

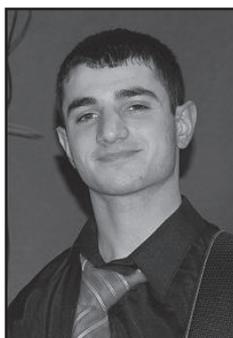


# Программный продукт T-Flex-анализ



Александр ТРУБАЕВ  
Alexander S. TRUBAEV

Армен АЙРАПЕТЯН  
Armen R. AYRAPETIAN



*Трубаев Александр Сергеевич* — кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования транспортных конструкций и сооружений» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

*Айрапетян Армен Рафаелович* — студент МИИТ.

**Особенности программного продукта T-FLEX-анализ с точки зрения его обязательности для инженерных специальностей. При помощи расчетных модулей, интегрированных с системой T-FLEX CAD, комплекс позволяет адекватно воссоздавать условия решаемой физической задачи и реализовывать ассоциативные связи трехмерной проектируемой модели изделия и расчетной конечно-элементной модели.**

*Ключевые слова: T-FLEX-анализ, инженерный проект, моделирование изделия, конечно-элементная модель, преимущества программного продукта.*

**С**уществующие сегодня программные продукты, на наш взгляд, должны оцениваться комплексно. В частности, нельзя не учитывать их обучающий эффект. Именно этот момент стоит подчеркнуть и в том случае, когда речь идет о технологиях и средствах проектирования транспортной техники.

T-FLEX-анализ, будучи целевым программным продуктом, состоит из специализированных расчетных модулей, интегрированных с системой T-FLEX CAD. Все конечно-элементные расчеты осуществляются на моделях, построенных или импортированных в эту систему. T-FLEX CAD позволяет выполнять статические, частотные и тепловые расчеты, проводить анализ устойчивости конструкций.

В распоряжении пользователя находятся:

- экспресс-анализ;
- статический анализ;
- частотный анализ;
- анализ устойчивости;
- тепловой анализ;
- простота постановки задач;
- преимущества препроцессора

T-FLEX-анализ;

- высокоэффективный генератор конечно-элементных сеток;
- простота анализа результатов;
- расчёты сборочных конструкций и контактные задачи;
- интеграция тепловых расчетов с модулями механических расчётов.

От специалиста-расчётчика требуется корректно задать условия моделируемой физической задачи и осуществить расчёт. При этом между трёхмерной моделью изделия и расчётной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твёрдотельной модели автоматически переносятся на сеточную конечно-элементную модель. Все действия выполняются непосредственно в интерфейсе T-FLEX CAD.

### Экспресс-анализ

Предназначен для выполнения статических расчётов на прочность. С помощью этого модуля оцениваются прочностные характеристики деталей машиностроительных конструкций, вероятность деформаций. Такой оперативный анализ является хорошим средством для начального освоения приёмов работы с современными системами конечно-элементного моделирования. Модуль входит в стандартную поставку T-FLEX CAD.

### Статический анализ

Позволяет рассчитать напряжённое состояние конструкций под действием постоянных сил. При задании граничных условий используются различные виды нагрузки (сила, давление, крутящий момент и другие) и закреплений (полное, частичное).

Прочность разработанной конструкции оценивается по допускаемым напряжениям, перемещениям, деформациям. Система позволяет определить наиболее уязвимые места конструкции и внести необходимые изменения, оптимизировать изделие.

### Частотный анализ

Задача расчёта собственных частот и соответствующих им форм колебаний возникает во многих практических случаях, связанных с анализом динамического поведения конструкции под действием переменных нагрузок. Наиболее распространённая ситуация, когда при проектировании

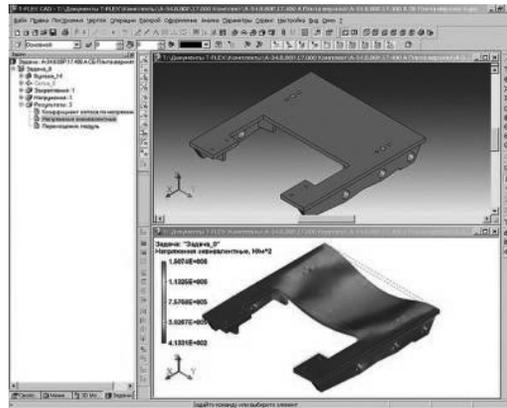


Рис. 1.

