



# Практическое применение T-FLEX CAD для проектирования и расчета дорожных конструкций

Валерий Бутыхов, Алексей Плотников

## Введение

Весы для определения массы автомобилей хорошо известны своей сложностью и высокими требованиями к точности результатов. Такие весы можно увидеть в местах, где движение транспортных средств ограничено их фактической массой — например, вблизи мостов и других дорожных сооружений (эстакады, путепроводы, ледовые переправы и т.д.). Система позволяет точно и оперативно проверять каждое транспортное средство, проходящее через весы, и определять нагрузку на оси, массу, габариты и прочие характеристики. Пренебрежительное отношение к соблюдению условий перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов приводит к выходу из строя искусственных сооружений и преждевременному разрушению дорожного покрытия.

В текущей статье описывается проектирование и оптимизация конструкции дорожных весов с использованием программного комплекса T-FLEX.

## Исходные данные для решения задачи

Проектируемая установка для измерения веса транспортного средства (далее — дорожные весы) предназначена для измерения и фиксации нагрузок на ось движущегося транспортного средства с частотой 100 кг/с в пределах от 2 до 200 кН при скорости движения транспортного средства от 5 до 150 км/ч.

При проектировании конструкции учитывались следующие требования:

- предел измерения прикладываемой нагрузки — от 0,2 до 20 т;
- погрешность измерения нагрузки — не более 3,0%;
- вес измерительной платформы — не более 500 кг;
- температура окружающей среды для измерительной платформы — от -40 до +50 °С;
- основной режим работы — непрерывный: платформа

устанавливается в дорожное полотно вровень с дорожным покрытием;

- электропитание системы осуществляется от внутренних источников компьютера.

## Проектирование конструкции в T-FLEX CAD, использование параметризации

Проектирование конструкции велось на основании ранних разработок Института проблем механики им. А.Ю. Ишлнского РАН,

первые варианты которых отличались низкой технологичностью и скоростью производства.

В результате проектирования и оптимизации в T-FLEX CAD была создана 3D-модель конструкции дорожных весов (рис. 1), которая позволила оценить массогабаритные характеристики измерительной платформы и подготовить расчетную модель для дальнейших исследований.

Особенностью конструкции являются наличие упругих элементов различной ширины, уменьшаю-

### Валерий Бутыхов

Инженер-технолог,  
ООО «Перфолинк».

### Алексей Плотников

Инженер компании  
ЗАО «Топ Системы».

щей по мере удаления упругого элемента от блока измерения (рис. 2).

Упругие элементы имеют одинаковую толщину и угол наклона к основанию и переменную ширину. Основная задача при проектировании заключалась в подборе

