

УДК 625.096

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ МОБИЛЬНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВОЧНОМ АНАЛИЗЕ

Демьянушко Ирина Вадимовна, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, demj-ir@mail.ru.

Михеев Павел Сергеевич, ст. преподаватель, аспирант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, mikheev@niimech.ru.

Медведев Михаил Михайлович, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, medvedev@niimech.ru.

Аннотация. В работе рассматриваются конструкции навесных мобильных фронтальных ограждений (ОМФН), устанавливаемых на автомобили прикрытия (АП) и предназначенных для повышения безопасности на дорогах общего пользования при проведении краткосрочных дорожных работ. Проведенное сравнение с прицепными конструкциями ОМФ (ОМФП) позволило определить преимущества и недостатки различных навесных конструкций. Проведен обзор регламентов натурных испытаний пассивной безопасности рассматриваемых конструкций в Российской Федерации и за рубежом. Предложен метод двухэтапного цифрового виртуального анализа конструкции ОМФП на этапе проектирования, который позволяет выявить особенности работы и оценить рабочие характеристики конструкции. Метод основан на последовательном конечно-элементном статическом и динамическом моделировании нагружения конструкции с использованием аппарата численного цифрового анализа. Приведены некоторые результаты проектировочного анализа типовой конструкции ОМФП.

Ключевые слова: мобильное фронтальное ограждение, ОМФ, дорожно-транспортное происшествие, дорожные и производственные работы, автомобиль прикрытия.

FEATURES OF STRUCTURES OF ROAD MOBILE FRONTAL BARRIERS AND CALCULATIONS IN DESIGN ANALYSIS

Demiyanushko Irina V., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, demj-ir@mail.ru

Mikheev Pavel S., senior lecturer, postgraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, mikheev@niimech.ru

Medvedev Mikhail M., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, medvedev@niimech.ru

Abstract. The paper considers the designs of hinged mobile frontal barriers (HMFB, TMA) installed on cover vehicles (CP) and designed to improve safety on public roads during short-term road works. The comparison with trailed structures TMA made it possible to determine the advantages and disadvantages of various hinged structures. A review of the regulations for full-scale tests of the passive safety of the structures under consideration in the Russian Federation and abroad was carried out. A method is proposed for a two-stage digital virtual analysis of the TMA design at the design stage, which makes it possible to identify the features of work and evaluate the performance characteristics of the structure. The method is based on sequential finite element static and dynamic modeling of structure loading using numerical analysis. Some results of the design analysis of the typical design of the TMA are given.

Key words: mobile frontal barriers, TMA, traffic accident, road and industrial works, cover car.

Введение

В настоящее время при проведении краткосрочных дорожных и производственных работ в качестве автомобиля прикрытия (АП) обычно используют автомобиль дорожной бригады или прицеп с предупреждающими знаками, в котором перевозят оборудование для выполнения дорожных работ. АП устанавливается на полосе движения или обочине в зависимости от места проведения работ для защиты дорожных работников и техники в рабочей зоне. На используемых транспортных средствах (ТС) отсутствует демпфирующая часть, вследствие чего, в случае дорожно-транспортного происшествия (ДТП), велика вероятность травм и летального исхода у водителя и пассажиров наезжающего ТС из-за деформаций элементов кузова, которые не рассчитаны на рассматриваемые условия столкновения. За рубежом использование ограждений мобильных фронтальных (ОМФ) давно вошло в практику [1]. Статистика показывает, что использование ОМФ снижает количество летальных исходов в среднем с 19% до 4%. В России в некоторых случаях используют сигнальные прицепы на базе автомобильных, пассивная безопасность при столкновении которых не исследуется, а ОМФ не

используются, поскольку пока находятся на стадии разработки или сертификации. Одной из основных причин замедленного внедрения этих устройств является отсутствие методов проектировочного анализа. В ранее проведенных работах [5, 6] были исследованы прицепные ОМФ, в настоящей работе внимание уделено исследованиям навесных ОМФ и описан разработанный метод двухэтапного конечно-элементного проектировочного анализа типовой конструкции навесного ОМФ.

Принцип работы ОМФ и классификация по типу крепления

Принцип работы ОМФ заключается в гашении кинетической энергии наезжающего автомобиля за счет деформации, трения или прогнозируемого разрушения демпфирующих элементов (рис. 1), то есть кинетическая энергия при ударе ТС переходит в потенциальную энергию деформации устройства.



а



б

Рис. 1. Принцип работы ОМФ: а – за счет деформации, б – за счет трения и прогнозируемого разрушения.

