



Практическое применение T-FLEX CAD и T-FLEX Анализ для проектирования оснастки испытательной установки

Алексей Плотников, Юрий Кучковский, Сергей Федотов

Введение

Целью проекта является проектирование лабораторной установки для исследования ряда физических характеристик исследуемого материала методом одновременного трехосного сжатия образца кубической формы силой до 100 т.

Для реализации проекта использовались программные продукты комплекса T-FLEX PLM — T-FLEX CAD и T-FLEX Анализ.

Исходные данные для решения задачи

В качестве исходных данных для проектирования и расчетов использовались эскизы и наброски рабочих плит и станины в сборе, предоставленные главным инженером проекта, а также предполагаемые технические характеристики проектируемой установки (см. таблицу).

Кроме того, к конструкции предъявлены следующие требования:

- максимальное отклонение осей штоков гидроцилиндров под нагрузкой — не более 40°, что соответствует смещению 0,05 мм относительно геометрического центра испытуемого образца;
- масса конструкции (установки) должна быть оптимальной,

соразмерной ее силовым параметрам;

- конструкция должна обеспечивать удобство ее обслуживания, максимально возможный эксплуатационный ресурс;
- конструкция должна выдерживать среднее количество циклов нагружения;
- конструкция, по возможности, должна быть изготовлена из наиболее распространенных конструкционных материалов.

На рис. 1 представлен пример прототипа конструкции установки.

Проектирование оснастки испытательной установки в T-FLEX CAD с использованием параметризации

В результате проектирования в T-FLEX CAD была создана 3D-модель оснастки испытательной установки. Фрагменты выполнены параметрическими, созданы окна диалогов управления. Это позволило ускорить работу по оптимизации геометрических размеров и формы элементов конструкции (рис. 2 и 3), а также существенно ускорить выполнение прочностных расчетов в модуле T-FLEX Анализ.

Предполагаемые технические характеристики проектируемой установки

Наибольшее рабочее давление в системе гидропривода, МПа	20
Наибольшая сила сжатия по каждой из осей нагружения, Н	1×10 ⁶
Наибольший рабочий ход нажимных плит, мм	12
Наибольший холостой ход нажимных плит, мм	150
Наибольшая скорость перемещения одной нажимной плиты (при неподвижных двух других плитах), мм/с	16
Наибольшая скорость перемещения нажимных плит (при одновременной работе трех цилиндров), мм/с	5
Наибольшая частота генерации функции нагружения, Гц	0,2
Размеры исследуемых образцов, мм	40×40×40 50×50×50
Давление в сети, атм	300
Ход, мм	120

Расчет и оптимизация конструкции оснастки испытательной установки на прочность в T-FLEX Анализ

Конечно-элементный расчет конструкции установки выполнялся в два этапа:

1. Проверка прочностных характеристик спроектированной установки — оптимизация весовых характеристик и подбор материала исходя из его физико-механических свойств и доступности на рынке.

Алексей Плотников

Инженер
ЗАО «Топ Системы».

Юрий Кучковский

Магистрант кафедры обработки материалов давлением и аддитивных технологий Московского политехнического университета.

Сергей Федотов

Генеральный директор
ООО «Универсальное техническое обслуживание».

2. Измерение углов изворота осей гидроцилиндров под нагрузкой.