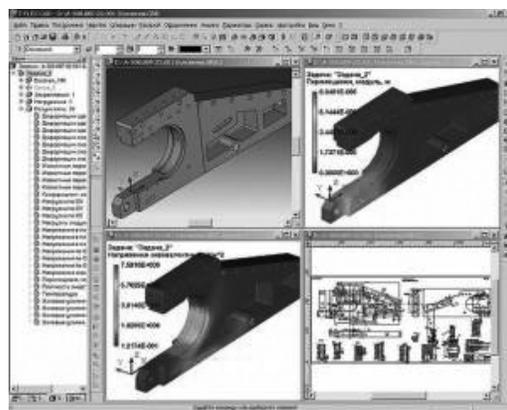


Рис. 2.

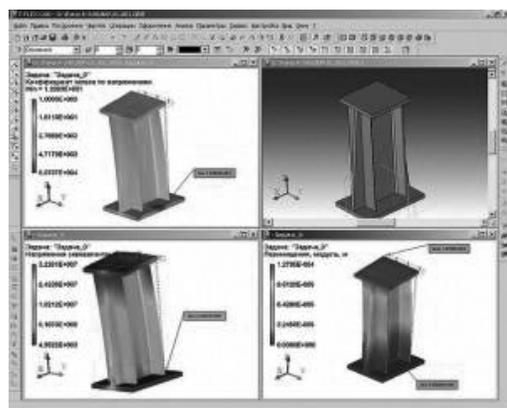


Рис. 3.

нужно убедиться в малой вероятности появления в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс. Осуществляя проверку наличия резонансных частот в рабочем частотном диапазоне изделия и оптимизируя конструкцию таким образом, чтобы исключить возникновение резонансов, проектировщик может повысить надёжность и работоспособность



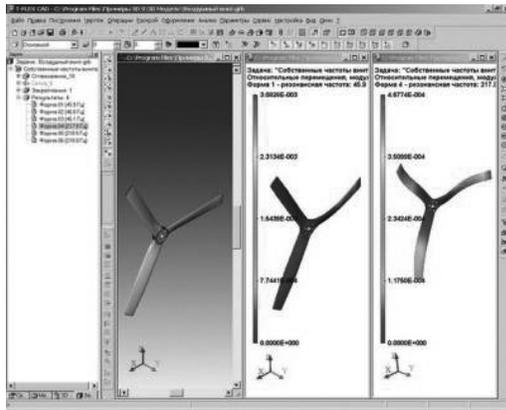


Рис. 4.

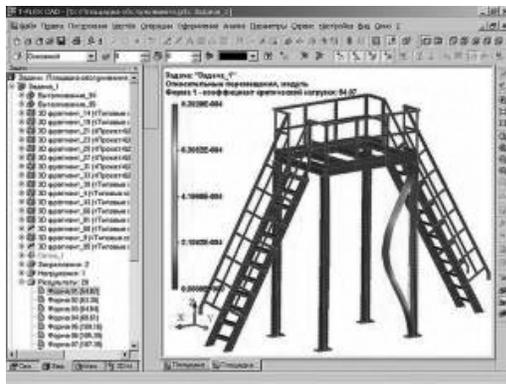


Рис. 5.

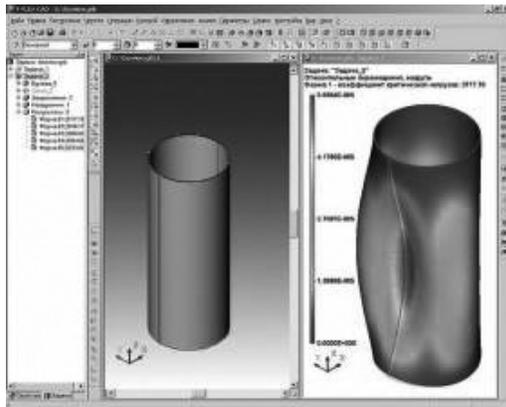


Рис. 6.

создаваемого изделия.

**Анализ устойчивости**

Необходимость в оценке устойчивости конструкций возникает перед расчётчиком регулярно, особенно если изделие имеет много длинных или тонкостенных элементов, нагружаемых в процессе эксплуатации преимущественно вдоль своей оси или плоскости.

С помощью данного модуля пользователь определяет запас прочности по кри-

тической нагрузке — той, когда в конструкции могут скачкообразно обозначиться значительные неупругие деформации, приводящие к её разрушению или серьёзному повреждению.

При сжимающих силах, даже незначительно превышающих критическое значение, дополнительные напряжения изгиба достигают весьма больших величин и угрожают прочности конструкции. Поэтому критическое состояние, непосредственно предшествующее разрушению, считается недопустимым в процессе реальной эксплуатации. Явления потери устойчивости весьма разнообразны: появление качественно новых форм равновесия; исчезновение устойчивых форм равновесия и др.

