

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ СЪЕМНОЙ КРЫШИ ДЛЯ ПОЛУВАГОНОВ

Кирильчук О. А., ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»,
Шатунова Д. А., инженер ПКТБ, Днепропетровский национальный
университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна

В статье приводится способ использования полувагонов для перевозки грузов, которые требуют защиты от воздействия внешней окружающей среды и атмосферных осадков. Для этого предлагается использовать съемную крышу. В статье рассмотрен один из возможных вариантов конструкции съемной крыши, а также приведены результаты исследования ее прочности.

На железных дорогах для перевозки тарно-штучных, штабельных, пакетированных и некоторых сыпучих грузов (зерно), требующих укрытия и защиты от атмосферных осадков, используют крытые вагоны. Но в последнее время операторские компании начали применять универсальные полувагоны со съемными крышами. На вагоностроительных заводах разработаны различные варианты конструкций съемных крыш.

На АО «НПК «Уралвагонзавод» разработана конструкция полувагона модели 12-146 со съемной крышей (рис. 1). Этот вагон предназначен для общесетевого использования при перевозке грузов, требующих укрытия от атмосферных осадков, от повреждений, для обеспечения экологических требований. Его грузоподъемность составляет 65,5 т, а масса тары — 28 т.

На этом же заводе разработана конструкция вагона-хоппера модели 19-5153-01 для минеральных удобрений со съемной крышей из композиционного материала (рис. 2). Он предназначен для бестарной перевозки по железным дорогам колеи 1520 мм основных видов несслеживаемых гранулированных или порошкообразных сыпучих грузов, требующих укрытия от атмосферных осадков. Его легкая съемная крыша — гладкой, обтекаемой формы, исключающей задерживание воды, изготовлена из композитных материалов и невосприимчива к химическому контакту с минеральными удобрениями. При необходимости замена крыши производится за рабочую смену, после чего вагон отправляется для дальнейшей работы. Демонтированная крыша ремонтируется без простаивания всего вагона [1].

На ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» изготавливают специализированный полувагон модели 12-9765 со съемной крышей (рис. 3). Этот полувагон со съемной крышей и разгрузочными бункерами предназначен для перевозки по железным дорогам Украины, стран СНГ и Балтии в одном направлении глинозема насыпью, с погрузкой через верхние люки и разгрузкой в межрельсовое пространство через нижние люки на специальных разгрузочных устройствах, а в обратном направлении — алюминиевых заготовок и других штучно-тарных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков [2].



Рис. 1. Полувагон со съемной крышей модели 12-146



Рис. 2. Вагон-хopper модели 19-5153-01 для перевозки минеральных удобрений со съемной крышей из композиционного материала



Рис. 3. Специализированный полувагон модели 12-9765 со съемной крышей

Целью данной работы является разработка новой конструкции крыши для полувагонов и исследование ее прочности.

Крыша состоит из рамы и обшивки, выполненной из гофрированных листов прокатной стали толщиной 1,5 мм. Габаритные размеры крыши — 13 080 × 3046 × 320 мм. Рама крыши состоит из двух боковых продольных балок (швеллер 160 × 80 × 5 мм), двух торцевых поперечных балок (швеллер 160 × 80 × 5 мм), пяти промежуточных поперечных балок (труба 40 × 40 × 3 мм), тринадцати дуг поперечных (труба 40 × 40 × 3 мм). Все элементы конструкции крыши соединяются между собой при помощи сварки. Трехмерная геометрическая модель крыши показана на рисунке 4. Предусматривается изготовление всех элементов крыши из стали 3, механические свойства которой приведены в таблице 1.



