

Опыт внедрения программных решений комплекса T-FLEX PLM в учебный процесс Самарского университета им. С.П. Королёва

Владимир Мелентьев, Александр Гвоздев,
Александр Уланов, Илья Лейковский

В статье рассматриваются задачи и результаты обновления учебного процесса на основе российского PLM-решения на кафедре конструкций и проектирования двигателей летательных аппаратов.

Самарский университет образовался в 2015 году путем объединения Самарского аэрокосмического университета (ранее Куйбышевского авиационного института), который был основан в 1942 году, и Самарского государственного университета.

Кафедра конструкций и проектирования двигателей летательных аппаратов еще в 90-е годы сделала ставку на оперативное внедрение в учебный и исследовательский процесс систем автоматизированного проектирования (САПР). Поэтому переход от отдельных CAD-, CAE-, PDM-систем к PLM с цифровым двойником изделия является для университета следующим логичным шагом.

Цель: повысить престиж групп по проектированию двигателей на кафедре за счет внедрения передового уровня проектирования в учебный процесс.

Задача: переработать учебный процесс с учетом современных тенденций в области инженерной работы:

- рост уровня интеграции математических моделей. Появление FSI-расчетов, затем развитие цифровых двойников на базе 1D-моделирования;

- перенос части вычислений по моделям с расчетчиков на конструкторов. Появление соответствующих инструментов. Например, из классического ANSYS выделился Workbench, затем из него — ANSYS AIM. Появление расчетных модулей во многих CAD-пакетах среднего уровня;
- развитие новых способов коллективной работы над проектами, в том числе проектирование сверху вниз, динамические сборки и виртуальная реальность;
- значительное продвижение вперед российских САПР, готовых предложить недорогие, надежные и функциональные продукты, возможностей которых достаточно большинству инженеров.

Исходя из обозначенных выше тенденций Самарский университет им. С.П. Королёва начал подбирать PLM.

«Мы искали программное обеспечение, которое помогло бы нам перейти от создания отдельных моделей для разных задач к единой модели изделия, которую обычно называют цифровым двойником изделия. Честно говоря, альтернативы программным продуктам Siemens мы не видели.

Владимир Мелентьев

К.т.н., доцент кафедры конструкций и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский университет им. С.П. Королёва.



Александр Гвоздев

К.т.н., доцент кафедры конструкций и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский университет им. С.П. Королёва.

Александр Уланов

Д.т.н., профессор кафедры конструкций и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский университет им. С.П. Королёва.



Илья Лейковский

Руководитель Интерактивного комплекса опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «Иммерсивные технологии в двигателестроении», Самарский университет им. С.П. Королёва.



И тут нам предложили отечественное решение T-FLEX PLM. Тогда, после многолетнего доминирования в вузе тяжелых иностранных PLM-пакетов, к отечественным решениям в области САПР многие относились с недоверием. Поэтому моя первая мысль была: «Наверное, очередной клон SOLIDWORKS пяти-/десятилетней давности».

Однако я решил попробовать поработать в T-FLEX CAD. И через некоторое время почувствовал, что этот пакет глубже и своеобразнее. По уровню он скорее напомнил мне NX, но в T-FLEX CAD

есть и свои идеи, которые я нигде больше не встречал», — вспоминает свои первые впечатления от работы с T-FLEX CAD доцент кафедры КиПДЛА В.С. Мелентьев.

По мнению авторов, возможностей программного комплекса T-FLEX PLM достаточно большинству инженеров в авиации, космонавтике, робототехнике и общем машиностроении. Внедрение российских технологий, в том числе и T-FLEX PLM, поддерживается на государственном уровне и происходит во многих отраслях промышленности.

При этом T-FLEX PLM:

- имеет меньший стоимостной порог входа и доступнее NX (по стоимости как лицензирование, так и обучения);
- изначально ориентирован на российские стандарты;
- не несет груза прежних разработок;
- имеет доступную техподдержку и хорошие учебные текстовые и видеоматериалы на русском языке.

