

УДК 741.625

Б.Т. Тавшавадзе

асс., МАДИ,

тел.: +7(916)044-59-90,

e-mail: t_beka@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРОСОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ГОРОДСКИХ ПАРКИНГАХ

Аннотация. В статье рассмотрена методика создания конечно-элементной модели тросовых ограждений, которые предлагается устанавливать в многоярусных паркингах. Приведено сравнение результатов, полученных расчетом такого ограждения с использованием конечно-элементной модели с аналитической моделью при симуляции процесса наезда автомобиля на тросовое ограждение. Рассмотрено влияние различных параметров на результаты.

Ключевые слова: тросовое ограждение, тросы, промежуточные поры, анкерные узлы, гаражный наезд, паркинг.

Введение

Тросовые гаражные ограждения являются альтернативой существующим системам ограждений из сборных панелей, бетонным и т.д. Основными достоинствами тросовых ограждений является их небольшая цена и новый дизайн, позволяющий создавать парковки с улучшенной вентиляцией и без слепых зон. Пример типичного тросового ограждения приведен на рис. 1. Как можно видеть основными компонентами ограждения являются: тросы, промежуточные опоры, и анкерные узлы на концах. В отличие от жестких бетонных ограждений тросовая система в процессе удара будет получать прогиб, и для обеспечения безопасности

транспортного средства (ТС) этот прогиб не должен превышать допустимой величины.



Рис. 1. Тросовое гаражное ограждение

Помимо этого, нагрузка при ударе воспринимается не только самой тросовой системой, а передается и на колонны здания, в связи с чем, необходимо еще на стадии проектирования определить усилия, возникающие в тросе в процессе удара об ограждение. Прогиб необходимо знать для обеспечения безопасности ТС. В работе рассматривались две модели для определения характеристик удара по тросовой системе: конечно-элементная и аналитическая. Сравнивались результаты, которые давали обе модели и выявлялись условия их применения. Расчет проводился с помощью программного комплекса нелинейной динамики Ls-Dyna. Расчеты тросовых дорожных ограждений с использованием этого подхода описаны в [1].

Конечно-элементная модель тросового гаражного ограждения

КЭ модель ограждения включает в себя два основных компонента: модель троса и модель легкового автомобиля. Расчетная модель автомобиля была взята из открытой библиотеки National Crash Analysis Center (рис. 2). В качестве модели был выбран Chevrolet S10 Pickup состоящий из 220,4 тыс. элементов. Основными характеристиками

является масса, равная 1126 кг, а также габаритная ширина, равная 1725 мм. Стоит отметить, что используемая модель автомобиля – деформируемая, с учетом нелинейности материала и геометрии в процессе удара, с массово-инерционными характеристиками.

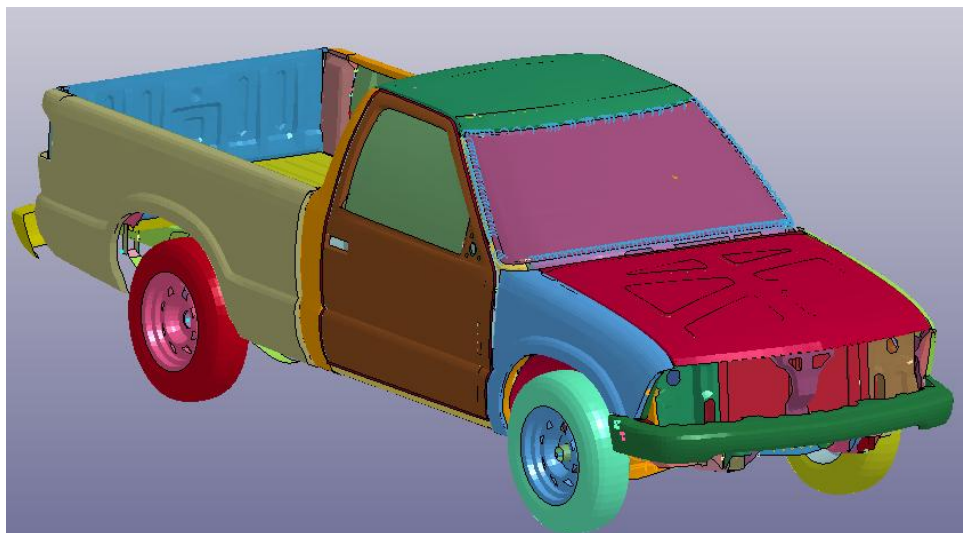


Рис. 2. КЭ Модель Chevrolet S10 Pickup

Трос описывался моделью MAT_166 по классификации комплекса Ls-Dyna. Основной особенностью этой модели является возможность учета всех силовых факторов в тросе и возможностью их задания в зависимости от геометрических параметров. Уравнения, которые использовались для определения силовых факторов в сечениях троса и построения матрицы жесткости элемента имеют следующий вид.