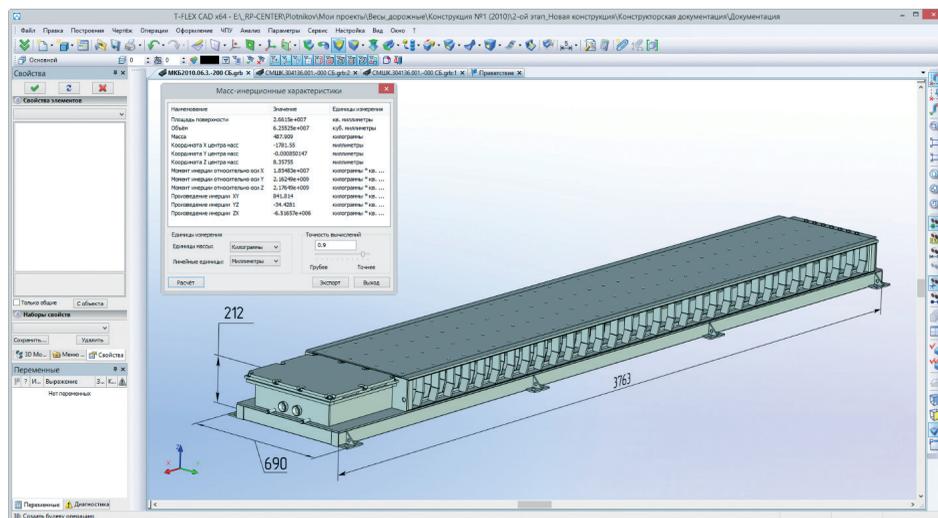


Рис. 1. 3D-модель конструкции дорожных весов

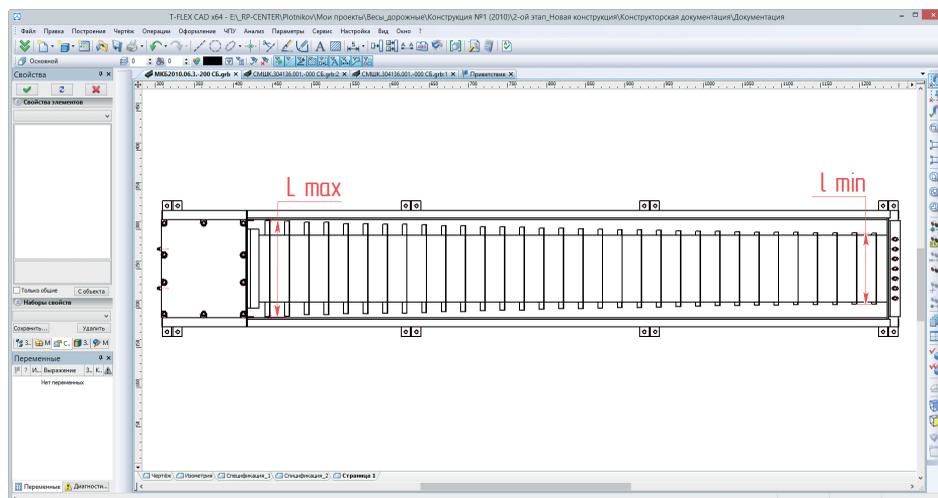


Рис. 2. Сборочный чертеж конструкции

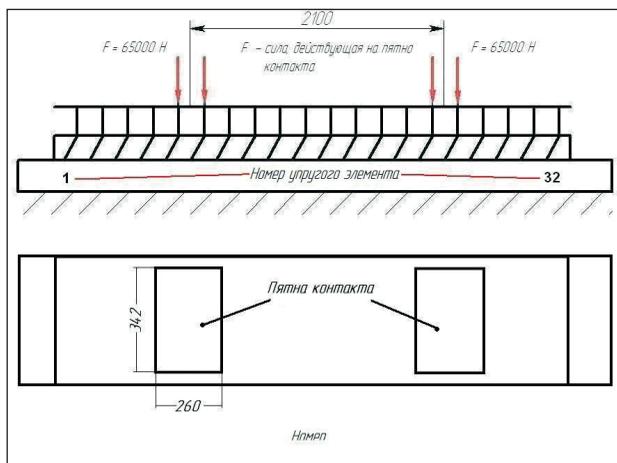


Рис. 3. Схема нагружения измерительной платформы

ширины упругого элемента для обеспечения точного измерения перемещений при наезде на платформу транспортного средства.

Модель была выполнена параметрической, что позволило довольно быстро оптимизировать массу изделия и подготовить данные для конечно-элементного анализа конструкции.

### Расчет конструкции на прочность и расчет перемещений упругих элементов в T-FLEX Анализ

Первоначально измерительная платформа была рассчитана на прочность при помощи модуля T-FLEX Анализ. При этом были приняты определенные условия нагружения.

Весы устанавливаются в полосе движения в один уровень с дорожным покрытием. Поток транспортных средств перемещается по полосе: каждое транспортное средство проезжает по установленным в полосе дорожным весам. При этом осуществляется измерение веса движущегося транспортного средства.