Сравнивая T-FLEX CAD с КОМПАС 3D, в университете пришли к выводу, что оба пакета обеспечивают следующие базовые возможности ПО среднего уровня: чертежи, спецификации, детали, сборки, параметризация, работа с поверхностями, PDM, наличие собственного ядра и т.д.

При этом T-FLEX PLM имеет важные для учебного процесса преимущества:

- это САПР среднетяжелого и тяжелого класса;
- обладает высокой интеграцией модулей;
- содержит большой набор модулей, в том числе VR;

- имеет возможность прямого импорта из большинства CAD-пакетов;
- стабильнее работает;
- это единственная российская среда разработки технических изделий, обеспечивающая единую модель на всех этапах проектирования.

Эти обстоятельства определили выбор в пользу T-FLEX PLM.

С 2018 года шло внутреннее тестирование программного и подготовка методического обеспечения. С 2020 года в учебный план подготовки бакалавров профильной группы кафедры было введено одно занятие в рамках дисциплины «Введение в специальность», посвященное демонстрации работы T-FLEX VR для изучения конструкции двигателей.

В 2022 году было проведено тестирование связки T-FLEX CAD → T-FLEX VR → T-FLEX Динамика → T-FLEX Анализ для моделирования поршневого ДВС на базе одной группы студентов в рамках летней ознакомительной практики.

Летом 2023 года был утвержден новый учебный план по направлению подготовки «Двигатели летательных аппаратов» под девизом «Сквозному обучению — Сквозную модель», в котором декларирован постепенный перевод конструкционного моделирования на продук-



Рис. 1. Этапы моделирования двигателя

ты T-FLEX PLM там, где это возможно. Соответственно, осенью 2023-го была набрана первая учебная группа, студенты которой должны будут завершить обучение в 2027 году по новому плану.

Дисциплины учебного плана выстроены в соответствии с алгоритмом виртуального проектирования, показанном на рис. 1. Где возможно, выдержано правило: один семестр — обучение, следующий — расчетная работа.

Для реализации этапов сквозного моделирования выбраны следующие модули T-FLEX PLM (рис. 2):

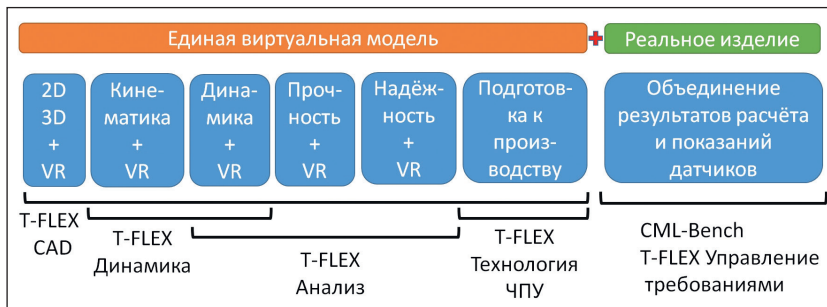


Рис. 2. Структура цифрового двойника изделия

- T-FLEX PDM — Идея, Исходные данные, Эксплуатация и Утилизация;
- T-FLEX CAD и T-FLEX VR — Объемная модель;
- T-FLEX Динамика — Кинематика;
- T-FLEX Динамика и T-FLEX Анализ — Динамика;
- T-FLEX Анализ — Прочность;
- T-FLEX Технология и T-FLEX ЧПУ — Производство.

При этом белым пятном на 2023 год оставался вопрос гидродинамики, для которой предполагалось использование CFD-пакета. Выбор стоял между «Аэро-Гидро Логос», FlowVision или CADFlo. В 2024 году сотрудники кафедры КиПДЛА всё больше склоняются к CADFlo, поскольку данное ПО практически бесшовно интегрировано в интерфейс T-FLEX CAD. Соответственно, окончательный выбор, тестирова-

ние и организация методического сопровождения CFD-пакета еще впереди.