Рис. 1. Конструкция установки — прототипа проектируемой испытательной машины

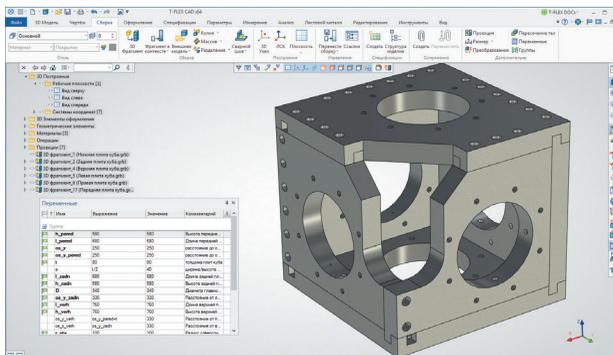


Рис. 2. 3D-модель оснастки испытательной установки

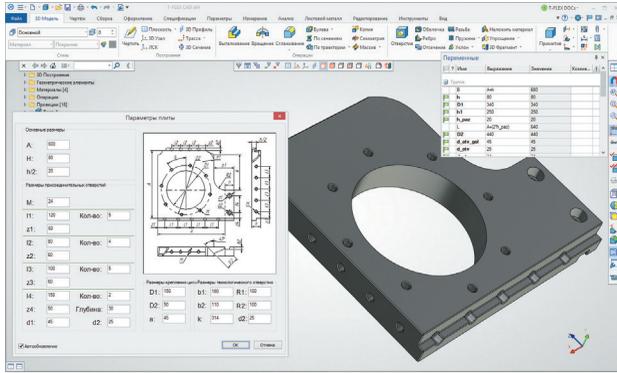


Рис. 3. Параметрический 3D-фрагмент

На первом этапе конструкция нагружалась силой 100 т по каждой оси цилиндра, имитирующей сжатие испытываемого образца (рис. 4).

При выполнении расчетов принимаются следующие допущения и упрощения:

- материал конструкции принимается изотропным, неточности сборки, сварки, концентраторы напряжений, вызванные идеальной геометрией модели, и дефекты материала в расчете не учитываются;
- сварные швы в рассматриваемой конструкции при расчете заменяются «жесткой связью» между свариваемыми элементами. В этом случае тела рассматриваются как связанные; перемещения грани одного тела без каких-либо ограничений передаются граням другого тела;
- расчет прочности конструкции проводится по пределу текучести материала, соответствующему напряжению, при котором начинается пла-

