

**РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ  
ОГРАЖДЕНИЙ**

**ON THE STUDY OF THE STRENGTH OF ROAD FENCES**

**А.Л. Кисельков**, зам. нач. отдела моделирования и виртуальных испытаний, **С.А. Фандо**, науч. сотр.,  
**А.О. Шукюров**, мл. науч. сотр.,

ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь

A. Kiselkov, deputy chief of department of virtual resting and computer simulation, S. Fando, researcher, A. Shukurov, junior researcher, State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

*В статье приведен пример компьютерного моделирования (виртуальных испытаний) барьерных ограждений по основным потребительским характеристикам (динамический прогиб и рабочая ширина) на основе ГОСТ 33129-2014 и их валидации в соответствии с результатами натурных испытаний. Представлены основные этапы создания и настройки компьютерной модели, описания граничных и начальных условий проведения виртуальных испытаний на примере столкновения автобуса с барьерным ограждением. Моделирование выполнено в программах ANSYS Workbench и LS-PrePost. Расчеты выполнены в LS-DYNA.*

*The article gives an example of computer simulation (virtual testing) of barrier fences according to the main consumer characteristics (dynamics deflection and working width) based on GOST 33129-2014 and their validation in accordance with the results of field tests. The main stages of creating and configuring a computer model, describing the boundary and initial conditions for conducting virtual test on the example of a bus collision with a barrier fence are presented. The simulation was performed in the ANSYS Workbench and LS-PrePost programs. Calculations performed in LS-DYNA.*

Ключевые слова: компьютерное моделирование, виртуальные испытания, метод конечных элементов, боковое ограждение, прочностной расчет, напряженно-деформированное состояние, динамический прогиб, ANSYS, LS-DYNA, Ls-PrePost

*Key words: computer modeling, virtual testing, finite element method, side railing, strength analysis, stress-strain state, dynamic deflection, ANSYS, LS-DYNA, Ls-PrePost*

## ВВЕДЕНИЕ

На дорогах общего пользования и мостовых сооружениях в связи с метеорологическими условиями или при допущении ошибки водителем транспортного средства, существует вероятность выезда за пределы дорожного полотна, либо опрокидывания с мостового сооружения. С целью удерживания и ограничения для автомобилей, пешеходов, животных на дорогах общего пользования и мостовых сооружениях устанавливают дорожные ограждения.

На сегодняшний день наиболее эффективным подходом при оценке работоспособности такой сложной конструкции является компьютерное моделирование, которое позволяет на стадии проектирования нового изделия провести ряд виртуальных испытаний эквивалентных натурным, но при этом со значительно меньшими материальными и временными затратами

Соответствие результатов виртуальных испытаний результатам натурных испытаний обусловлено корректным созданием компьютерной модели, применением соответствующих методов моделирования, исходных данных.

## АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПОРЯДКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ГОСТ 33129-2014

Согласно ГОСТ 33129-2014 [1] разрешается использовать расчетные данные, полученные с использованием программных комплексов инженерного анализа преимущественно для процесса контроля, либо, при внесении небольших изменений конструкции, поправок на климатические условия, дорожное полотно и т.д. Допускаемая погрешность в результатах по проверяемым характеристикам от 10 % до 15 %. Результаты признаются достоверными, если изменения геометрических параметров конструкции, материалов элементов, параметров грунта или дорожного покрытия в сумме не превышают 30 % совокупного значения меняющихся характеристик.

## ЗАДАНИЕ СЦЕНАРИЯ НАГРУЖЕНИЯ И ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Расчеты по определению динамического прогиба и рабочей ширины ограждения проводились путем численного решения нелинейных нестационарных задач механики сплошных сред и дискретных тел в нелинейной постановке.

Моделирование проводилось для ограждения с уровнем удерживающей способности У5, энергия удара составляет 350 кДж. На основании энергии удара была принята полная масса и скорость автобуса 13 т и 77 км/ч соответственно, автобус двигался под углом  $20^{\circ}$  к продольной оси ограждения [1]. Расчетный режим и схема нагружения соответствуют результатам натурального эксперимента. Схема проведения виртуального эксперимента представлена на рисунке 1.

