



## Цифровая трансформация проектирования технологических процессов при подготовке инженеров-проектировщиков на базе комплекса T-FLEX PLM

Александр Петухов

**В статье рассматривается опыт внедрения систем автоматизированного проектирования, разработанных компанией «Топ Системы» в Гомельском государственном техническом университете имени П.О. Сухого.**

Значительные достижения в области внедрения информационных технологий в учебный процесс не могут возникнуть сами по себе. Успех в этой сфере обеспечивается многолетней и упорной работой, направленной на постепенный переход от использования традиционных методов обучения к автоматизированным. Этот переход рассматривается на примере внедрения системы автоматизированного проектирования технологических процессов.

Впервые система автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) была внедрена в процесс курсового проектирования по дисциплине «Технология изготовления гидроприводов» в 1995 году. Опубликованные в этот период методические указания к курсовой работе по курсу «Технология изготовления гидроприводов» для специальности 12.11 «Гидромашины, гидроприводы, гидропневмоавтоматика» рекомендовали студентам при выполнении курсовой работы использовать САПР ТП.

Необходимость перехода от традиционного (ручного) проектирования к автоматизированному диктовалась потребностью разрешения противоречия между повышением сложности и качества создаваемых машин, с одной стороны, и снижением сроков их морального старения, с другой. Используемая САПР ТП представляла собой один из структурных компонентов САПР ТПП. Эта система при ее использовании в производственных условиях является инструментом технолога и нормировщика при проектировании технологических процессов в режиме диалога с ЭВМ.

Результатом внедрения САПР ТП в учебный процесс явилось приобретение студентами опыта, который позволил им по окончании вуза уверенно работать с автоматизированными системами в различных сферах деятельности, никогда не сомневаясь в правильности своих действий.

### Решение задач автоматизации технологического проектирования

Выполнение курсовых и дипломных проектов при помощи систем автоматизированного проектирования значительно усложнилось в условиях пандемии. Сложившаяся ситуация послужила стимулом для исследований цифровой трансформации учебного процесса, в результате которых были сформированы следующие стадии процесса.

#### 1. Выбор автоматизированной системы

На этой стадии было проведено комплексное исследование систем разных компаний, включающее качественную и количественную оценки.

В основу методики качественной оценки положена теория выбора и принятия решений, которая исследует математические модели этого вида деятельности [1]. В данном случае имеется множество автоматизированных систем (АС), и задача сводится к выделению из него некоторого подмножества на основе представления о качестве вариантов, характеризующемся принципом оптимальности. Ввиду того, что в рассматриваемой задаче множество альтернатив, которыми являются АС, известно, она может быть отнесена к задаче выбора [1].



Александр Петухов, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого



Рассматриваемые при проведении исследования альтернативы обладают многими свойствами, оказывающими влияние на решение. Укрупненно эти свойства могут быть классифицированы в определенные множества. При решении задачи выбора компании рассматривались следующие множества свойств:

- $M'$  — возможность использования автоматизированных систем, разработанных компанией, для решения комплекса конструкторско-технологических задач;
- $M''$  — возможность использования автоматизированных систем, разработанных компанией, для решения комплекса задач электронного документооборота.

Детализация указанных множеств показывает, что каждое из них образовано несколькими свойствами. Например,

$M_1' \{m_1', m_2', m_3', m_4', m_5'\}$ ,  
где  $m_1'$  — возможность создания параметрической 2D- и 3D-модели обрабатываемой детали;

$m_2'$  — возможность проектирования технологического процесса механической обработки детали;

$m_3'$  — возможность разработки управляющих программ для программно-управляемого оборудования;

$m_4'$  — возможность создания параметрической 3D-модели станочного приспособления, используемого в технологическом процессе изготовления обрабатываемой детали;

$m_5'$  — возможность проведения нагружения параметрической 3D-модели станочного приспособления для определения его работоспособности.

Аналогично,  
 $M'' \{m_1'', m_2'', m_3'', m_4'', m_5'', m_6''\}$ ,  
где  $m_1''$  — возможность авторизованного входа в систему;

$m_2''$  — возможность редактирования документов;

$m_3''$  — возможность работы с файлами;

$m_4''$  — возможность отправки и получения сообщений;

$m_5''$  — возможность работы с заданиями;

$m_6''$  — возможность поиска объектов.