Рис. 4. Геометрическая модель съемной крыши для полувагонов:
1 — обшивка; 2 — боковая продольная балка;
3 — торцевая поперечная балка; 4 — промежуточная поперечная балка; 5 — дуга поперечная; 6 — торцевой лист обшивки

Данная конструкция крыши может быть дополнена устройствами для закрепления (фиксации) ее на вагоне, трапом для хождения по крыше вагона, ручками для удобства установки крыши на вагон, люками и дефлекторами для вентиляции воздуха внутри вагона, стойками или ножками для хранения и складирования, а также различными петлями и кронштейнами, с помощью которых ее будут устанавливать на вагон после загрузки груза и снимать перед выгрузкой. Для крепления крыши на вагоне можно использовать талрепы, стяжные ремни и т. п. Устанавливать и снимать крышу возможно с помощью различных подъемно-транспортных устройств. При этом необходимо соблюдать правила строповки грузов. В этой статье рассмотрен вариант строповки крыши за четыре петли, размещенные на боковых продольных балках рамы крыши.

Таблица 1

Механические свойства материала крыши

Параметр	Значение
Предел текучести σ_T , МПа	255
Предел прочности σ_B , МПа	380
Относительное остаточное удлинение δ	0,26
Допускаемые напряжения:	
– I расчетного режима $[\sigma]_I$, МПа	242
– III расчетного режима $[\sigma]_{III}$, МПа	165
Модуль упругости E , ГПа	210
Коэффициент Пуассона ν	0,3

Для исследования прочности использовался вычислительный программный комплекс FEMAP, который реализует метод конечных элементов. На основе геометрической модели была разработана пластинчатая конечно-элементная модель крыши, которая представлена на рисунке 5. Конечно-элементная модель крыши состоит из 8-узловых пластинчатых элементов с характерным размером ребра 20 мм.

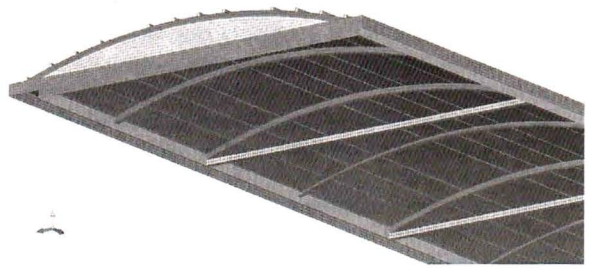


Рис. 5. Конечно-элементная модель съемной крыши для полувагонов

Сетка конечных элементов имеет следующие характеристики:

- количество элементов — 168,5 тыс;
- количество узлов — 150 тыс.

С помощью конечно-элементной модели определен общий вес крыши, который составил 1140 кг (без учета сварочного материала).

Согласно «Нормам для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [3] крыша рассчитывается на прочность при действии двух сил по 1 кН каждая, распределенных на площадке 0,25 × 0,25 м и приложенных на расстоянии 0,5 м друг от друга в любой части крыши, дополнительно рассчитывается при III расчетном режиме (как наиболее опасном) и режиме поднятия краном. Также необходимо выполнить оценку прочности крыши от действия снеговой нагрузки.

Так как место приложения двух сил по 1 кН каждая на площадке 0,25 × 0,25 м и размещенных на расстоянии 0,5 м друг от друга любое, т. е. не регламентируется Нормами [3], то рассмотрен наиболее неблагоприятный вариант размещения этих сил.

При расчете по III расчетному режиму принимается следующее сочетание нагрузок, действующих на крышу:

- сила тяжести крыши;
- вертикальная динамическая сила, определяется умножением силы тяжести крыши на коэффициент вертикальной динамики.

Сила тяжести крыши моделируется путем задания ускорения свободного падения 9,81 м/с² для каждого элемента конечно-элементной сетки. Вертикальная динамическая сила моделируется таким же образом, только в этом случае величина прикладываемого ускорения определяется путем умножения ускорения свободного падения на коэффициент вертикальной динамики.

В расчете принято, что в качестве ходовых частей полувагона применяется тележка модели 18-100, так как большинство полувагонов на сети железных дорог Украины оборудованы этой моделью тележек. Согласно [4] статический прогиб рессорного комплекта тележки модели 18-100 составляет от 46 до 50 мм. Принят наиболее худший вариант статического прогиба — 46 мм. Рассчитанный коэффициент вертикальной динамики составил 0,45.