Существуют, как уже отмечалось, два типа крепления ОМФ к АП: прицепные (рис. 2.а) и навесные (рис. 2.б). ОМФ прицепного типа крепится к автомобилю прикрытия на жесткой сцепке, имея вращательную степень свободы, в то время как навесное ОМФ жестко устанавливается на раму автомобиля прикрытия и приводится в рабочее положение за счет специальной системы, в частности – гидравлической (подъем и опускание) [2]. Наиболее распространенные навесные ОМФ выпускают компании Trinity Highway и TrafFix Devices.



а



б

Рис. 2. Типы ОМФ: а – прицепное ОМФ, б – навесное ОМФ

Конструкции системы поднятия-опускания навесных ОМФ

В основном для поднятия и опускания ОМФ используется два типа привода: механический (рис. 3.а) и гидравлический (рис. 3.б). Механическая система включает в себя электролебедку и элементы натяжения (стропы). Гидравлическая система состоит из гидронасоса и гидроцилиндров, которые изменяют положение ОМФ за счет выдвижения или втягивания штоков.



(а)



(б)

Рис. 3. Разновидности приводов ОМФ: а – механический, б – гидравлический

Автомобили прикрытия, используемые с навесными ОМФ

В зависимости от класса скорости и массы ОМФ устанавливаются на автомобили с разной весовой категорией (рис. 4), дополнительно на АП устанавливается балласт для уменьшения расстояния его отката при наезде ТС.



а

б

*Рис. 4. ОМФ, установленные на ТС с разной весовой категорией:
а – грузовик, б – пикап*

Преимущества и недостатки навесных ОМФ

К преимуществам навесных ОМФ можно отнести большую допустимую скорость движения, так как конструкция является элементом АП, в то время как прицепное устройство является автомобильным прицепом, а для ТС с прицепами скорость движения ограничена. Еще одним преимуществом навесных ОМФ является удобство транспортировки и маневрирования АП при движении в связи с его компактностью в транспортном положении в сравнении с прицепными аналогами, у которых габаритная длина значительно больше. Помимо этого, в конструкции навесного ОМФ нет необходимости учета дополнительных элементов для снижения нагрузки на узел сцепного устройства при столкновении, или противоповоротной системы, которая бы ограничивала разворот ОМФ в случае косого удара, поскольку конструкция крепления навесного ОМФ к раме АП обеспечивает жесткую связь. Отсутствие шасси и системы торможения позволяет снизить инерционную составляющую при ударе, которая влияет на перегрузки пассажиров наезжающего ТС и более равномерно распределить массу конструкции.

Кроме преимуществ у навесных систем имеются недостатки, к которым можно отнести динамическую нагрузку на раму АП, что ограничивает модельный ряд ТС, с которыми можно использовать навесные ОМФ, а системе поднятия-опускания требуется относительно более пристальный контроль в связи со сложностью конструкции.

Оценка пассивной безопасности

За рубежом существует несколько стандартов, устанавливающих требования к испытаниям и оценке пассивной безопасности ОМФ при наезде ТС.

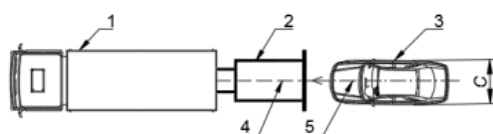
В США до 2009 года дорожные ограждения, в том числе ОМФ, тестировались по стандарту NCHRP-350 [3]. В связи с обновлением парка ТС и изменения их характеристик был разработан новый стандарт MASH который вступил в силу с 2016 года.

В ЕС разрабатывается собственный стандарт CEN/TS 16786:2018 Road restraint systems - Truck Mounted Attenuators – Performance classes, impact test acceptance criteria and test performance, в который включена похожая методика испытаний и оценки ОМФ.

В Российской Федерации для испытаний ОМФ был разработан ГОСТ Р 59291 – 2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения мобильные фронтальные. Общие технические условия» [4], где приведены режимы испытаний ОМФ, эксплуатируемых на дорогах общего пользования, зависящие от типа наезда (рис. 5), скорости и массы наезжающего ТС и массы АП. Режимы испытаний приведены в таблице 1, в соответствии с которыми для каждого класса скорости проводится по три испытания.

При испытаниях используют испытательные автомобили разного класса (седан и джип) для учета влияния их геометрии и массы на механику работы исследуемой конструкции ОМФ.