Для формализации выбора наиболее подходящего поставщика программного обеспечения на основе доступных источников было принято решение о проведении классификации разработок фирм-поставщиков по трем группам.

К первой группе были отнесены претенденты, разработки которых поддерживают сквозное проектирование. Указанное требование реализовано в разработках всех трех рассматриваемых фирм-поставщиков.

Ко второй группе были отнесены претенденты, в системах которых дополнительно предусмотрен контроль исполнительской дисциплины. Это требование также реализовано в разработках всех фирм-поставщиков.

К третьей группе были отнесены претенденты — интегрированные и платформенные CAD/CAM-системы, которые поддерживают разработку управляющих программ для оборудования с ЧПУ, а также имеющие модуль, позволяющий моделировать процессы нагружения конструкций и оценивать ее прочность с использованием метода конечных элементов. Эти

требования были реализованы в разработках двух российских компаний.

Окончательное решение в пользу разработок компании «Топ Системы» было принято ввиду того, что учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» с 2006 года включено в Программу поддержки вузов «Факультет САПР» компании «Топ Системы». А также потому, что в штате университета имеется преподаватель, обладающий с ноября 2019 года квалификационным статусом «Сертифицированный преподаватель T-FLEX CAD».

## 2. Адаптация системы к условиям ее использования в учебном процессе

Адаптация системы T-FLEX Технология к использованию в учебном процессе заключалась в наполнении баз данных технологического проектирования. Их состав показан на рис. 1.

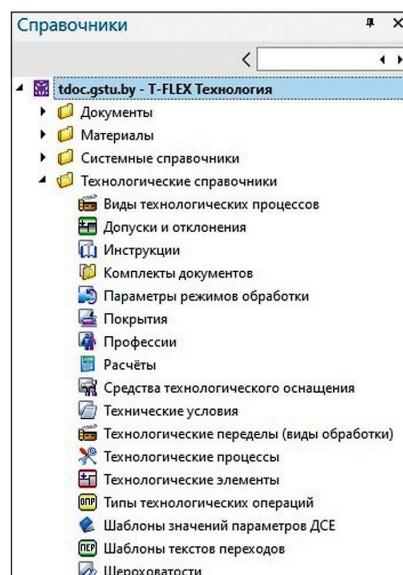


Рис. 1. Состав баз данных технологического проектирования



В состоянии поставки в системе T-FLEX Технология хорошо сформирована база данных наименований операций. Фрагмент этой базы представлен на рис. 2.

При формировании базы данных технологического оборудования активно использовалась работа [2]. Отличительной особенностью указанной работы является то, что помимо технических характеристик оборудования в ней указана его стоимость, а также категория ремонтной сложности. Это позволяет объективно оценить технологическую себестоимость обработки детали.

Для формирования базы шаблонов текстов переходов использовались нормативные документы, регламентирующие правила записи переходов.

### 3. Внедрение системы в учебный процесс

В учебный процесс система T-FLEX Технология внедрялась по трем направлениям.

Во-первых, система используется при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» студентами специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения».

Во-вторых, система применяется при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированные системы технологической подготовки производства» студентами специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)».

В-третьих, она используется при выполнении курсового и диплом-

Название	Код
Токарно-бесцентровая	4123
Специальная зубообрабатывающая	4162
Зубохонинговальная	4163
Горизонтально-протяжная	4181
Вертикально-сверлильная	4214
Долбежная	4175
Горизонтально-фрезерная	4262
Вальцешлифовальная	4147
Зубопритирочная	4158
Вертикально-расточная	4222
Болтонрезная	4108
Специальная токарная	4118
Специальная протяжная	4183
Токарно-копировальная	4117
Центрошлифовальная	4143
Отделочная	4190
Токарно-отрезная	4284
Гайконрезная	4107
Автоматическая токарная	4112
Фрезерная с ЧПУ	4234
Поперечно-строгальная	4172
Вертикально-фрезерная	4261

Рис. 2. Фрагмент базы данных наименований операций

Название	Код
Фрезеровать плоскость (E)	
Фрезеровать плоскость, выдерживая размеры (E1), (E2), (E3), (E4), (E5) (и шероховатость (E6))	
Фрезеровать плоскость, выдерживая размеры, (E1)мм, (E2)мм, (E3)мм, (E4)мм, (E5)мм (и шероховатость (E6))	
Фрезеровать наружную поверхность (E)	

Рис. 3. Фрагмент базы данных шаблонов текстов переходов

ного проектирования студентами специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)».