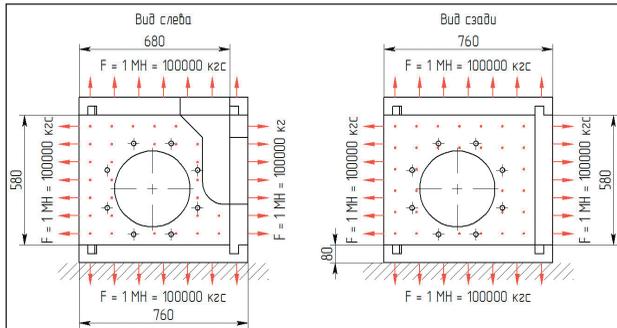


Рис. 4. Схема нагружения плит при КЭ-анализе, поверочный расчет

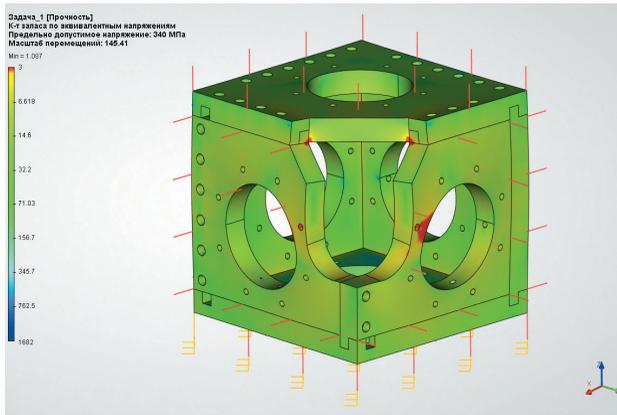


Рис. 5. Оценка коэффициента запаса 1-го варианта конструкции



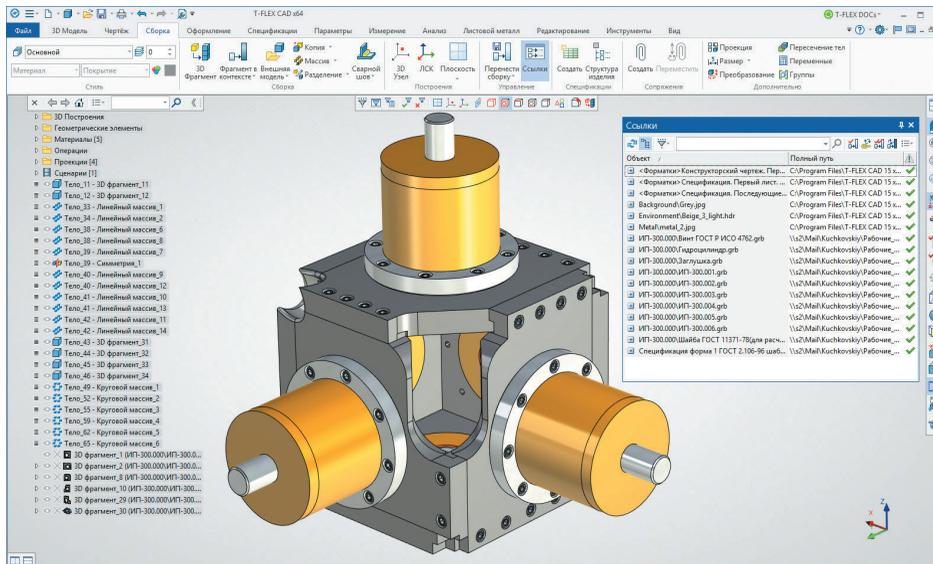


Рис. 6. Оптимизированная 3D-модель оснастки испытательной установки

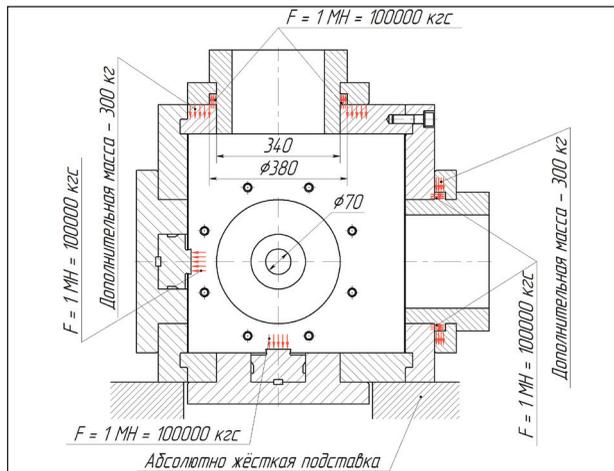


Рис. 7. Схема нагружения плит при КЭ-анализе, оптимизированная модель

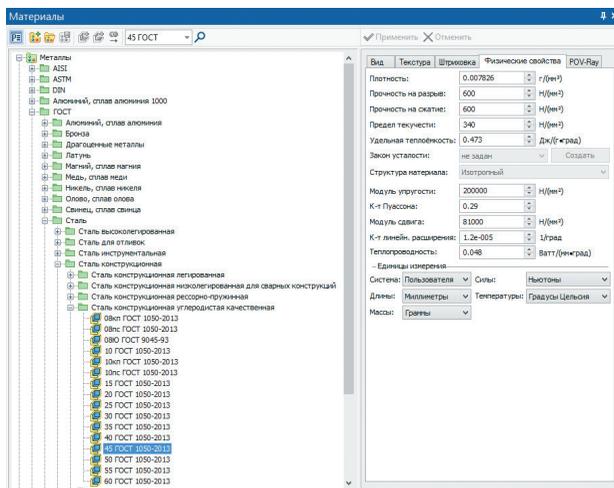


Рис. 8. Физико-механические свойства стали 45, библиотека материалов T-FLEX CAD

шение внести изменения в конструкцию оснастки: добавлены боковые вырезы для облегчения доступа внутрь и фланцы, которые придали дополнительную жесткость и позволили построить более точную 3D-модель (рис. 6), а также составить новую расчетную схему (рис. 7). В качестве материала была выбрана сталь 45 (рис. 8), обладающая достаточными прочностными характеристиками.

На рис. 9 и 10 представлены результаты конечно-элементного анализа доработанной конструкции оснастки испытательной установки.

На втором этапе расчетов выполнялось измерение углов изворота осей гидроцилиндров под нагрузкой.

Для этого на каждом цилиндре были установлены датчики, как показано на рис. 11.

По указанной схеме были рассчитаны углы изворота осей. В процессе конечно-элементного анализа с датчиков были сняты показания перемещений и записаны в переменные. После этого был создан диалог управления, через который были посчитаны суммарные углы изворота (рис. 12).

По результатам расчета значения углов изворота оказались меньше предельно допустимых, что подтвердило правильность выбранной конструкции.