а) Испытание № 1



б) Испытание № 2

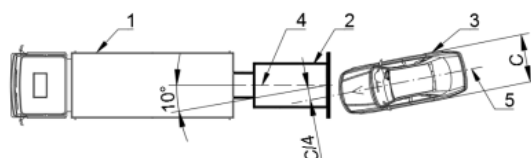


Рис. 5. Типы испытаний ОМФ согласно ГОСТ Р 59291 – 2021 [4]: а – прямой удар в торцевую плоскость по оси ОМФ, б – удар в торцевую плоскость ОМФ со смещением на $C/4$ относительно оси ОМФ под углом 10° : 1 – грузовой автомобиль прикрытия, 2 – ОМФ, 3 – испытательный автомобиль, 4 – ось ОМФ, 5 – ось испытательного автомобиля, C – габаритная ширина испытательного автомобиля.

Основными характеристиками безопасности, которые фиксируются при испытании являются: индекс тяжести травмирования (перегрузки центра тяжести (ЦТ) испытательного автомобиля, изменение объема пассажирского пространства и смещение АП.

Таблица 1

Режимы испытаний ОМФ в зависимости от класса скорости.

Класс скорости столкновения	Номер испытания	Масса испытательного автомобиля категории М1, кг	Скорость наезда, км/ч	Масса грузового автомобиля прикрытия, заявленная производителем ОМФ
50	1	1000	50	Максимальная
	1	2000		Минимальная
	2	2000		Минимальная
70	1	1000	70	Максимальная
	1	2000		Минимальная
	2	2000		Минимальная
90	1	1000	90	Максимальная
	1	2000		Минимальная
	2	2000		Минимальная

Нагрузочные режимы и методы расчетного анализа

Поскольку АП с ОМФ должен проехать до места ремонта, то на его конструкцию передаются динамические воздействия от дороги.

Следовательно, кроме оценки пассивной безопасности конструкции при ударе, необходимо проводить прочностные и усталостные исследования узлов ОМФ. При проведении рассматриваемых исследований должны учитываться динамические нагрузки, которые предъявляют к конструкции более высокие требования, в отличие от статического нагружения.

В связи со сложностью конструкции ОМФ и наличием в ней большого количества элементов классический подход решения задач методами сопротивления материалов приведет к большим погрешностям в результатах. Для проведения более точного анализа следует использовать численные методы расчета, одним из которых является метод конечных элементов (МКЭ), последовательно по неявной и явной схемам, что позволяет более точно оценить параметры проектируемой конструкции ОМФ с минимальными временными затратами.

На первом этапе проектировочного анализа предлагается использовать статический расчет - неявный метод, который требует меньше вычислительных затрат в сравнении с явным методом и позволяет определить наиболее нагруженные элементы и узлы, создающие жесткую структуру конструкции.

Результаты первого этапа являются также основой для последующего исследования конструкции ОМФ с учетом динамических воздействий при движении по дороге для обеспечения прочности конструкции при транспортировке. На втором этапе расчета уже по явной схеме моделирования динамического ударного взаимодействия деформируемых конструкций ОМФ и наезжающего автомобиля производится определение параметров работы основных элементов

конструкции ОМФ [6], позволяющее оценить поглощение энергии наезжающего ТС и характер всей работы системы.

Виртуальные исследования ОМФН

Пример такого двухэтапного подхода приведен ниже.

Для определения наиболее нагруженных узлов конструкции на первом этапе расчета односекционного навесного ОМФ создана конечно-элементная (КЭ) цифровая модель (рис.6), реальная конструкция которого показана на рисунке 2.б. В расчетной КЭ модели часть рамы АП, с закрепленным на ней ОМФН, жестко фиксировалась в пространстве по контуру, обозначенному красным цветом на рисунке 6, а нагрузкой являлся собственный вес конструкции.

По результатам статического расчета первого этапа (рис. 7) выявлено, что самыми нагруженными (красный спектр) являются области крепления конструкции к раме, а также зоны соединения частей рам ОМФ, к которым крепятся энергопоглощающие картриджи с дугами, в которых из-за консольного соединения возникает изгибающий момент.