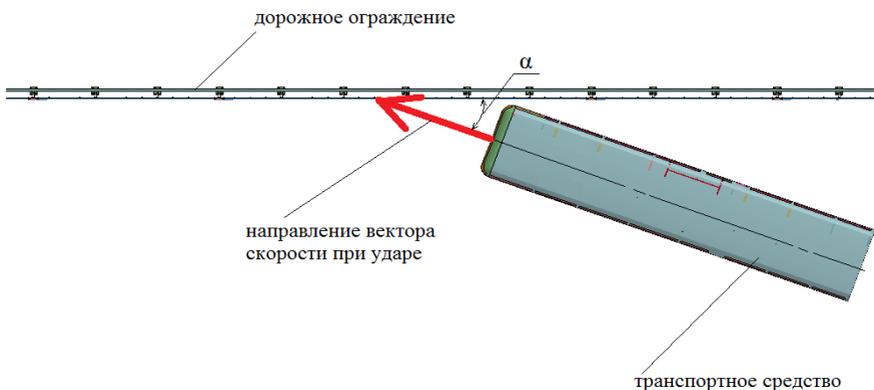


Рисунок 1 – Схема проведения виртуального эксперимента

Между оболочечными частями модели ограждения и моделью автобуса (рисунок 2) вводилось контактное взаимодействие с коэффициентом трения 0,1. В качестве граничных условий для кронштейнов стоек, имеющих отверстия для крепления анкерными болтами, производилось закрепления в пространстве в местах их расположения. Сечения балок на концах ограждения закреплялись по поступательным степеням свободы. В зоне контакта основания с ограждением значение коэффициента трения задавалось равным 0,3.

Перед началом виртуальных испытаний проводился квазистатический расчет положения и состояния конструкций автобуса под действием силы тяжести и преднатяжения в болтовых соединениях.

## ЗАДАНИЕ/ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В качестве модели материала для оболочечных конструкций ограждения из стали 3 был выбран материал модели MAT\_024 с явной формой ввода зависимости предел текучести – пластическая деформация.

Учет скорости деформирования материала осуществлялся применением модели материала Купера-Саймондса. Кроме того, для моделирования возможного разрушения конструкций ограждения была введена предельная величина пластической деформации  $\epsilon_f = 1,0$ , что соответствует величине 60 % относительного сужения поперечного сечения образца материала. Материал болтов, как балок с круглым сечением, представлял собой упругопластичный материал с пределом текучести 400 МПа.

## РАЗРАБОТКА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ

Силовые элементы ограждения – балки, стойки, консоли и пр. моделировались оболочечными конечными элементами с формулировкой Бельчико-Цая (формулировка № 2) с 5-ю точками интегрирования по толщине.

Типовой линейный размер сторон оболочечного элемента 10–20 мм. Болтовые элементы рассматривались как балки (с формулировкой №3) с возможностью разрушения и преднатяжением от затяжки гаек. Болты, моделировались обычными балочными элементами с формулировкой Хьюса-Лю.

Расчетная модель ограждения состоит из балок типа СБт-1, толщиной 3 мм, стоек мостовых С-образных СМт-1 140x90x25x5, шаг установки стоек 2 м, консолей-амортизаторов КАт толщиной 5 мм, связей продольных СПт-1, (уголок 70x70x3), крепежных элементов - болты М16 и М24 класса прочности 5.8, гайки, шайбы, анкеры.

Конечно-элементная модель автобуса (рисунок 2) представляет собой совокупность деформируемых и абсолютно жестких частей. Все элементы, контактирующие с ограждением, были заданы как деформируемые. Модель воспроизводит вращение колес, кинематику

подвески и поворот рулевого управления. Автобус опирался колесами на абсолютно жесткую опорную поверхность с контактным взаимодействием между ней и шинами с коэффициентом трения 0,6.

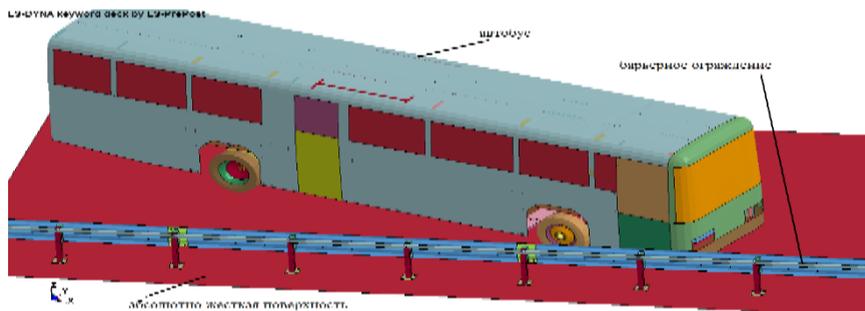


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель автобуса

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ, СРАВНЕНИЕ С НАТУРНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

Анализ результатов компьютерного моделирования выполняется на основании критериев приемки, которые описаны в ГОСТ 33129-2014 [2].