стическая деформация материала;

- прочность конструкции оценивается величиной коэффициента запаса прочности по эквивалентным напряжениям (К.З.П.). По техническому заданию К.З.П. должен быть не менее 1,5.

На основе 3D-модели была построена расчетная конечно-элементная модель, заданы контактные условия и условия нагружения, выполнен поверочный расчет модели, выполнена общая оценка прочности конструкции (рис. 5).

В результате поверочного расчета было принято ре-

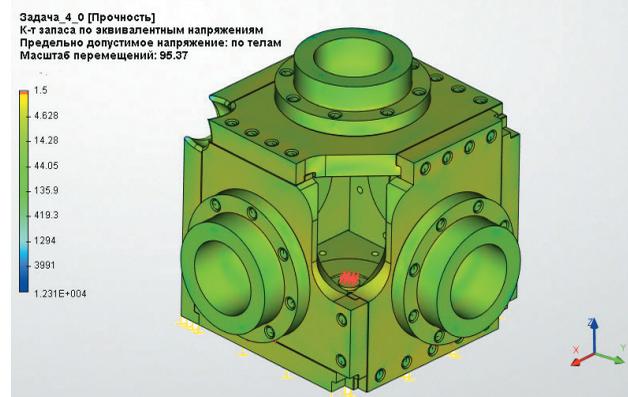


Рис. 9. Эпюра распределения коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям для оптимизированной конструкции; min. К.З.П. не менее 1,5

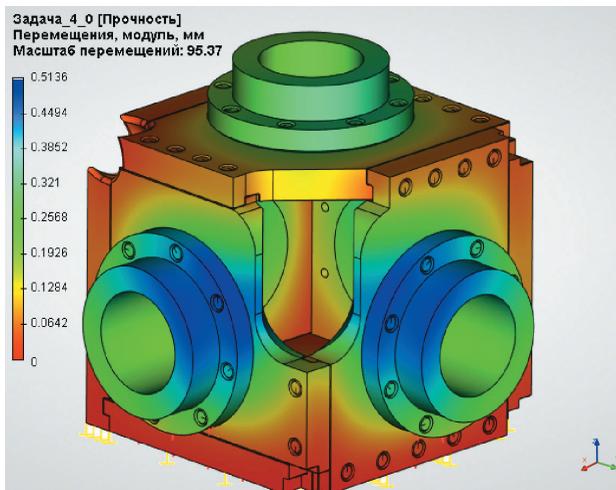


Рис. 10. Эпюра распределения перемещений по толщине деталей, мм

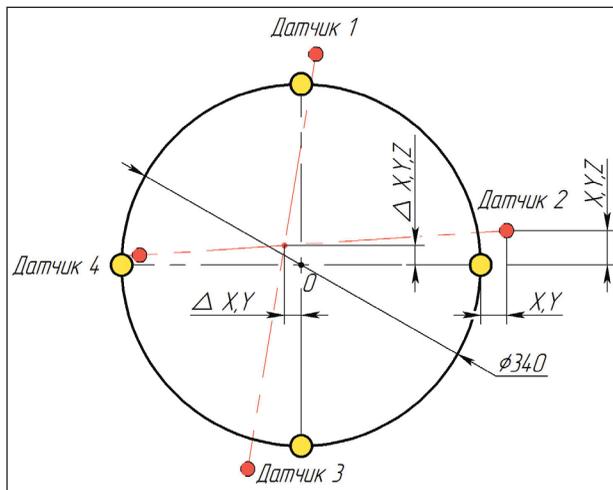


Рис. 11. Схема расчета углов изворота осей гидроцилиндров под нагрузкой

3D-печать прототипа оснастки для проверки схемы сборки

После проведения завершающих расчетов возникла потребность проверки собираемости конструкции. Для этого была использована 3D-печать на установке Designer PRO 250 компании PICASO 3D.

Модель была проверена и экспортирована в STL-формат средствами T-FLEX CAD через диалог 3D-печати (рис. 13).

STL-файлы были загружены в KISSLicer для создания траекторий.

Параметры 3D-печати:

- скорость, внешний периметр — 40 мм/с;
- скорость заполнения — 100 мм/с;
- толщина слоя — 0,25 мм;
- среднее время печати 1-й детали — 5-6 ч.