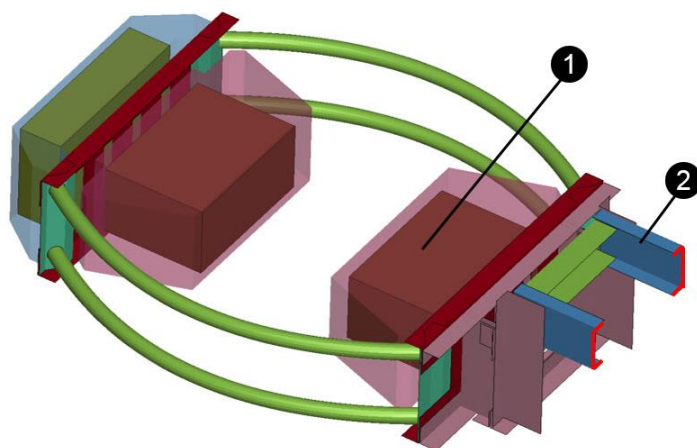


Рис. 6. Цифровая модель навесного ОМФ на раме АП: 1 – ОМФН, 2 – часть рамы АП

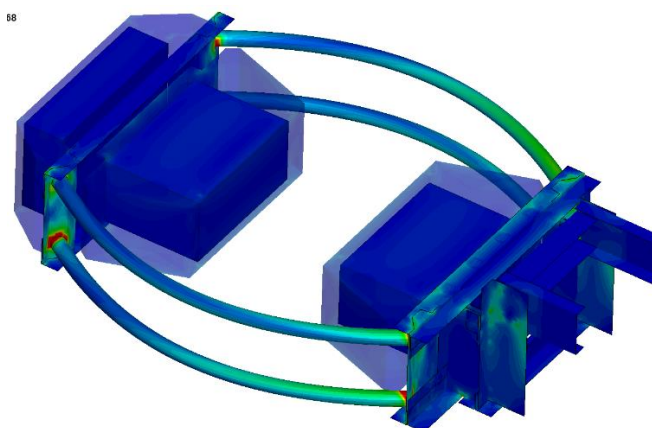


Рис. 7. НДС навесного ОМФ при статическом нагружении

Анализ результатов расчета первого этапа позволил установить, что наиболее нагруженными являются места стыковки элементов конструкции между собой, а также узел крепления ОМФН к раме АП.

Поскольку ОМФН могут состоять из нескольких откидывающихся секций, то в этом случае основная нагрузка приходится на шарнирные соединения (рис. 8).

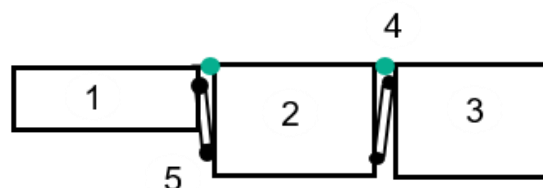


Рис. 8. Принципиальная кинематическая схема ОМФ: 1 – рама автомобиля прикрытия, 2 – первая секция, 3 – вторая секция, 4 – цилиндрические шарниры вращения, 5 – гидроцилиндры

На втором этапе проектного расчета для этой же конструкции проводится моделирование фронтального ударного наезда автомобиля на ОМФН (рис. 9) с использованием программного комплекса нелинейной динамики по явной схеме [6]. На рисунке 10 показан один из важных результатов этого расчета – состояние ОМФН после удара.

Предложенный подход позволил эффективно выявить особенности, на которые необходимо обращать внимание при проектировании навесных

конструкций ОМФ. Ниже приведены некоторые из выводов, важных для проектирования ОМФ и полученных на основании этих исследований:

1. Расстояние от поверхности дороги до нижней плоскости ОМФН должно быть выбрано таким образом, чтобы автомобиль не попал под демпфер при столкновении, а высота конструкции должна препятствовать наезду сверху автомобилей с большим клиренсом.
2. Центр тяжести конструкции должен располагаться на уровне места приложения удара от наезжающего автомобиля.
3. Жесткость элементов должна обеспечивать равномерное замедление наезжающего автомобиля в пределах допустимых значений [4].

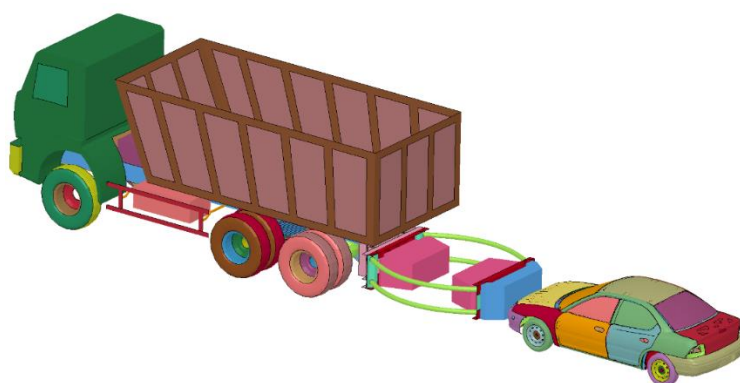


Рис. 9. Цифровая КЭ модель виртуального испытания ОМФН при наезде испытательного автомобиля