Рабочие нагрузки действуют на площадь, соответствующую ширине колеи транспортного средства. Все расчеты выполнены в предположении, что измерение веса происходит в момент полного заезда одной из осей транспортного средства на измерительную платформу. Рассмотрен статический режим нагружения конструкции дорожных весов. Поверочный расчет усталостной прочности выполнен для элементов конст-

рукции весов с минимальным коэффициентом запаса прочности (К.П.З.).

Для расчетов на основе ранее спроектированной 3D-модели была подготовлена оптимизированная конечно-элементная модель.

Схема и условия нагружения измерительной платформы показаны на рис. 3.

Расчетным случаем для дорожных весов был выбран случай условной остановки транспортного средства по центру измерительной платформы. При этом на измерительной платформе одновременно находятся два колеса автомобиля, расположенные на одной оси.

Внешняя нагрузка, эквивалентная максимальному весу грузового автомобиля КАМАЗ, то есть 20 т, равномерно прикладывается к площадям, имитирующим пятна контакта передних либо задних колес (случай предельного нагружения). Также принимаем, что на переднюю либо заднюю ось действует нагрузка, равная 13 т. Ширина колеи автомобиля КАМАЗ составляет 2,1 м.

Площадь пятна контакта колеса рассчитывалась по формуле:

$$S = \frac{F}{P},$$

где  $S$  — площадь пятна контакта,  $m^2$ ;

$F$  — сила, приложенная к этой площади, Н;  $F = F_{max} = 65\ 000$  Н;

$P$  — давление в колесе,  $H/m^2$ ;  $P = 73 \times 10^4$   $H/m^2$ .

Получаем, что площадь пятна контакта  $S = 8692 \times 10^{-5}$   $m^2$ .

При ширине колеса 0,26 м и площади пятна контакта  $S = 8692 \times 10^{-5}$   $m^2$  расчетное пят-

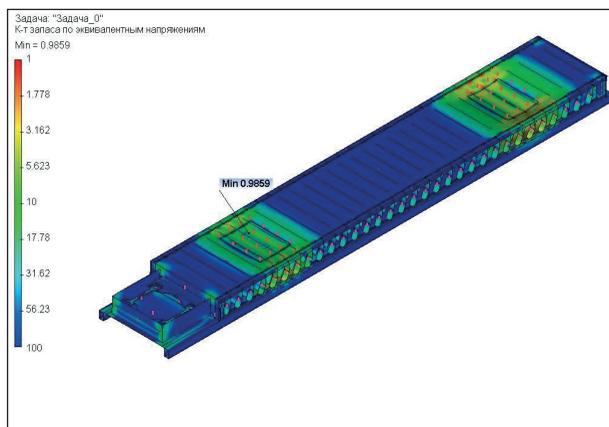


Рис. 4. Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям измерительной платформы, материал — сталь 12Х18Н10Т; К.З.П. = 0,9859

но контакта принимается в виде прямоугольной области длиной 0,342 м и шириной, равной ширине колеса, то есть 0,26 м.

Расчеты проводились для конструкции из сталей разных марок; результаты приведены на рис. 4-6.

Полученные данные позволили выбрать материал и оптимизировать толщину элементов конструк-

ции при известном предельном весе конструкции и минимальном коэффициенте запаса.

### Оптимизация конструкции изделия на основании расчетных данных в T-FLEX CAD и T-FLEX Анализ

На следующем этапе проектирования решалась основная задача

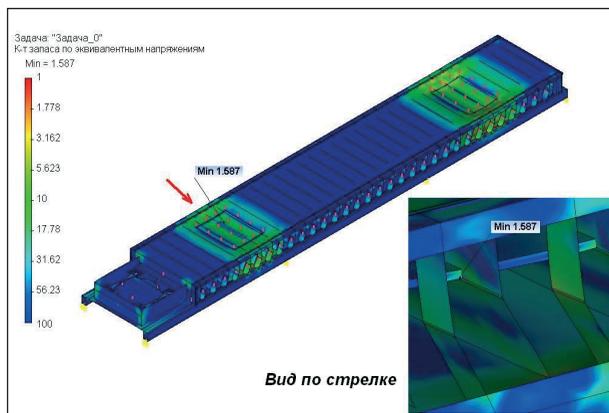


Рис. 5. Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям измерительной платформы, материал — сталь 09Г2С; К.З.П. = 1,587