Период внедрения системы T-FLEX Технология совпал с пандемией COVID-19, что, в свою очередь, наложило на работу системы дополнительные требования.

Эти требования заключались в том, что система должна не только функционировать в рамках локальной сети университета, но и обеспечивать стабильную дистанционную работу со студентами, находящимися по месту жительства. Эта возможность была предоставлена студентам за счет использования клиент-серверной технологии.

На персональных компьютерах (ноутбуках), подключенных к

сети Интернет, была установлена клиентская часть программного обеспечения системы T-FLEX Технология. Сотрудниками центра информационных технологий был отработан порядок авторизованного доступа студентов к серверной части программного обеспечения системы. Это позволило организовать дистанционное проектирование технологических процессов при курсовом и дипломном проектировании. Далее приведем описание последовательности проектирования технологического процесса с использованием системы T-FLEX Технология на примере детали «рычаг 16Б20П.061.405».

Первым этапом проектирования общего технологического процесса является создание параметри-

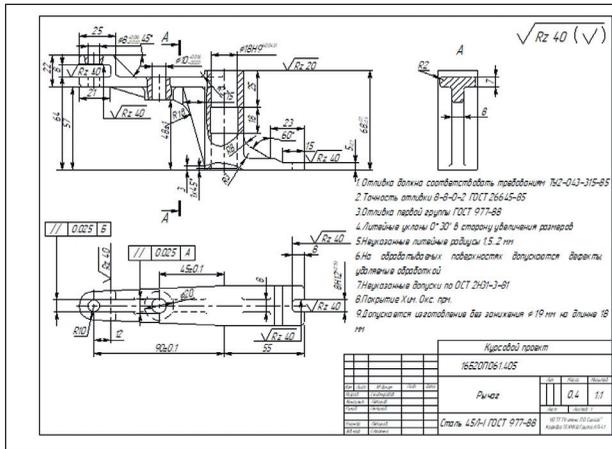


Рис. 4. Параметризованный чертеж детали «рычаг 16Б20П.061.405»

№	OBOZN	L1	L2	L3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	L4	L5	L6
1	16Б20П.061.405	55	45	90	13.5	10	4	10	5	9	8	8	68
2	16Б20П.061.406	56	46	91	14.5	11	5	11	6	10	9	9	69
3	16Б20П.061.407	57	47	92	15.5	12	6	12	7	11	10	10	70

Рис. 5. База данных детали «рычаг 16Б20П.061.405»

L1	find(Ispl.L1, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	55
L2	find(Ispl.L2, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	45
L3	find(Ispl.L3, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	90
L4	find(Ispl.L4, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	8
L5	find(Ispl.L5, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	8
L6	find(Ispl.L6, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	68
R1	find(Ispl.R1, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	13.5
R2	find(Ispl.R2, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	10
R3	find(Ispl.R3, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	4
R4	find(Ispl.R4, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	10
R5	find(Ispl.R5, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	5
R6	find(Ispl.R6, Ispl.OBOZN=#Обозначение)	9

Рис. 6. Редактор переменных в T-FLEX CAD

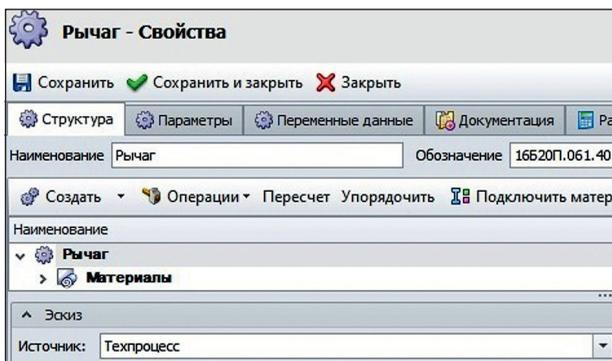


Рис. 7. Окно создания типового технологического процесса

Далее необходимо связать информацию, содержащуюся в базе данных, с системой T-FLEX CAD. Для этого во вкладке *Редактор переменных* (рис. 6), используя параметр *Обозначение*, создается список, содержащий обозначения исполненных детали, указанных в базе данных, и проводится привязка переменных к параметрическому чертежу рычага.