Еще одной проблемой остается выбор технологической платформы для цифрового двойника. Так, в 2023 году рассматривались варианты использования CML-Bench® или КЭП ЦИАМ. Однако в связи с расширением ассортимента модулей, в частности выходом T-FLEX Управление требованиями, комплекс T-FLEX PLM в совокупности имеет больше компонентов платформы ЦД (цифрового двойника), чем вышеперечисленные. Вопрос создания цифрового двойника только средствами T-FLEX PLM будет прорабатываться.

Понадобится принять во внимание и проработать организационные вопросы, поскольку направления гидродинамики и произ-

водства находятся в компетенции других кафедр.

На данный момент методически наиболее проработаны задачи объемного моделирования, кинематики, динамики и прочности. В качестве примера в табл. 1 дано сравнение результатов моделирования диска рабочего колеса ГТД как одной из тестовых задач в T-FLEX Анализ и ANSYS Mechanical.

Расчеты пока проведены в упругой постановке, поскольку вопрос правильного моделирования в T-FLEX Анализ пластичности материала изучается.

Распределение дисциплин по учебным семестрам и разрабатываемое для них методическое обеспечение приведены в табл. 2 и 3. Курсивом выделены методические пособия, которые находятся еще в процессе разработки.

Таблица 1. Среднее расхождение результатов расчета T-FLEX Анализ и ANSYS Mechanical

Параметр		Ротор, %	Лопатка, %	Диск, %
Собственные частоты	среднее расхождение	5 — объемная модель 18 — оболочечная модель	1	-
	максимальное расхождение	11 — объемная модель 26 — оболочечная модель	2	-
Перемещение		-	3	3
Напряжение		-	9	2
Коеф. запаса		-	-	6

Таблица 2. Методическое обеспечение учебных дисциплин младших курсов

Сем.	Дисциплина	Пособия
2	Введение в специальность	Применение иммерсивных технологий для изучения двигателей
2	Ознакомительная практика	Знакомство с моделированием в T-FLEX CAD, представление через T-FLEX VR
4	САЕ-системы в механике деформируемого тела	Упражнения по T-FLEX Анализ от разработчика; Упрощенное моделирование лопатки и диска в T-FLEX CAD
4	Моделирование конструкций с применением инструментов виртуальной реальности	Упражнения по T-FLEX CAD от разработчика

Таблица 3. Методическое обеспечение учебных дисциплин старших курсов

Семестр	Дисциплина	Пособия
5	Кинематика механизмов и машин	Основы кинематического и динамического моделирования в T-FLEX Динамика; Средний уровень КиД моделирования в T-FLEX CAD; Основы кинематического моделирования реактивного сопла в T-FLEX CAD + T-FLEX Динамика
6	Виртуальная и дополненная реальность в разработке цифровых двойников	Моделирование кинематики сектора реактивного сопла в T-FLEX CAD + контроль конструкции T-FLEX VR
6	Основы динамики и прочности	Моделирование колебаний ротора турбомшины в T-FLEX Динамика + T-FLEX Анализ
7	Динамика и прочность двигателей	Моделирование динамики и прочности рабочих колес турбомашин в T-FLEX Динамика + T-FLEX Анализ
7	Цифровые двойники в двигателестроении	Создание цифрового двойника системы «Ротор-Корпус» T-FLEX CAD + T-FLEX Динамика + T-FLEX Анализ
8	Вибрация и прочность двигателей	Рекомендации по созданию виртуального двойника двигателя
8	Конструкция и проектирование основных узлов и систем АД в виртуальной реальности	