На рис. 14 представлены результаты 3D-печати оснастки испытательной установки в масштабе 1:5.

В качестве основного материала модели использовался PLA-пластик, в качестве материала поддерживающих структур — PVA-пластик.

Прототип оснастки был довольно легко собран и помог визуально понять и отладить схему сборки, что было отражено в технических требованиях

Имя	Выражение	Значение	Комментарий
dx	distance("Dx1000004"; "Dx2000025")	0.022001	перемещение центра ...
dy	distance("Dy1000003"; "Dy2000025")	0.05	перемещение центра ...
x1	-0.037	-0.037	мм
x2	0.009	0.009	мм
x3	-0.007	-0.007	мм
x4	-0.021	-0.021	мм
y1	-0.003	-0.003	мм
y2	0.049	0.049	мм
y3	0.078	0.078	мм
y4	0.051	0.051	мм
kx	1	1	мм
ky	1	1	мм
l	250	250	мм
max_per	sqrt(dx ² +dy ²)	0.054626	максимальное значе...
alpha	RATAN(max_per/l)*57.2957795131	0.012519	угол излома оси, град.

Исходные данные	
Расстояние до центра пересеч. осей: 250	
1-й датчик	2-й датчик
ΔX : -0.037	ΔX : 0.009
ΔY : -0.003	ΔY : 0.049
3-й датчик	4-й датчик
ΔX : -0.007	ΔX : -0.021
ΔY : 0.078	ΔY : 0.051
<input type="checkbox"/> Симметрично отразить ось X <input type="checkbox"/> Симметрично отразить ось Y	
Результаты расчёта Максимально перемещение (Δ): 0.054626 Угол излома оси (alpha): 0.012519	

Рис. 12. Список переменных для расчета углов изворота и пользовательский диалог

Рис. 13. Экспорт сборки в STL-формат для 3D-печати

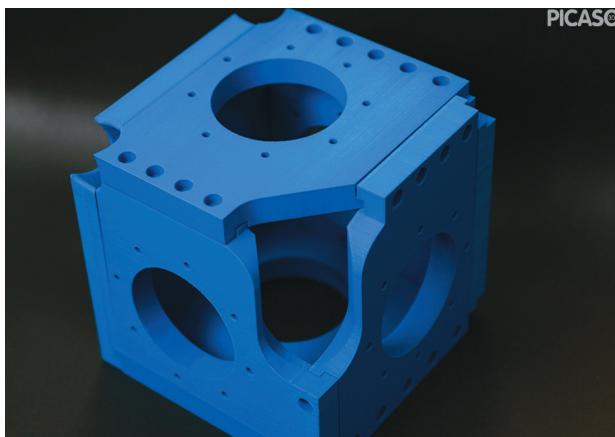
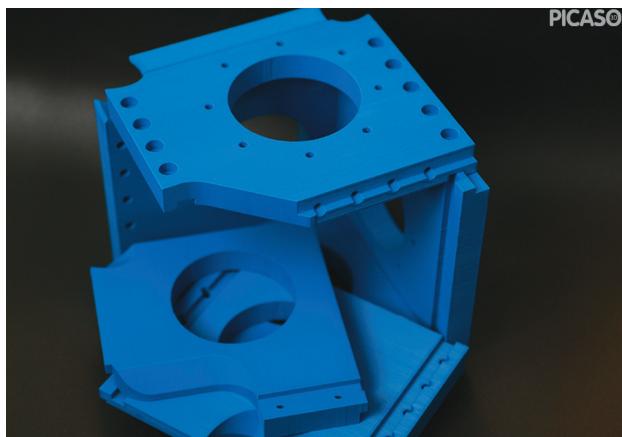