$$M_y = EI_{xx}(k_x - k_x^0); M_x = EI_{yy}(k_y - k_y^0); T_z = C(\tau_z - \tau_z^0), \quad (1)$$

где M – момент; E – модуль упругости; I – момент инерции; k – кривизна; T – крутящий момент; τ – угол закручивания; C – жёсткость на кручение.

Аналитическая модель тросового гаражного ограждения

Аналитическая модель динамики тросов разрабатывалась многими авторами, в том числе и российскими [2]. В этой работе будут использованы результаты J.D. Rogers, которые были опубликованы в [3],

так как они касаются непосредственно моделирования тросовых гаражных ограждений. Кратко опишем модель и результаты, которые получил автор на основе этой модели.

Основные элементы расчетной схемы представлены на рис. 3.

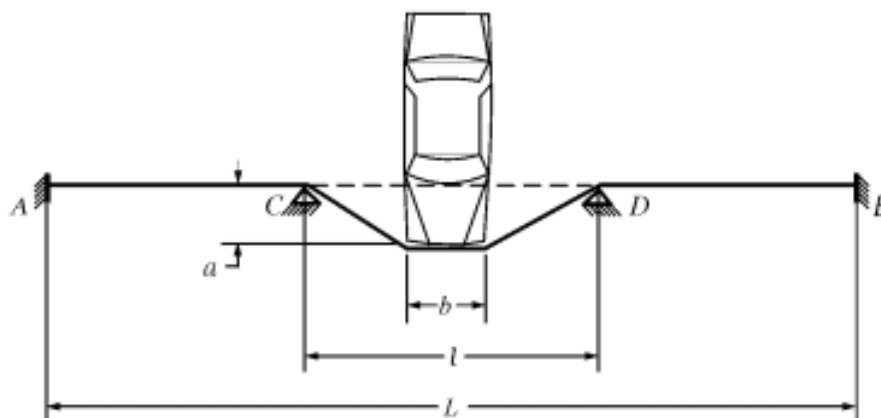


Рис. 3. Расчетная схема тросового гаражного ограждения

Автор принял несколько основных допущений: во-первых, автомобиль представляет собой абсолютно жесткое тело. Во-вторых, силы, возникающие в тросе линейно зависят от его деформации, а геометрия троса в процессе удара может быть описана прямыми линиями. В результате этих допущений была получена следующая формула для определения внутренних усилий:

$$T = \sqrt{\left(\frac{EA}{L}\right)\left(\frac{MV^2}{N}\right) + F_e^2}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости троса; A – рабочая площадь сечения троса; L – длина троса; M – масса автомобиля; V – скорость автомобиля; N – количество тросов ограждения; F_e – сила в тросе;

Перемещения, возникающие в процессе удара определяются по следующей формуле:

$$a = \sqrt{\left[\left(\frac{T - F_e}{2AE}\right)L + 1 - b\right]\left[\left(\frac{T - F_e}{2AE}\right)L\right]}, \quad (3)$$

где L и l – расстояния между опорами ограждения; b – ширина контактирующей части автомобиля.

Сравнение результатов, полученных при расчете по аналитической и КЭ модели

Результаты работы КЭ модели приведены ниже. Рассматривался наезд под углом 90° (прямой), так как это наиболее тяжелый случай и типичный для гаражного наезда. На рисунке 4 показана расчетная ситуация. Как можно видеть в основном в работу вступали только 2 центральных троса, в то время как, остальные тросы прошли под и над машиной.