Создается «Типовой технологический процесс» (рис. 7), который содержит последовательность выполняемых операций. Для добавления операции необходимо выбрать *Типовая технологическая операция* (рис. 8).

В окне свойств операции заполняются такие параметры, как: номер, код, наименование, эскиз, оснащение, инструкции, исполнители, материалы.

Далее в операции создается *Типовой технологический переход* (рис. 9), где заполняются такие параметры, как: операционное и вспомогательное время, текст перехода, режимы, оснащение.

На вкладке *Параметры* (рис. 10) создается связь между переменной в тексте перехода и обозначением поверхности на операционном эскизе.

Все остальные операции заполняются аналогичным способом (рис. 11).

На заключительном этапе проектирования формируется готовый комплект документов, состоящий из титульного листа, маршрутной карты, операционных карт и карт эскизов. Для получения комплекта документов необходимо воспользоваться вкладкой *Документация*.

Система T-FLEX Технология является платформенным решением совместно с PLM-системой T-FLEX DOCs. Благодаря этому при курсовом и дипломном проектировании появляется возможность дополнительно использовать такие возможности, как отправка и получение сообщений, а также работа с заданиями и поиск объектов. Всё это подготавливает студентов к работе на виртуальном предприятии, создание и развитие которых является перспективным направлением развития машиностроения в нашей республике.

## Разработка управляющих программ в среде T-FLEX CAM

Современный этап развития CAD-систем (Computer-Aided Design) характеризуется значительным расширением сферы их использования. Теперь получить 3D-модель детали из 2D-чертежа (и наоборот) стало достаточно просто. При этом появилась возмож-



ность быстро и точно определять ряд параметров, таких как вес детали, площадь ее поверхности, координаты центра тяжести и моменты инерции относительно

осей X, Y, Z. Интересным направлением совершенствования CAD-систем является их интеграция с CAM-системами (Computer-Aided Manufacturing). Одной из основных

Рычаг - Свойства

Сохранить Сохранить и закрыть Закрывать

Структура Параметры Переменные данные Документация Работы

Наименование: Рычаг Обозначение: 16620П.061.405

Создать Операции Пересчет Упорядочить Подключить материалы

Наименование	Обозначение (код)
Рычаг	16620П.061.405
Материалы	
Перемещение	0400
Фрезерная ЧПУ	4234
Перемещение	0400
Фрезерная ЧПУ	4234
Перемещение	0400
Фрезерная ЧПУ	4234
Перемещение	0400
Закалка	5030
Перемещение	0400
Гальваническая	
Перемещение	0400
Проковка	0125
Перемещение	0400
Контроль	0200
Перемещение	0400

Рис. 11. Схема технологического процесса

задач, решаемых САМ-системами, является разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.

Многие разработчики программного обеспечения для автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства уже оснастили свои системы соответствующими модулями, в том числе компания «Топ Системы» — она разработала приложение T-FLEX ЧПУ, работающее в среде конструкторской системы T-FLEX CAD.

Высшие учебные заведения ставят перед собой актуальную задачу — ввести изучение интегрированных CAD/CAM-систем в учебный процесс подготовки инженеров-проектировщиков. Упор при этом нужно делать на практическое овладение навыками разработки управляющих программ с использованием 3D-модели изготавливаемой детали.

Подготовка к внедрению в учебный процесс проектирования с использованием CAD/CAM-систем Гомельского государственного университета имени П.О. Сухого состояла из следующих этапов:

1. Закупка лицензионного программного обеспечения T-FLEX CAD и T-FLEX ЧПУ.