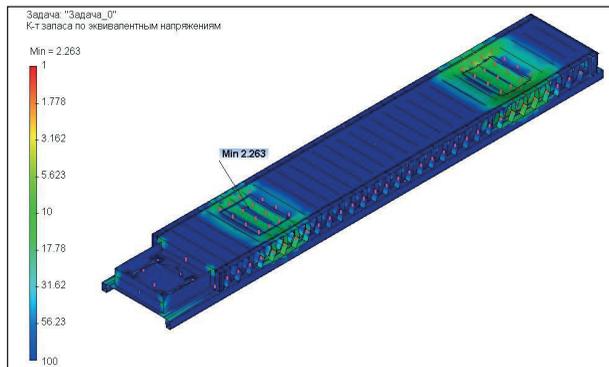


Рис. 6. Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям измерительной платформы, материал — сталь 30ХГСА; К.З.П. = 2,263

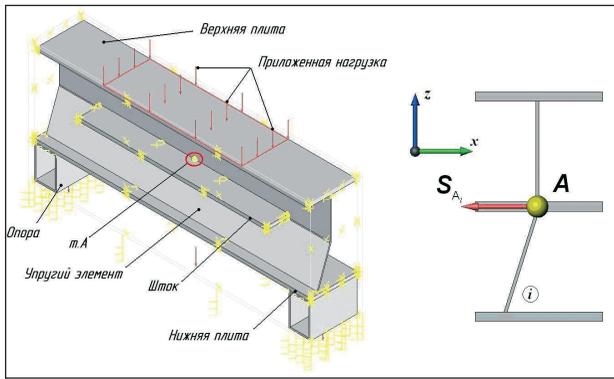


Рис. 7. Расчетная модель упругого элемента

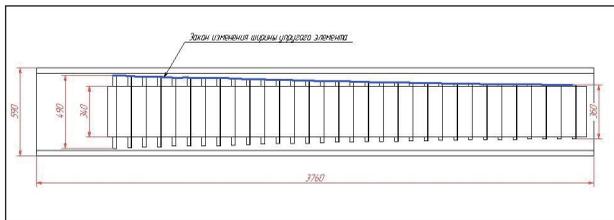


Рис. 8. График зависимости перемещения упругого элемента от порядкового номера упругого элемента

проекта — подбор ширины упругих элементов для измерительной платформы. Для этого была построена параметрическая конечно-элементная модель упругого элемента, схема которого приведена на рис. 7.

Упругие элементы должны быть установлены таким образом, чтобы перемещение каждого из элементов в точке А (см. рис. 7) было одинаковым. Это достигается путем изменения ширины упругого элемента. Таким образом, каждый упругий элемент является уникальным и имеет собственную ширину.

В результате выполнения серии расчетов упругих элементов (32 расчета — по количеству элементов в конструкции) была по-

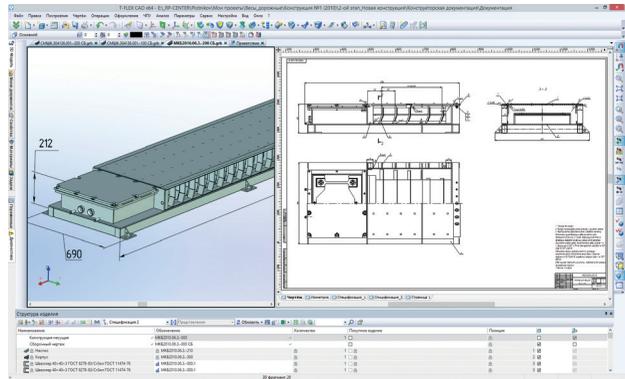
лучена зависимость перемещения упругого элемента от порядкового номера упругого элемента (рис. 8).