Задача исследования заключалась в определении величины динамического прогиба ограждения – наибольшего горизонтального смещения элементов ограждения в поперечном направлении относительно оси недеформированного ограждения при наезде транспортного средства на него (рисунок 3).



Рисунок 3 – Определение динамического прогиба ограждения

Также оценивалась рабочая ширина – максимальное динамическое смещения кузова автобуса или фрагмента ограждения относительно лицевой поверхности балки недеформируемого ограждения (рисунок 4).

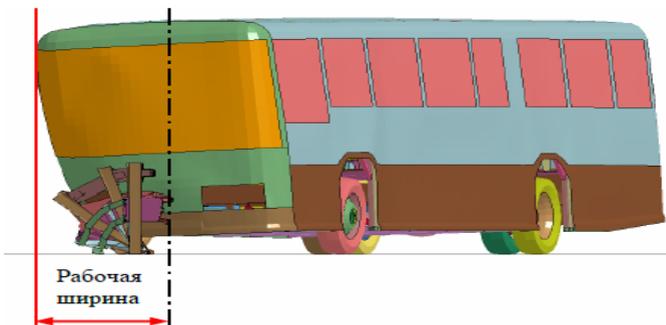


Рисунок 4 – Определение рабочей ширины ограждения

Как видно из сравнительного анализа результатов расчетов с экспериментом, качественная картина процесса, полученного расчетным путем не противоречит физике реального процесса (рисунок 6, 7). Максимальный динамический прогиб по результатам расчетов составил 0,83 м (рисунок 5), а по результатам эксперимента – 0,73 м, относительная погрешность в вычислении динамического прогиба составляет 14 %, что меньше допустимой погрешности, определяемой по ГОСТ 33128-2014 [1].

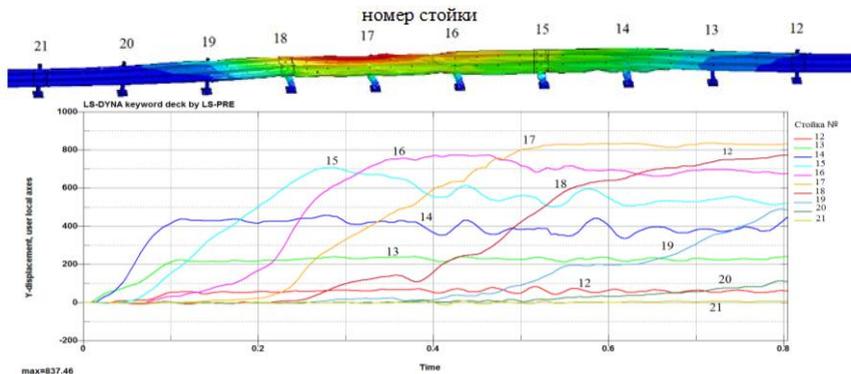


Рисунок 5 – Зависимость прогибов балки барьерного ограждения от времени

Расхождения между расчетными и экспериментальными значениями величины деформации балки барьерного ограждения в большей степени обусловлены настройками контактных параметров автобуса с моделью барьера и настройками используемых материалов. Таким

образом, можно сделать вывод, что валидация расчетной модели обеспечена.

Рабочая ширина ограждения по расчету составила 1,14 м, что на 37% превышает экспериментальные данные. Данные отличия обусловлены особенностями КЭ модели автобуса и сложностью корректного измерения деформации автобуса во время натурного эксперимента.