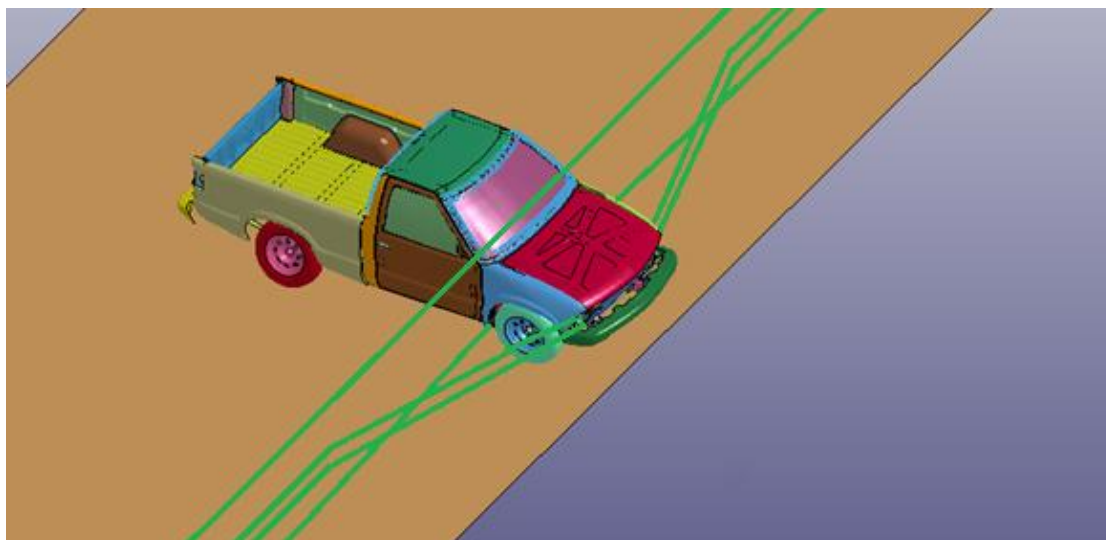


Рис. 4. Наезд автомобиля на тросовое гаражное ограждение

Моделирование проводилось для трех случаев, скорости автомобиля: 2,6 и 10 м/с. Основные параметры, по которым сравнивались модели: прогиб и усилие, возникающие в тросе. Результаты работы обеих моделей приведено в табл. 1.

При анализе табл. 1 видно, что при меньшей скорости наезда аналитическая модель дает значения меньшие, чем численная, при увеличении скорости ситуация меняется. Это обусловлено следующими

факторами. В аналитической модели считается, что с автомобилем контактирует всегда постоянное количество тросов, что не соответствует действительной ситуации. При малой скорости, как можно видеть по расчету, около 70% энергии перешло только в один трос. Остальные тросы почти не работали. При средней скорости, модели дали близкие результаты. При скорости 10 м/с в КЭ модели около 20% энергии удара было поглощено кузовом автомобиля, а трос получил пластические деформации. Эти отличия и дали разницу в расчетных результатах.

Таблица 1

Результаты моделирования

Вид расчета	Скорость, м/с					
	2		6		10	
	Усилие, кН	Перемещение, м	Усилие, кН	Перемещение, м	Усилие, кН	Перемещение, м
Аналитический	37,33	0,37	108,4	0,7	180,12	0,828
Численный	45,84	0,43	100,6	0,8	120	0,912

Выводы

В работе было рассмотрено решение задачи о столкновении автомобиля с тросовым гаражным ограждением аналитическим и численным методами. Анализ расчетов показал, что обе модели дают близкие результаты при скоростях около 6 м/с. При больших скоростях значительная энергия удара переходит во внутреннюю энергию кузова и теряется линейная зависимость между силами и перемещениями в тросе. С учетом того, что средняя расчетная скорость на парковке составляет не более 20–30 км/ч, то при проектировочном расчете можно пользоваться аналитическими формулами, при увеличении скоростей до 10 м/с следует применять КЭ модель, учитывающую деформации элементов ограждения и автомобиля.

Литература

1. Демьянушко И.В., Карпов И.А. Моделирование наезда автомобиля на стойку дорожного ограждения // Транспортное строительство. 2013. №10. С. 16.
2. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. М.: Машиностроение, 1978. 222 с.
3. Rogers J.D. Design of prestressed barrier cable system // Technical Notes. 2004. 20 p.

References

1. Dem'janushko I.V., Karpov I.A *Transportnoe stroitel'stvo*, 2013, №10, p. 16.
2. Svetlickij V.A. *Mehanika gibkih sterzhnej i nitej* (Mechanics of flexible rods and threads), Moscow, Mashinostroenie, 1978. 222 p.
3. Rogers J.D. Design of prestressed barrier cable system // Technical Notes. 2004. 20 p.

В. Tavchavadze

Modeling of cable barriers in urban park

Abstract. In article the technique of creating a finite element model wire fencing that is proposed at multi-level Parking. Comparison of results obtained by the calculation of such enclosures using the finite element model with an analytical model for simulation of the process of hitting the car on the rope fence. The effect of different parameters on the results.

Key words: rope fencing, ropes, intermediate pores, anchor nodes, garage hitting, Parking.