**Тепловой анализ**

Оценивает температурное поведение изделия под действием источников тепла и излучения. В T-FLEX-анализе задача теплопроводности имеет две постановки.

**Стационарная теплопроводность** предполагает расчёт установившихся (стационарных) температурных полей конструкции под действием приложенных тепловых граничных условий. Подразумевается, что тепловые нагрузки существуют неопределенно долгое время, система пришла в равновесное состояние и температурные поля не изменяются во времени — в каждой точке системы температура имеет своё установившееся значение.

**Нестационарная теплопроводность** имеет в виду расчёт температурных полей конструкции в зависимости от времени, то есть температурные нагрузки приложены относительно недавно, и в системе происходит перераспределение температурных полей — иначе говоря, наблюдается переходный процесс. Такая ситуация характерна, когда тело испытывает нагрев или охлаждение, т.е. его температуры изменяются с течением времени. В качестве граничных условий фигурируют понятия: температура, тепловой поток, конвективный теплообмен, тепловая мощность, излучение.

Тепловой анализ может использоваться самостоятельно для расчёта температурных или тепловых полей по объёму конструкции, а также совместно со статическим анализом для оценки возникающих в изделии температурных деформаций.

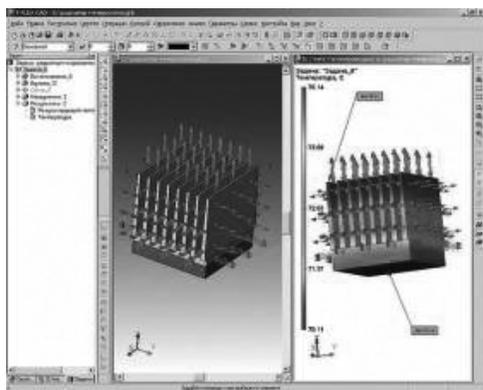


Рис. 7.

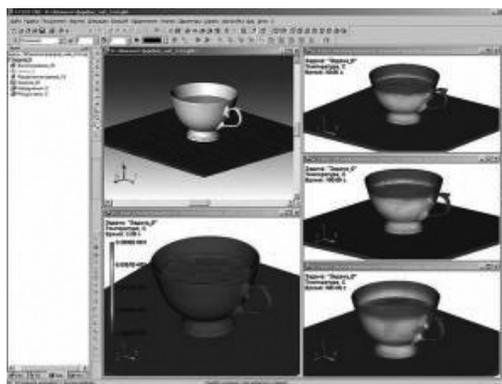


Рис. 8.

### Простота постановки задач

Для работы с системой не требуется глубокое знание принципов конечно-элементного анализа. Все расчёты выполняются в знакомом пользователю интерфейсе T-FLEX CAD, и здесь достаточно базовых знаний в предметной области. Чтобы осуществить необходимые операции, никакой специализированной модели не нужно. В расчёте используется конструкторская модель T-FLEX CAD или трёхмерная геометрия, импортированная из других систем. Все команды для задания граничных условий и выполнения предусмотренных действий представлены в обычных меню. Параметры и результаты расчёта отображаются в модельных окнах конструкторской системы и сохраняются в файле трёхмерной модели.

### Преимущества препроцессора T-FLEX-анализ

Их определяют прежде всего четыре позиции:

- а) управление задачами через графический интерфейс;
- б) функции копирования и изменения типов задач;
- в) неограниченное количество задач любых типов в одном файле;
- г) сохранение задач и результатов расчётов в файле модели.

### Высокоэффективный генератор конечно-элементных сеток

T-FLEX-анализ использует автоматическое построение адаптивной конечно-элементной сетки с большим набором управляющих параметров, позволяющих

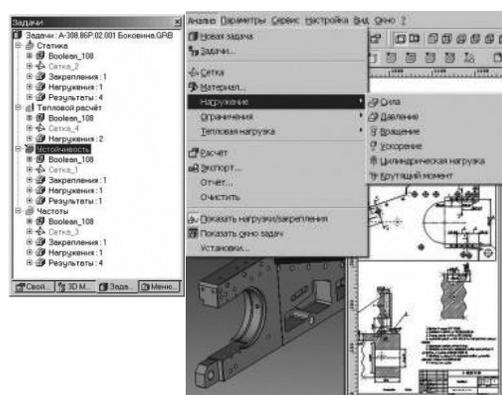


Рис. 9.