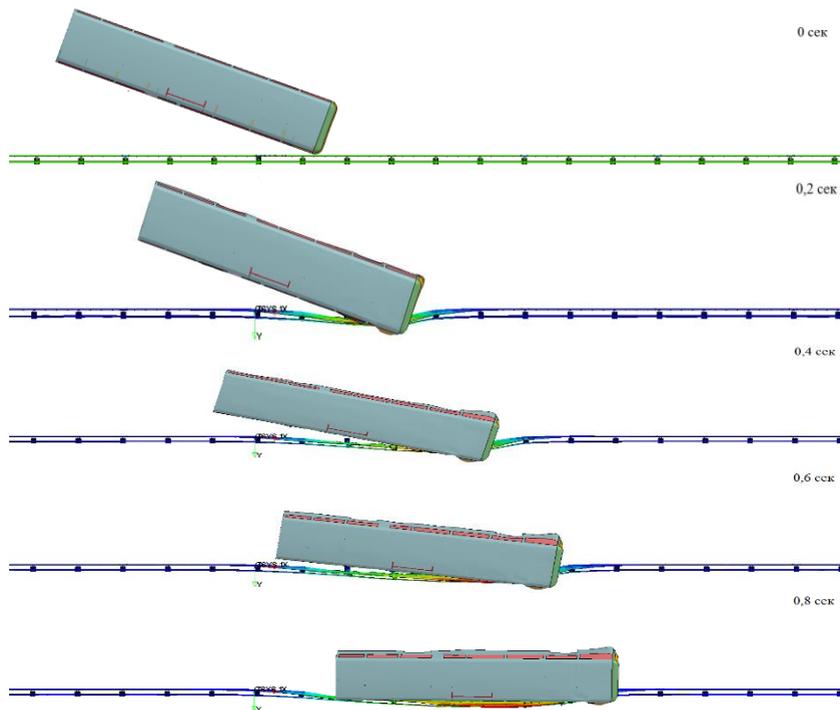


Рисунок 6 – Процесс наезда автобуса на барьерное ограждение

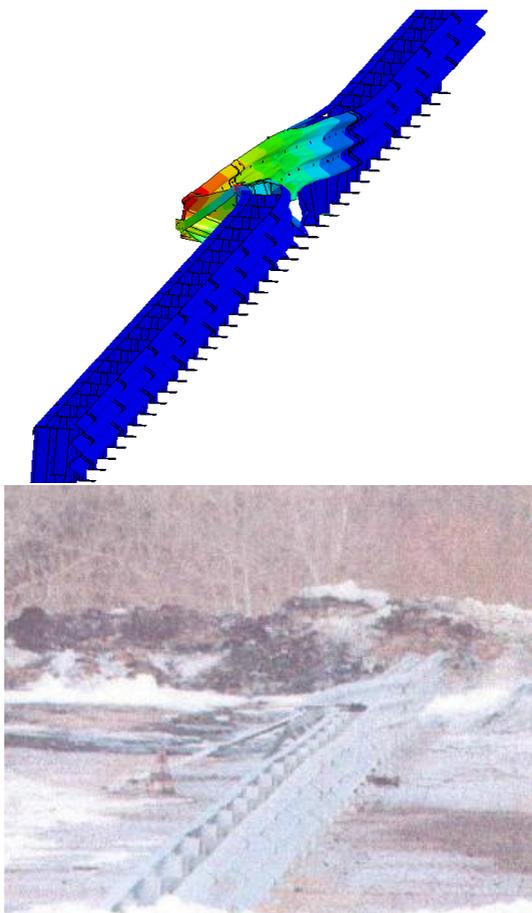


Рисунок 7 - Барьерное ограждение после испытаний в эксперименте и расчете

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведен пример компьютерного моделирования (виртуальные испытания) барьерных ограждений по основным потребительским характеристикам (динамический прогиб и рабочая ширина) на основе ГОСТ 33129-2014. Показаны основные этапы создания и настройки компьютерной модели, проведены виртуальные испытания на примере столкновения автобуса с барьерным ограждением. Проведена валидация результатов компьютерного моделирования по

точности определения величины динамического прогиба. Относительная погрешность расчета значения динамического прогиба составила 14%, что не превышает допустимые величины погрешности, определяемой по ГОСТ 33128-2014 [2]. Таким образом, применение компьютерного моделирования испытаний рекомендуется к применению при проектировании и совершенствовании конструкций барьерных ограждений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 33129-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Методы контроля.
2. ГОСТ 33128-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Технические требования.
3. John, O. LS-DYNA THEORY MANUAL (2006). — Mode of access: [http://www.lstc.com/pdf/ls-dyna\\_theory\\_manual\\_2006.pdf](http://www.lstc.com/pdf/ls-dyna_theory_manual_2006.pdf)
4. ГОСТ Р 52607-2006 Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования.

Представлено 14.05.2020