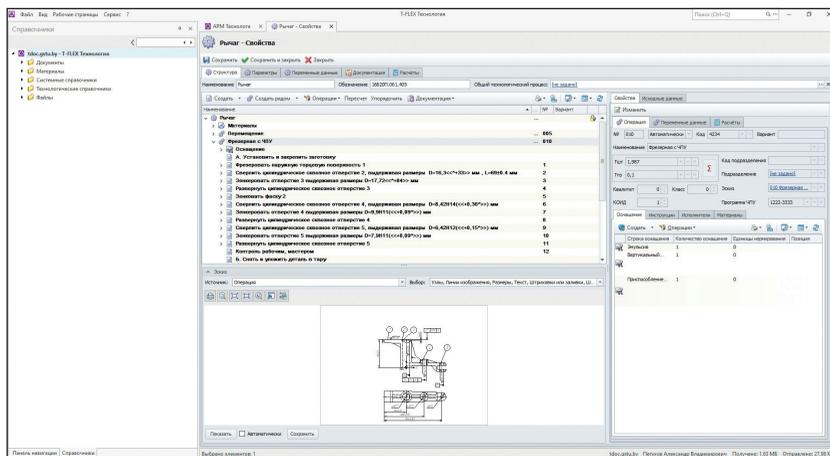


Рис. 8. Окно свойств типовой технологической операции

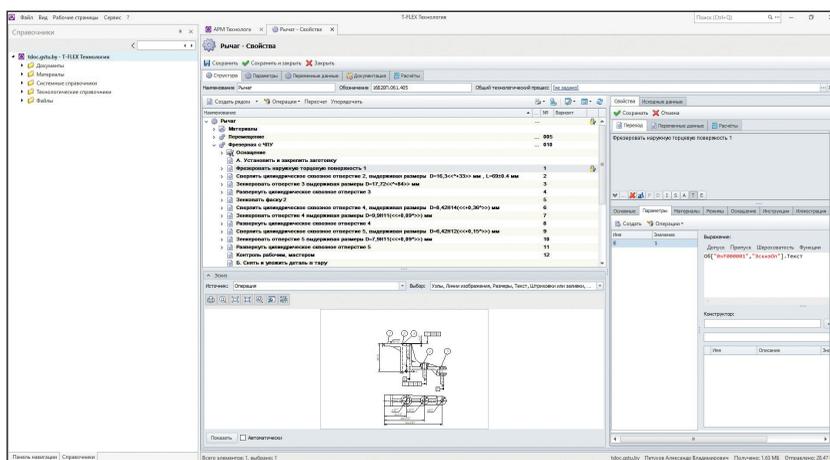


Рис. 9. Окно свойств типовой технологической операции

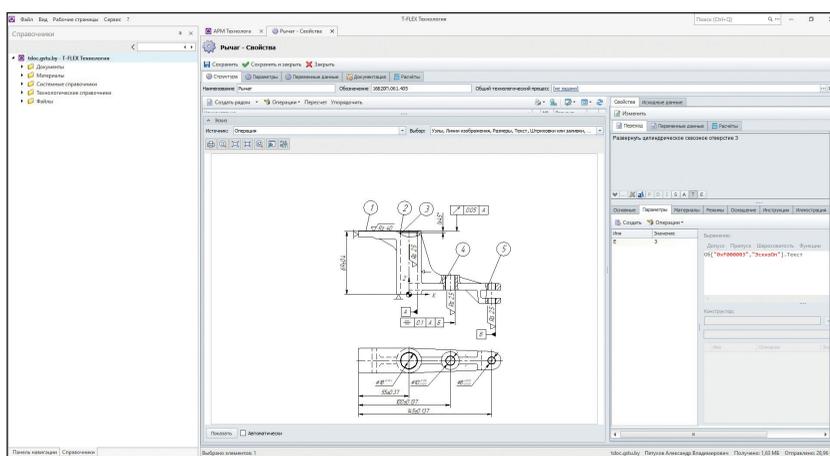


Рис. 10. Вкладка *Параметры* типовой технологической операции



2. Установка и адаптация указанного программного обеспечения к условиям использования в учебном процессе ГГТУ имени П.О. Сухого.
3. Подготовка учебно-методической литературы, содержащей руководство по применению CAD/CAM-системы, при курсовом и дипломном проектировании. Особенности этого этапа описаны в [3].

Исследование возможности использования CAD/CAM-системы при подготовке инженеров-проектировщиков было проведено студентами специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» при выполнении курсового проекта по дисциплине «Автоматизированные системы технологической подготовки производства» и при выполнении дипломного проекта.

Разработка управляющей программы проводилась в системе автоматизированного проектирования T-FLEX CAD и приложении T-FLEX ЧПУ.

