

УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВА-КОНТЕЙНЕРА ПЕРЕМЕННОГО ОБЪЕМА

Мишута Д.В., Михайлов В.Г.

ООО «Мидивисана», г. Минск, Республика Беларусь

Разработана оригинальная методика испытаний кузовов-контейнеров на поперечный и продольный перекосы, характерные для эксплуатации, не требующая дорогостоящих оборудования, приборов, массивного фундамента и плит. Предложенная схема нагружения и методика испытаний позволяют с минимальными затратами оценить прочностные свойства кузовов-контейнеров, что является существенным при их разработке, производстве и эксплуатации, и открывают возможности для проведения исследований на предприятиях по совершенствованию конструкций контейнеров негрузового типа. (E-mail: vmikhailov@midivisana.by)

Ключевые слова: кузов-контейнер, напряженно-деформированное состояние, усилие растяжения, деформация.

Введение

В настоящее время все чаще вместо кузовов-фургонов начинают применяться модули контейнерного негрузового типа (кузова-контейнеры), устанавливаемые на автомобили повышенной проходимости. Широкое применение кузовов-контейнеров вызвано все большим насыщением модулей различным радиоэлектронным оборудованием, для которого требуется создание надлежащих условий эксплуатации, и необходимостью создания более комфортных условий для персонала. Это влечет увеличение энергопотребления и массы, на которые не рассчитаны кузова-фургоны. Конструктивно кузова-контейнеры могут обеспечить более высокую прочность и жесткость, позволяющие эксплуатировать их в условиях бездорожья и перевозить любыми видами транспорта, в том числе на морских контейнеровозах. Важно обеспечить жесткость конструкции, поскольку ее недостаточность отрицательно сказывается на функционировании электронных, измерительных приборов, радиоэлектронной и компьютерной техники и различного оборудования, установленных в модулях. Жесткость связана с прочностью конструкции, поэтому возрастают требования к прочности. Особенно это актуально для кузовов-контейнеров переменного

объема, которые изначально менее прочны, чем кузова постоянного объема, из-за того, что их боковые раскладываемые стенки из сэндвич-панелей не несут нагрузку. Сэндвич-панели кузова-контейнера представляют собой 3-х слойную конструкцию, где в качестве утеплителя используется экструдированный пенополистирол повышенной плотности (70 г/см^3) толщиной 55 мм, снаружи обклеенный алюминиевым листом толщина 1,5 мм, с внутренней стороны – пластиком толщина 0,55 мм.

Чтобы контейнеры могли перевозиться на морских контейнеровозах, они должны пройти сертификационные испытания на прочность на соответствие конвенции безопасных контейнеров CSC [1] на специальных дорогостоящих стендах, требующих использования специального массивного основания и плит, что имеется лишь на ограниченном количестве предприятиях СНГ, серийно выпускающих грузовые контейнеры. Многие же предприятия, выпускающие контейнеры мелкой серией, не располагают таким оборудованием и, следовательно, не обладают возможностью проводить их испытания на прочность. В литературе отсутствуют данные по прочностным исследованиям контейнеров негрузового типа. Вследствие чего прочностные параметры контейнеров мало изучены, их разработка

ведется эмпирическими методами, что сдерживает их дальнейшее совершенствование.

Основная часть

Для оценки и обеспечения необходимых прочностных показателей контейнеров предварительно был выполнен большой комплекс расчетных работ по моделированию нагрузок, действующих на контейнер в дорожных условиях, с помощью созданной динамической системы «дорога – автомобиль – контейнер» в пакете динамического анализа ADAMS, а также при перевозке морем [2]. Особенностью пакета ADAMS является отсутствие необходимости составления дифференциальных уравнений. Они составляются самим пакетом на основе создаваемой динамической схемы путем выбора типовых компонентов и решаются численным методом. На основании полученных в ADAMS данных по нагрузкам произведена оценка напряженно-нагруженного состояния контейнера методом конечных элементов. Установлено, что напряжения, возникающие при перевозке контейнеров морем, больше, чем в дорожных условиях. Выполненные дальнейшие расчетные исследования методом конечных элементов в пакете ANSYS 12.1 показали, что наиболее тяжелыми режимами при морских перевозках являются: штабелирование (установка на них других контейнеров – до восьми, массой 30,5 т каждый) и поперечный перекося (рисунок 1). Поперечный перекося является также наиболее тяжелым режимом и для дорожных условий.

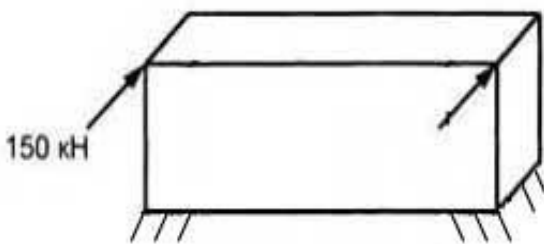


Рисунок 1 – Схема нагружения при поперечном перекося согласно ГОСТ Р 51876-2008

Для сравнения результатов расчета с экспериментальными данными необходимо измерить напряжения либо деформации. Для этого были проведены испытания по имитированию

поперечного перекося, чтобы исключить использование дорогостоящего оборудования, измерительных приборов и специального основания. Была предложена оригинальная методика испытаний по схеме нагружения с использованием двух состыкованных между собой контейнеров, образующих замкнутый контур (рисунок 2), благодаря чему нет необходимости жестко крепить контейнер к фундаменту и иметь дополнительный каркас вертикальных стоек для приложения нагрузки.