Зависимость ширины упругого элемента от места его положения на измерительной платформе является нелинейной функцией. Полученные расчетные значения ширины упругого элемента (см. рис. 8) аппроксимированы полиномом 4-й степени:

$$y = A_4x^4 + A_3x^3 + A_2x^2 + A_1x + A_0,$$

где  $y$  — ширина упругого элемента;  $x$  — порядковый номер упругого элемента.

На основании полученных данных в модель измерительной платформы, выполненной в T-FLEX CAD, были внесены изменения — значения ширины упругих элемен-



№	Изм.	Изменение	Контракт	Дата	Исполн.
Листовая					
1		Изм. 2010.06.3-200.06	Сборочный чертеж	40.43	
Сборочные изделия					
AS 1		ИМС.2010.06.3-210	Настя	1	
AS 2		ИМС.2010.06.3-300	Корпус	1	
Изделия					
PH 3		ИМС.2010.06.3-0001	Швеллер 40-40-3 ГОСТ 8278-83/1м.м	1=130	мм
KA 4		ИМС.2010.06.3-201	ГОСТ 7874-76	4	
KA 5		ИМС.2010.06.3-202	Пластина сталь	32	
KA 6		ИМС.2010.06.3-202-1	Пластина сталь	32	
KA 7		ИМС.2010.06.3-3001	Уголок 45х45х5 ГОСТ 8502-86	2	
KA 8		ИМС.2010.06.3-302	В.т.м.с ГОСТ 535-88 Швеллер	1	
Стандартные изделия					
PH 9		ИМС.2010.06.03-0001	Гайка М10-6H 35К1016 ГОСТ 5935-70	7	

Рис. 10. Конструкторско-технологическая документация

тов конструкции были взяты из расчетных данных (рис. 9).

### Подготовка комплекта конструкторско-технологической документации для изготовления опытного образца

На основании полученных данных был подготовлен комплект конструкторско-технологической документации для производства

опытного образца измерительной платформы (рис. 10).

Для сборки использовались библиотека стандартных элементов и механизм автоматической генерации спецификаций. Вкупе с параметризацией всё это позволило выполнить поставленные задачи очень быстро.