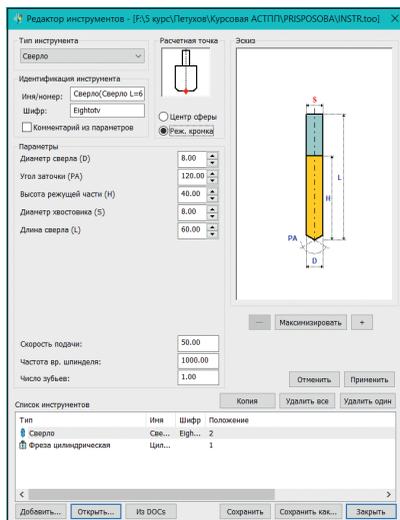


Рис. 12. Редактор инструментов

Для получения управляющей программы были выполнены следующие действия:

1. С помощью команды *Редактор инструментов* был создан режущий инструмент с необходимыми параметрами и сохранен в файле с расширением \*.too (рис. 12).
2. На панели инструментов была выбрана команда *Сверление 5D*, а в ней имя операции, инструмент, поверхность относительно

которой выполняться обработка и параметры сверления (глубина, частота вращения, подача и т.д.). Результаты этой обработки представлены на рис. 13-15.

3. На панели инструментов была выбрана команда *Фрезерование 3D*, а в ней имя операции, инструмент, грань, которая будет фрезероваться, угол наклона инструмента, тип прохода и параметры фрезерования (глубина, частота вращения, подача и т.д.). Результаты этой обработки представлены на рис. 16-18.

4. Для проверки разработанной программы была запущена команда *Имитатор обработки*, при работе которой траектория движения инструмента была представлена видеороликом.

5. Полученный результат в виде управляющей программы, фрагмент которой показан на рис. 19, был сохранен в файле для передачи на станок.

Внедрение системы проектирования в учебный процесс показало не только возможность получения

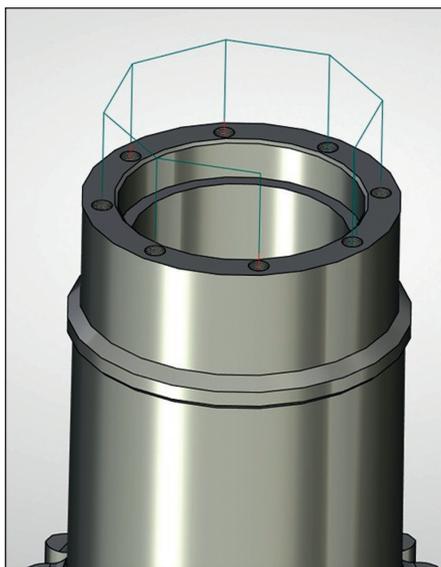


Рис. 13. Векторная схема обработки сверлом

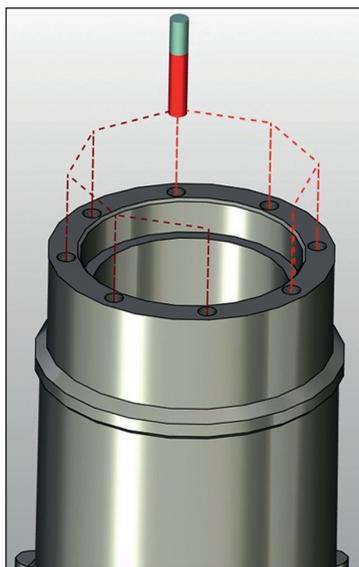


Рис. 14. Сверло в начальном положении (кадр N105)

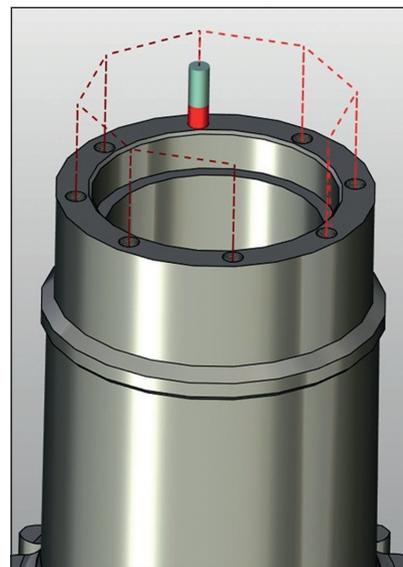


Рис. 15. Сверло в конечном положении (кадр N115)