Рассмотрим более детально, как в настоящий момент выгля-

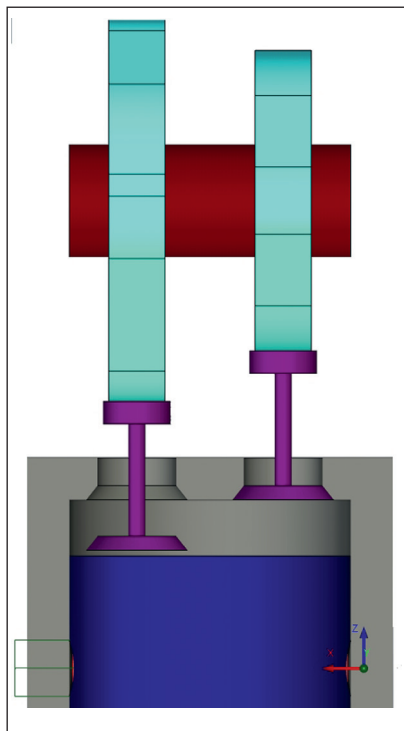


Рис. 3. Сборка кривошипно-шатунного механизма ДВС в T-FLEX CAD

дит образовательная траектория студентов, проходящих обучение по данному профилю.

Знакомство с T-FLEX PLM начинается с «Введения в специальность», где студенты изучают конструкцию двигателей (ГТД, ДВС и РД), используя T-FLEX VR.

Далее в рамках «Ознакомительной практики» они самостоятельно строят в T-FLEX CAD узел двигателя (3D-модель и сборочный чертеж). Типовой пример показан на рис. 3. В качестве спецчасти выполняются расчеты модели в T-FLEX Динамике и T-FLEX Анализе.

На следующем курсе студенты учатся уже профессионально моделировать в T-FLEX CAD и T-FLEX Анализ, используя встроенные в пакет учебные материалы. Кроме того, они выполняют практическую работу по упрощенному моделированию деталей, соответствующих учебному профилю их

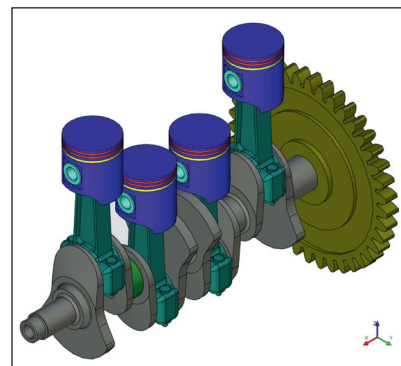


Рис. 4. Фрагмент газораспределительного механизма ДВС в T-FLEX CAD

подготовки. Например, лопатки и диска рабочего колеса.

В дисциплине «Кинематика механизмов и машин» студенты глубоко изучают модуль T-FLEX Динамика, выполняя цикл лабораторных работ по стержневому и объемному моделированию работы механизмов двигателей по вариантам. Например, исследуют движение модели газораспределительного механизма, показанного на рис. 4.

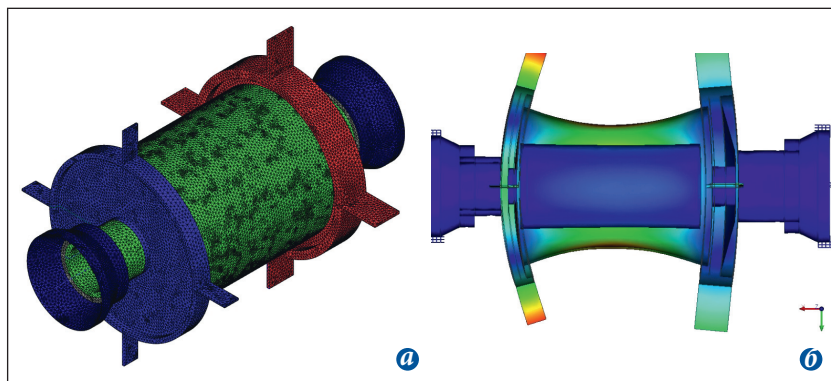


Рис. 5. Моделирование ротора в T-FLEX Анализ: а — конечно-элементная сетка ротора; б — осесимметричные колебания проставки