Рис. 14. Результаты 3D-печати на 3D-принтере Designer PRO 250

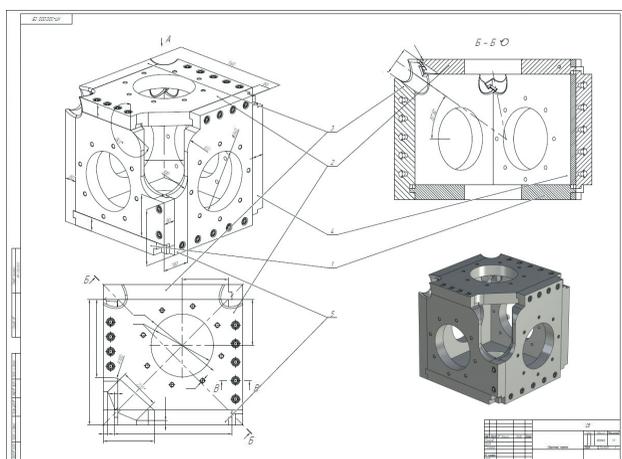


Рис. 15. Сборочный чертеж оснастки для испытательной установки конструкторско-технологической документации на спроектированную оснастку.

Создание комплекта конструкторско-технологической документации для производства опытного образца

В результате проведенных работ был подготовлен комплект конструкторско-технологической документации для производства опытного образца оснастки для испытательной установки (рис. 15).

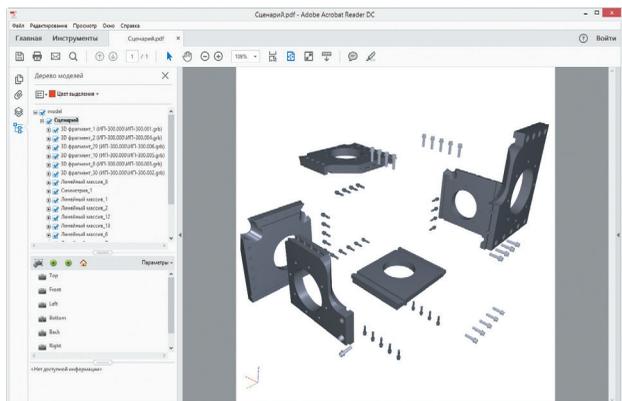


Рис. 16. Анимация сборки оснастки, выгруженная в 3D PDF

Были использованы инструменты для автоматического создания спецификаций, анимация сборки конструкции (выгружена в 3D PDF) — для повышения наглядности сборочного процесса и предотвращения ошибок на производстве, функция создания реалистичного изображения — для формирования отчета для заказчика (рис. 16 и 17).

В настоящее время ведутся работы по подготовке к производству опытного образца.

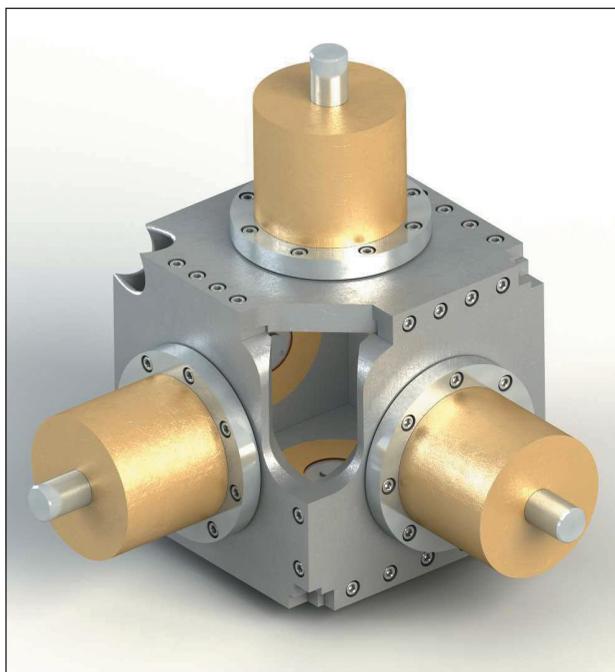


Рис. 17. Реалистичное изображение оснастки (технология Optix)

Заключение

Благодаря широкому набору инструментов, уникальному параметрическому функционалу, а также полной интеграции системы T-FLEX CAD с системой прочностных расчетов T-FLEX Анализ, конструкция универсальной установки была разработана в достаточно сжатые сроки. Не менее важным является и то, что с помощью T-FLEX CAD стало возможным создание твердотельного прототипа оснастки, а также автоматизированное получение полного комплекта конструкторско-технологической документации для производства опытного образца. ▶