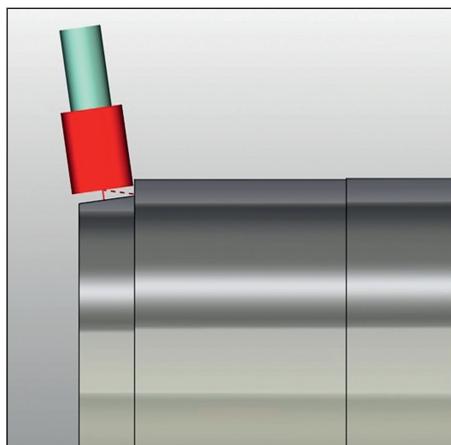


Рис. 16. Подвод фрезы  
(кадр N220)

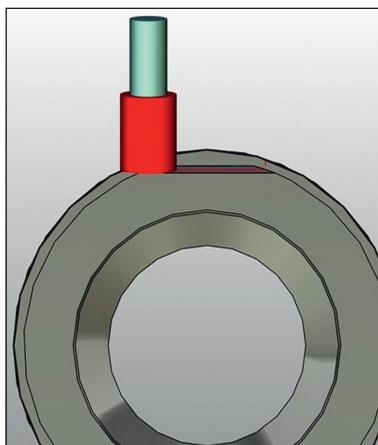


Рис. 17. Фрезерование скоса  
(кадры N230-N235)

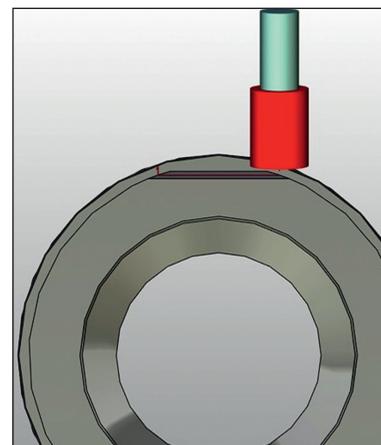


Рис. 18. Отвод фрезы  
(кадр N245)

управляющей программы для станка с ЧПУ, но и практическую реализацию этой возможности студентами на базе лицензионного программного обеспечения. Результаты в виде управляющих программ, полученных в процессе дипломного проектирования с использованием платформенных CAD/CAM-систем, были высоко оценены членами Государственной экзаменационной комиссии.

### Перспективы

В настоящее время существует три основных направления, по которым должна и будет развиваться цифровая трансформация проектирования технологических процессов и преподавание дисциплины САПР ТП.

Первое направление связано с внедрением программных продуктов, автоматизирующих выполнение функций управления проектами и документооборотом. Описание одной из таких систем, а именно T-FLEX

DOCs, приводится в практикуме по курсу «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов», изданном в 2015 году. В нем описываются режимы работы с документами, файлами, сообщениями и заданиями, а также даются рекомендации по использованию системы для поиска объектов.

Второе направление — расширение применения T-FLEX CAD.

Третье направление связано с использованием 3D-моделей для выполнения прочностных расчетов.

Богатый исторический опыт применения систем автоматизированного проектирования в учебном процессе подготовки высококвалифицированных инженеров-проектировщиков в перспективе гарантирует постоянное совершенствование как самих систем, так и методов преподавания связанных с ними дисциплин.

### Литература:

1. Петухов А.В. Формализация задачи выбора автоматизированной системы. Системный анализ и прикладная информатика. 2018;(1):16-20. Код доступа: <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2018-1-16-20>
2. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М.М. Кане [и др.]; под ред. М.М. Кане; В.К. Шелега. — Минск: Издательство «Вышэйшая школа», 2013. 311 с.
3. Петухов А.В. Цифровая трансформация проектирования технологических процессов при подготовке инженеров-проектировщиков: история и перспективы. Цифровая трансформация. 2020;(1):57-72. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-1-57-72>

```
N195G90
N200M03
N205S1000
N210F50
N215F1000
N220G00X-31.1305Y11.4865Z97.1635B7.99999C-90
N225F50
N230G01X-31.1305Y12.1824Z92.2121B7.99999C-90
N235X31.1266
N240F1000
N245G00X31.1266Y11.4865Z97.1635B7.99999C-90
N250M11
N255M02
N260M30
```

Рис. 19. Листинг управляющей программы: Операция 030 Горизонтально-фрезерная (Цилиндрическая фреза L = 80 D = 30)