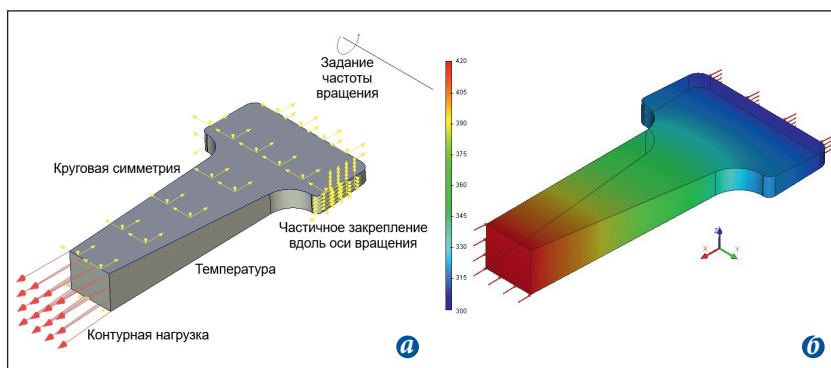


Рис. 6. Моделирование диска рабочего колеса в T-FLEX Анализ: а — задание граничных условий; б — распределение температур по диску

В следующем, шестом семестре студенты выполняют в T-FLEX Динамика моделирование входных и выходных устройств ГТД:

сопла, реверсивного устройства или регулируемых направляющих аппаратов уже реального двигателя.

Также они выполняют расчет критических частот упрощенной модели ротора ГТД, один из вариантов которого показан на рис. 5.

На последнем курсе студенты выполняют прочностное моделирование рабочего колеса (диска и лопатки) ГТД или турбонасосного агрегата. Фрагмент такого расчета показан на рис. 6.

Далее в седьмом и восьмом семестрах студенты, используя полученные знания, подкрепленные прохождением технологической и производственной практики на профильном предприятии, окончательно формируют собственный цифровой двойник заданного изделия, создаваемый параллельно с обучением начиная с шестого семестра. И выходят на защиту своей квалификационной работы.

Таким образом, на базе T-FLEX PLM реализуется сквозное обучение бакалавров по специальности «Двигатели летательных аппаратов», учитывающее современные тенденции в области инженерной работы. ▀

НОВОСТИ

Курс на промышленные регионы России

Компания «Топ Системы» запустила региональную инициативу «T-FLEX PLM шагает по стране». Цель — развитие диалога с промышленными предприятиями регионов. Данный диалог существенно поможет учесть потребности промышленных предприятий и регионов в рамках индустриального подхода к развитию программных решений комплекса T-FLEX PLM. В прошлом году компания «Топ Системы» анонсировала индустриальный подход к формированию собственных PLM-решений и их внедрению у заказчиков, в котором широко применяется концепция системного инжиниринга и предоставление эффективных программных систем для решения актуальных и перспективных задач в различных отраслях промышленности.

В рамках кампании «T-FLEX PLM шагает по стране» проходит серия региональных конференций «Российский программный комплекс T-FLEX PLM:

современные методы и подходы к проектированию изделий». Во время мероприятий рассматриваются темы импортозамещения инженерного программного обеспечения и управления полным жизненным циклом изделия: проекты внедрения комплекса T-FLEX PLM, отечественная параметрическая САПР для проектирования изделий любой сложности, управление инженерными данными и жизненным циклом изделий, система технологической подготовки производства и САМ-система и другие актуальные темы.

Мероприятия уже состоялись в Самаре и Перми, Екатеринбург и Челябинске. Следующие города, которые примут участие в серии, — Уфа, Казань, Санкт-Петербург. Расписание конференций на сайте tflex.com. Выездные мероприятия завершатся главным ежегодным Форумом в Москве, который состоится 29 мая.