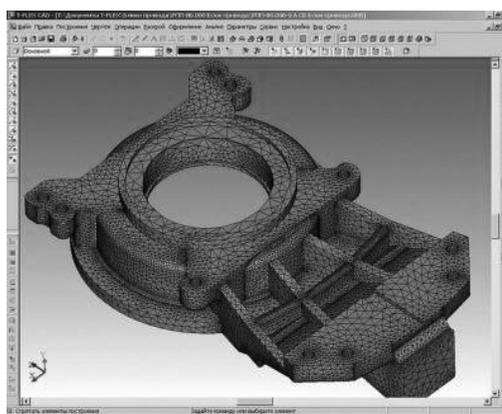


Рис. 10.

гибко настраивать систему на получение наиболее качественных результатов. В создании сетки участвуют тетраэдральные четырёхузловые и десятиузловые элементы..

### Простота анализа результатов

Качественный и простой в использовании постпроцессор обеспечивает эффек-



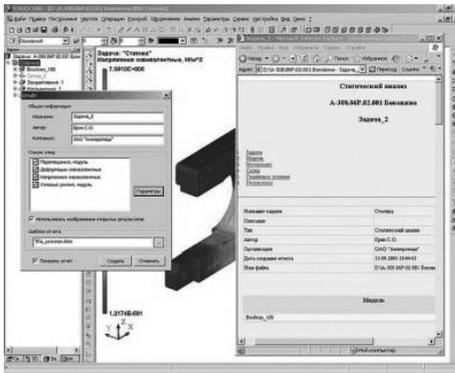


Рис. 11.

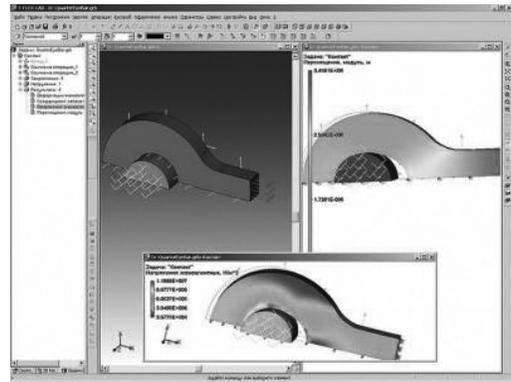


Рис. 12.

тивный анализ и управление результатами конечно-элементного моделирования.

Постпроцессор T-FLEX-анализ имеет:

- удобный многооконный интерфейс, позволяющий одновременно отображать различные окна результатов;
- гибко настраиваемое цветовое отображение полей результатов;
- динамическое зондирование результатов по указанию курсором манипулятора-мышь;
- функции анимации;
- генератор отчетов в файл html-формата.

#### Расчёты сборочных конструкций и контактные задачи

T-FLEX-анализ позволяет рассчитывать сборочные конструкции с учётом свойств материалов деталей и условий контактов между деталями.

#### Интеграция тепловых и механических расчётов

Результаты тепловых расчётов могут быть использованы для оценки напряженного состояния и деформации конструкций, возникающих из-за неравномерных температурных полей.

#### Преимущества программного продукта T-FLEX-анализ

Минимизированы затраты времени на ввод информации об изделии в систему конечно-элементного анализа.

Модель передаётся для осуществления расчётов максимально точно, отсутствуют погрешности экспорта-импорта моделей через универсальные обменные форматы.

Сохраняется ассоциативная связь расчётной математической модели и электронной объёмной модели изделия за счёт прямой программной интеграции. Это даёт возможность при изменении размеров анализируемого изделия обновить конечно-элементную модель и сразу же получить актуальные результаты расчёта. Исключается необходимость повторно осуществлять ввод геометрии или импорт, задание граничных условий и т. п. Это значительно сокращает сроки расчётов нескольких вариантов и выбора среди них оптимального.

Мы считаем, что T-FLEX-анализ является именно тем программным продуктом, который должны изучать студенты инженерных специальностей. ●

## T-FLEX ANALYSIS SOFTWARE

**Trubaev, Alexander S.** – Ph. D. (Tech), associate professor at the department of computer-aided design systems of transport structures and installations of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

**Ayrapetian, Armen R.** – student of the Institute of tracks, construction and installations of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

*The authors consider the features of T-FLEX-analysis software, which make it obligatory for engineer training. They argue that some computation modules integrated with T-FLEX CAD permit adequate simulation of physical problem specification as well as realization of associative links of 3D model of a designed product and of a calculated finite-element model.*

*Keywords: T-FLEX analysis, engineering project, product modeling, finite-element model, software advantages.*

*Координаты авторов (contact information): Трубаев А. С. – ultima@list.ru, Айрапетян А. Р. – armen.gen@mail.ru*