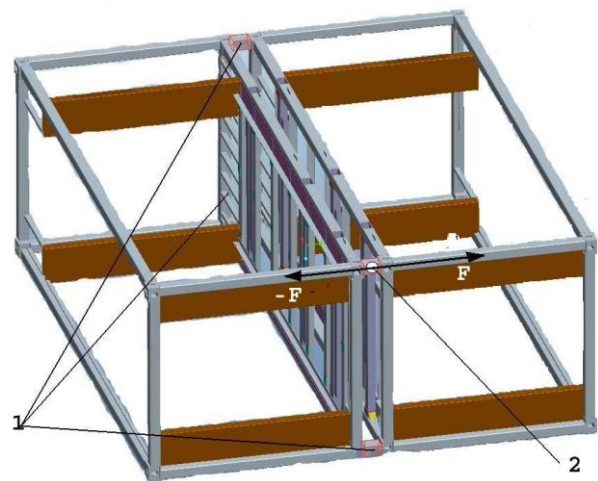


Рисунок 2 – Схема установки контейнеров и размещения датчика усилия: 1 – проставки; 2 – датчик усилия F или манометр домкрата

Два одинаковых кузова-контейнера устанавливаются на деревянные бруски под нижними фитингами и стягиваются через проставки в трех местах (фитингах). В 4-й точке (датчика) с помощью гидравлического домкрата прикладывается распирающее усилие F , которое фиксируется электронным динамометром или манометром домкрата, и измеряется деформация между фитингами. Эти данные сравниваются с расчетными при тех же нагрузках.

Измерения деформации проводились путем определения расстояния между фитингами с помощью штангенциркуля, а усилия F – с помощью электронного динамометра с погрешностью 0,1 %. Такая простая схема нагружения и методика испытаний позволяют оценить прочностные свойства контейнера без применения дорогостоящих оборудования, приборов, массивного основания и плит. Такую же методику можно использовать и при испытаниях на продольный перекося. Если связать балками наружные фитинги при сочлененных основаниях, то

данную схему можно использовать также при испытаниях на штабелирование при небольших нагрузках.

Были проведены испытания одного каркаса, а также контейнера в сборке с сэндвич-панелями, которые позволили оценить влияние сэндвич-панелей на прочностные свойства контейнера. Результаты испытаний приведены на рисунке 3.

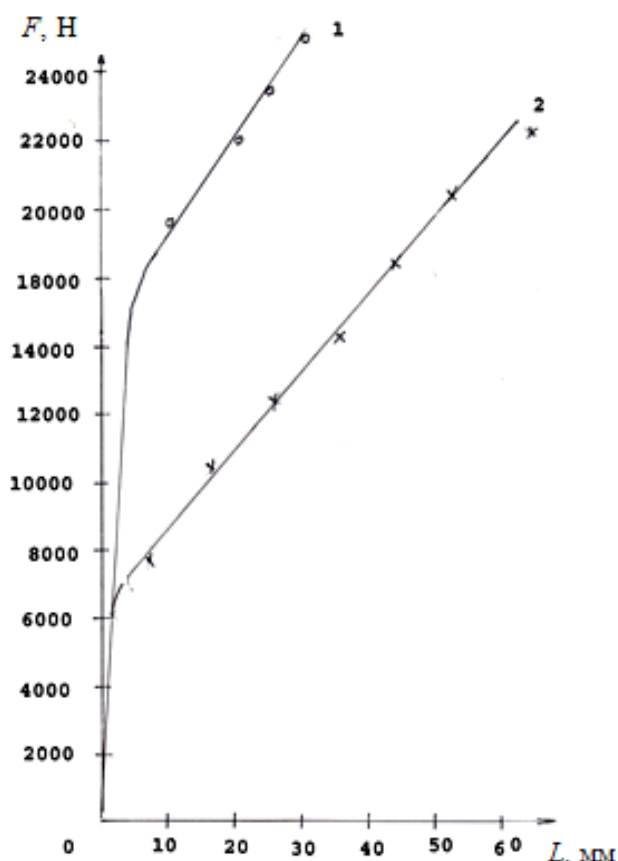


Рисунок 3 – Зависимость усилия F от величины деформации L при растяжении верхних фитингов контейнера с сэндвич-панелями (1) и каркаса без сэндвич-панелей (2)

Полученные результаты испытаний позволяют сделать следующие выводы.

Величина перемещения верхнего фитинга достигает 30 мм при нагрузке 20 000 Н.