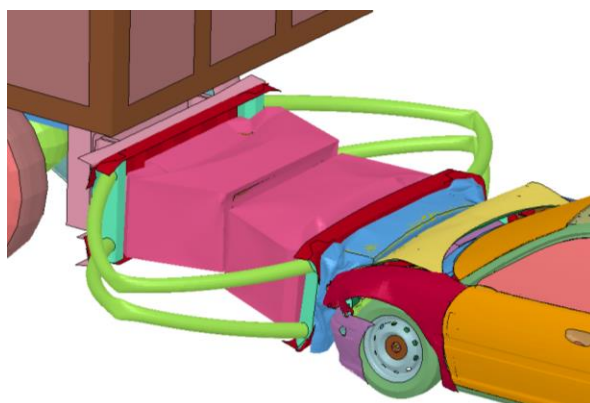


Рис. 10. Цифровая КЭ модель ОМФН после наезда испытательного автомобиля

Выводы

Анализ существующих конструкций ОМФ свидетельствует об эффективности их применения на дорогах при проведении краткосрочных работ. Анализ навесных конструкций позволил выявить их преимущества и недостатки. Предложенный подход цифрового КЭ двухэтапного моделирования является эффективным инструментом проектировочного анализа, позволяющим выявить наиболее нагруженные узлы конструкций ОМФН и некоторые особенности геометрических и жесткостных параметров. При проектировании конструкций ОМФ необходимо уделять внимание прочности и долговечности, поскольку транспортировка до места установки АП с ОМФ требует учета динамических нагрузок.

Список литературы

1. Humphreys, J.B. Guidelines for the Use of Truck-Mounted Attenuators in Work Zones / J.B. Humphreys, D.T. Sullivan // Transportation Research Board. – 1991. – № 1304. – С. 292-302.
2. Project Title: Compare Trailer-Mounted Attenuators vs Truck-Mounted Attenuators Protection for Workers – 2013 Theiss, LuAnn and Bligh, Roger, 70pp.
3. National Cooperative Highway Research Program Report 350 / H.E. Ross [и др.]. – Washington: National academy press, 1993. – 1-74 с.
4. ГОСТ Р 59291 – 2021. Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения мобильные фронтальные. Общие технические требования; введ. 2021 – 01 – 15. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии; Стандартинформ, 2021. – 19 с.
5. Михеев, П.С. Применение цифрового моделирования для определения критериев проектирования мобильных фронтальных ограждений / П.С. Михеев, И.А. Карпов // Проектирование автомобильных дорог: сборник докладов Международной конференции и 79-й Международной научно-исследовательской конференции, Москва, 26–30 января 2021 года. – М.: ООО "А-проджект", 2021. – С. 173-185.
6. Демьянушко, И.В. Повышение безопасности дорожного движения при проведении ремонтных работ / И.В. Демьянушко, Б.Т. Тавшавадзе, П.С. Михеев, И.А. Карпов // Мир дорог – 2020. – № 131 – С. 102-107

References

1. Humphreys, J.B. Guidelines for the Use of Truck-Mounted Attenuators in Work Zones / J.B. Humphreys, D.T. Sullivan // Transportation Research Board. – 1991. – № 1304. – p. 292-302. – Refer.: p. 302
2. Project Title: Compare Trailer-Mounted Attenuators vs Truck-Mounted Attenuators Protection for Workers – 2013 Theiss, LuAnn and Bligh, Roger, 70pp.
3. National Cooperative Highway Research Program Report 350 / H.E. Ross [и др.]. – Washington: National academy press, 1993. – 74 pp.
4. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Ograzhdeniya mobil'nye frontal'nye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya, GOST R 59291-2021 (Roads for public use. Protections are mobile frontal. General technical requirements, GOST R 59291 – 2021), Moscow, Federal'noye agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii; Standartinform, 2021, 19 p.
5. Mikheev P.S., Karpov I.A. *Proyektirovaniye avtomobil'nykh dorog: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii i 79-y Mezhdunarodnoy nauchno-issledovatel'skoy konferentsii*, Moscow, ООО "А-проджект", 2021, pp. 173-185.
6. Demiyanyushko I.V., Tavshavadze B.T., Mikheev P.S., Karpov I.A. *Mir dorog*, 2020, no. 131, pp. 102-107.

Рецензент: С.К. Карцов, д-р техн.наук, проф., МАДИ