ведомости).

Модуль «ВЕРТИКАЛЬ-Отчеты» позволяет создать новые отчетные формы и алгоритмы отбора данных для размещения на форме по требованиям предприятия практически любой сложности.

В функции платформы входит поддержка актуальности технологической информации с помощью процессов управления изменениями и осуществление наполнения баз типовых и групповых технологических процессов в рамках

которых можно, единожды заполнив общие данные ТП, использовать их впоследствии для проектирования схожих технологических процессов [7].

В ходе ТПП определяется состав и количество используемого оборудования, состав персонала и требования к его квалификации, а также прочие параметры, необходимые для обеспечения планируемых производственных показателей [7].

Комплект технологических документов на изделие может включать документы, содержащие сведения не только из единичного техпроцесса, но и сводную технологическую информацию по всем компонентам изделия. Как правило, это различные ведомости, например: ведомость специфицированных норм расхода, ведомость материалов, ведомость маршрутов. «ВЕРТИКАЛЬ» обеспечивает формирование комплекта технологической документации в MS Excel согласно ГОСТу, а также автоматическую вставку операционных эскизов и эскизов различных форматов [7].

Рынок программного обеспечения предоставляет большое число комплексов САПР с различными степенью специализации и прикладной ориентацией. Владение инструментами САПР стало составной частью компетенций инженеров разных специальностей.

При использовании комплекса ПО «КОМПАС-3D» и «ВЕРТИКАЛЬ» в работе объединяются ветви CAD-, CAM-, CAPP- и CAE-технологий машиностроения.

Концепция технологии сквозной поддержки обеспечивает быструю модификацию конструкции с помощью атрибутов управления конфигураций. Последнюю функцию берет на себя платформа «ЛЮЦМАН:PLM», в которой формируется объектная модель изделия, связанная со всеми деталями и технологическими процессами для них. Коллективная работа

над проектом технологических и конструкторских отделов приводится «к общему знаменателю».

Конструкторские и технологические работы становятся максимально доступными и прозрачными. Увеличивается скорость проектирования, уровень понимания, качество выполненных работ. Доработки и создание новых проектов на основе аналогичных либо типовых ускоряют на порядок процесс проектирования, исключается бумажная составляющая, необходимость хранения чертежей и технологий в архивах, библиотеках и т. д.

САРР-концепция позволяет эффективно и в короткие сроки выполнить назначение оборудования, инструментов, оснастки, сопроводив этот перечень операционным эскизом детали, что позволяет обеспечить инструментальный контроль после выполнения всех операций.

Дальнейшее повышение эффективности машиностроительного производства может быть реализовано за счет комплексного использования высокотехнологичных программных платформ. Наличие цифрового отображения, связанного с системами PLM, позволяет говорить о переходе предприятия к новому типу производства. В этих условиях 3D-модель детали выступает средством навигации в технологическом процессе. Автоматизированные системы проектирования дают возможность использовать любые из существующих технологических баз данных. Функционал платформ САПР предоставляет пользователям возможность параллельного проектирования сложных и сквозных конструкторских и технологических процессов группой инженеров в реальном режиме времени. Разграничение прав доступа и различные варианты защиты информации служат условием организации коллективной работы над проектом.

Развитие цифровизации производства будет возможно за счет расширения интеграции программных продуктов во все сферы деятельности предприятия, включая транспортировку готовых продуктов, отслеживание продукции при вводе ее в эксплуатацию и дальнейшее наблюдение за работой в процессе экс-

плуатации. Для этого потребуется объединение всех элементов производственной системы высокоскоростными сетями передачи информации.

#### Литература

1. 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.
2. Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства изделий машиностроительного сектора в условиях малых предприятий / С. А. Казакова, В. В. Яхричев, В. Ф. Булавин и [др.]. // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Курск: ЮЗГУ, 2017. – С. 149–155.
3. Булавин, В. Ф. Валидация САД-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.
4. САД/САРР-технологии в машиностроительном производстве / С. А. Казакова, В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев и [др.]. // Наука и современность 2018: материалы Междунар. XXXV научн. конф. – Москва: ЕНО, 2018. – Ч. 1, № 1 (35). – С. 70–73.
5. Булавин, В. Ф. Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев // САПР и графика. – 2018. – № 6. – С. 52–55.
6. Российские САД-системы в приборостроительном секторе производства / Е. В. Волков, В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, и [др.]. // Эффективные исследования современности: материалы Междунар. XXXII научн. конф. – Москва: ЕНО, 2017. – Ч. 1, № 10 (32). – С. 65–68.
7. Высокорец, Я. В. САПР ТП «Вертикаль»: учеб. пособие для самостоятельной работы / Я. В. Высокорец. – Челябинск: ЮУрГУ, 2012. – 48 с.

**C.A. Kazakova**

Vologda optical-and-mechanical plant

**V. F. Bulavin**

Vologda State University

#### COMPLEX DIGITALIZATION OF PREPARATION MACHINE-BUILDING PRODUCTION

The article presents the experience of complex digitalization of engineering production based on the PLM platform. Presents the main directions of improvement of technological preparation of production. Examples of an integrated approach to fully digital preparation of engineering production are given. The experience of using software products is presented. The main directions of further digitalization of production are determined.

3D model, digital image, design and technological preparation of production, information environment.