### Изготовление опытного образца

На завершающем этапе проекта был изготовлен опытный

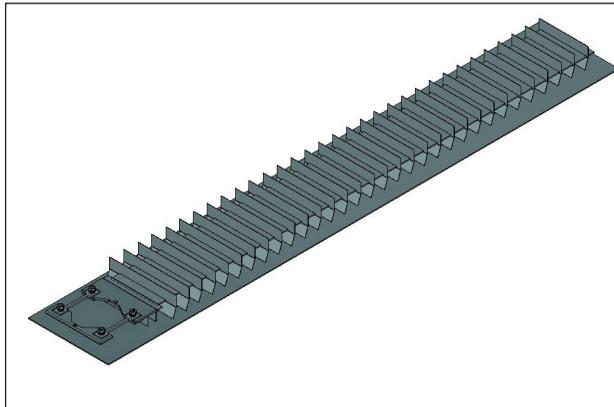


Рис. 9. Измерительная платформа новой конструкции



Рис. 11. Опытный образец измерительной платформы

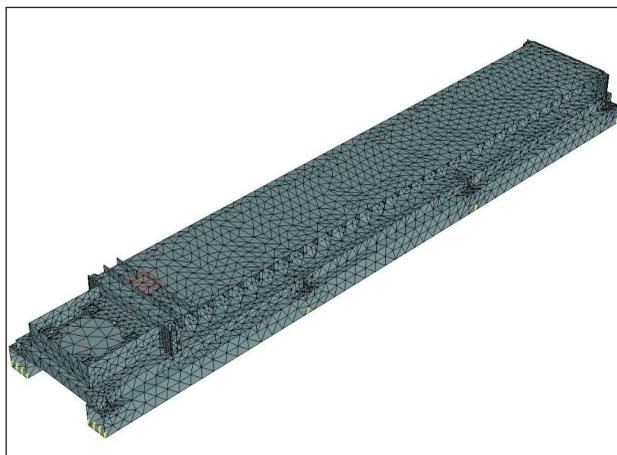


Рис. 12. Конечно-элементная модель конструкции

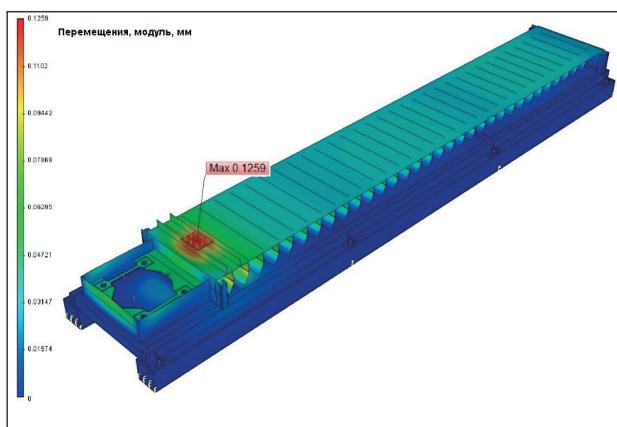


Рис. 13. Результат расчета системы T-FLEX Анализ

образец измерительной платформы. Изделие было подвергнуто нагружению по схеме, построенной для T-FLEX Анализа (рис. 11).

Опытный образец был подвержен нагружению — для проведения тарировки датчиков и настройки положения упругих элементов. Параллельно с помощью T-FLEX Анализа была построена аналогичная модель для выполнения тарировки в виртуальной среде (рис. 12 и 13).

В результате натурных и виртуальных нагружений было принято решение оптимизировать конструкцию путем добавления дополнительных упругих элементов — для того чтобы нагрузочная характеристика установки для измерения веса транспортных средств имела линейный характер. Вспомогательные упругие элементы могут иметь различные углы наклона (в пределах от 0 до 7°) и/или различные значения ширины.

### Заключение

Продемонстрированный в публикации пример показывает, что применение программ комплекса T-FLEX в сфере проектирования и расчета конструкций очень эффективно. Использование T-FLEX CAD позволяет построить расчетные модели исследуемых дорожных конструкций, T-FLEX Анализ дает возможность провести анализ их напряженно-деформируемого состояния и устойчивости в условиях эксплуатации.

Системы полностью соответствуют требованиям государственных стандартов и правил, относящихся как к оформлению конструкторской документации, так и расчетных алгоритмов.

Таким образом, применение программного комплекса T-FLEX ведет к существенному снижению трудозатрат, позволяет сократить сроки проектирования и значительно уменьшает вероятности ошибок при проектировании. ➤

# T-FLEX

Приглашаем принять участие в конференции

Созвездие САПР

«Настоящее и будущее российского PLM»

7-9 октября 2015

«АТЛАС ПАРК ОТЕЛЬ», Подмосковье

В программе:

- ✦ Актуальная информация о новейших разработках T-FLEX
- ✦ Отечественная интегрированная инженерная программная платформа – объединение ведущих российских разработок в области PLM
- ✦ Опыт реальных проектов внедрения комплекса T-FLEX PLM

А так же «круглые столы», дискуссии, «вопросы-ответы», неформальное общение.

Подробности: [www.tfex.ru](http://www.tfex.ru)

Топ Системы

+7 (499) 973-20-34, 973-20-35