Из рисунка 3 видно, что, начиная с усилия 7000 Н, возникает остаточная деформация пустого каркаса кузова-контейнера без сэндвич-панелей. Последнее связано со слабыми прочностными свойствами примененной стали Ст3 КП (предел текучести $\sigma_T = 180\text{--}220$ МПа), сварными фитингами и отсутствием усиливающих

элементов в конструкции. Дополнительным фактором снижения прочностных свойств возможно является текучесть по сварке.

Как показали испытания, установка сэндвич-панелей увеличивает усилие, соответствующее точке перегиба кривой (предел текучести контейнера) с 7000 до 15000 Н (на 8000 Н), что свидетельствует о значительном влиянии сэндвич-панелей на прочностные свойства контейнера при поперечном перекосе.

Из полученных зависимостей видно, что используемая обычная конструкционная сталь Ст3 Кп ($\sigma_T > 180\text{--}220$ МПа, $F = 7000$ Н) не обеспечивает требуемой прочности. Путем экстраполяции прямого участка линии, соответствующей пределу упругости, можно сделать вывод, что в случае применения более высокопрочных сталей (например, 09С2Г $\sigma_T > 350\text{--}400$ МПа, приблизительно в 1,9 больше чем у Ст3 Кп) получим $F = 15000$ Н + 8000 Н от сэндвич-панелей = 23000 Н при воздействии на одну сторону или 46000 Н на два фитинга. Благодаря этому можно выйти на показатели лучших зарубежных контейнеров постоянного объема (Weatherhaven, $F = 46000$ Н). И имеется возможность дальнейшего наращивания прочностных свойств при переходе на еще более высокопрочные стали с $\sigma_T > 700$ МПа. К сожалению, трубы из таких высокопрочных сталей в СНГ не производятся, что сдерживает их использование для специальных контейнеров.

Результаты испытаний показали, что величина деформации 4-го фитинга при нагрузке 7000 Н составляет 2,4–2,6 мм и близка к расчетному значению 2,63 мм, полученному в пакете ANSYS 12.1, т.е. имеет место 10–12 % расхождение. Это свидетельствует о хорошей корректности созданной расчетной модели и полученных расчетных данных.

Заключение

1. Разработана оригинальная методика испытаний кузовов-контейнеров на поперечный и продольный перекосы, характерные для эксплуатации, не требующая дорогостоящих оборудования, приборов, массивного фундамента и плит. Предложенная схема нагружения и методика испытаний позволяют с минимальными затратами оценить прочностные свойства кузовов-контейнеров, что является существенным при их разработке, производстве и эксплуатации. Это открывает возможности для

проведения исследований на предприятиях по совершенствованию конструкций контейнеров.

2. Получены экспериментальные зависимости деформации кузова-контейнера от растягивающих нагрузок на верхние фитинги, позволившие сделать оценку прочностных свойств контейнера переменного объема при поперечном перекосе.

3. Установлено, что применение сэндвич-панелей увеличивает усилие, соответствующее точке перегиба кривой (придел текучести контейнера) на 8000 Н, что свидетельствует о значительном влиянии сэндвич-панелей на прочностные свойства контейнера при поперечном перекосе.

4. Результаты экстраполяции полученных данных свидетельствуют, что в случае применения более высокопрочных сталей для каркаса (типа 09С2Г $\sigma_T > 350\text{--}400$ МПа) можно увеличить нагрузку при поперечном перекосе до 23000 Н при нагрузке на один фитинг или 46000 Н на 2 фитинга. Имеется возможность

дальнейшего наращивания прочностных свойств при переходе на еще более прочностные стали с $\sigma_T > 500\text{--}700$ МПа.

5. Сравнение результатов моделирования методом конечных элементов в пакете ANSYS с натурными испытаниями показало хорошую сходимость использованной расчетной модели (10–12 %) при небольших нагрузках (7000 Н, в пределах упругости).

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 51876-2008 (ИСО -1496-1-96) Контейнеры грузовые серии 1 Технические требования и методы испытаний. В.Г.
2. Мишута, Д.В., Оценка напряженного состояния модуля штабной машины при статическом нагружении согласно ГОСТ Р 51876-2008 (ИСО 1496-1-90) / Д.В. Мишута, В.Г. Михайлов // сб. науч. тр. V Белорусский конгресс по теоретической и прикладной механике «Механика-2011», 26-28 окт. 2011. – Т. 2. – С. 16–19.

Mishuta D.V., Mikhailov V.G.

Simplified measuring methods of stressed-deformed state of an expandable shelter

The developed original methodology is designed for testing van containers for cross-section and longitudinal sidesway typical in normal operation and does not require implementation of high cost equipment, devices, massive base or plates. The offered loading pattern and test methodology is highly cost effective, e.g. with minimum expenses it is possible to estimate the structural behavior of van containers, which is crucial for their development, manufacture and operation and makes it possible to hold trials at the enterprise, aimed at improvement of non-cargo container design. (E-mail: vmikhailov@midivisana.by)

Key words: shelter, stress-strain behavior, extension force, deformation.

Поступила в редакцию 23.7.2012.