Режим поднятия краном моделировался путем запрещения перемещения мест приварки петель крыши, которые взаимодействуют со стропами, и действия силы тяжести крыши. Крыша поднимается краном на четырех стропках, которые одним концом соединяются с петлями крыши, а вторым — с крюком крана. В расчете принимается, что длина всех строп одинакова. От длины строп будет зависеть угол между силой, которая действует на петли крыши, и горизонтальной плоскостью. Согласно общим требованиям строповки грузов, груз стропят за все петли, предусмотренные проектом для подъема, ветви стропов должны иметь одинаковое натяжение, и угол между ними не должен превышать 90°. Значит, минимально допустимый угол между стропами

и горизонтальной плоскостью равен 45° (наиболее худший вариант). При такой схеме строповки данной крыши длина каждой ветви стропов определяется как 3/4 от расстояния между двумя петлями, расположенными по диагонали.

Расчет крыши от действия снеговой нагрузки выполняется путем приложения равномерно распределенной силы по всей площади крыши. Запрещается перемещение в вертикальном направлении боковых продольных и торцевых поперечных балок, так как они опираются на верхнюю обвязку кузова полувагона. Согласно [5] максимальное возможное значение снеговой нагрузки для Украины равно 1800 Па. Площадь крыши равна 39 м². Значит, расчетная масса снега на крыше будет равна 70 200 Н или 7156 кг.

В результате расчета крыши по вышеописанным расчетным схемам получены напряженно-деформированные состояния, по которым производится оценка прочности конструкции. В таблице 2 приводятся значения максимальных эквивалентных напряжений (по Мизесу) и деформаций, которые возникают в конструкции крыши, а на рисунках 6 и 7 показаны поля распределения напряжений и деформаций.

Таблица 2

Результаты расчета

Вариант нагружения	Максимальное эквивалентное напряжение, МПа	Максимальная деформация, мм
1. Действие двух сил по 1 кН каждая	171	12,3
2. III расчетный режим	14,5	0,6
3. Режим поднятия краном	96	5,4
4. Воздействие снеговой нагрузки	215	6,2

Как видно из таблицы 2, максимальные эквивалентные напряжения в крыше возникают при воздействии снеговой нагрузки. Они находятся в узле соединения поперечных промежуточных балок, поперечных дуг и боковой продольной балки. Эти напряжения составляют 215 МПа и не превышают предела текучести для стали 3 — 255 МПа. Поля распределения эквивалентных напряжений и деформаций в крыше от действия снеговой нагрузки показаны на рисунке 6.

На рисунке 7 показаны поля распределения напряжений и деформаций, которые возникают от действия двух сил по 1 кН каждая. Из этого рисунка видно, что максимальные значения напряжений и деформаций размещаются в зоне приложения сил.

При расчете крыши по III расчетному режиму напряжения не превышают допустимого значения, приведенного в таблице 1.

В режиме поднятия крыши краном за четыре стропы максимальные напряжения сосредоточены в месте крепления петель для строповки и не превышают предела текучести материала крыши.

Для использования приведенной выше конструкции крыши для полувагонов недостаточно проведения только анализа прочности. Необходимо проводить исследования динамических свойств полувагона с установленной на нем крышей. И не стоит забывать о том, что при установке в верхней части полувагона дополнительной массы в виде крыши поднимается центр тяжести полувагона. Это, по мнению авторов, может негативно повлиять на динамические характеристики вагона при движении в порожнем состоянии. Но этот вопрос требует дополнительного исследования и проведения динамических расчетов и испытаний.

Следует также обращать особое внимание на вписывание вагона с крышей в габарит. Это необходимо учитывать при проектировании крыши и элементов ее крепления на вагоне.

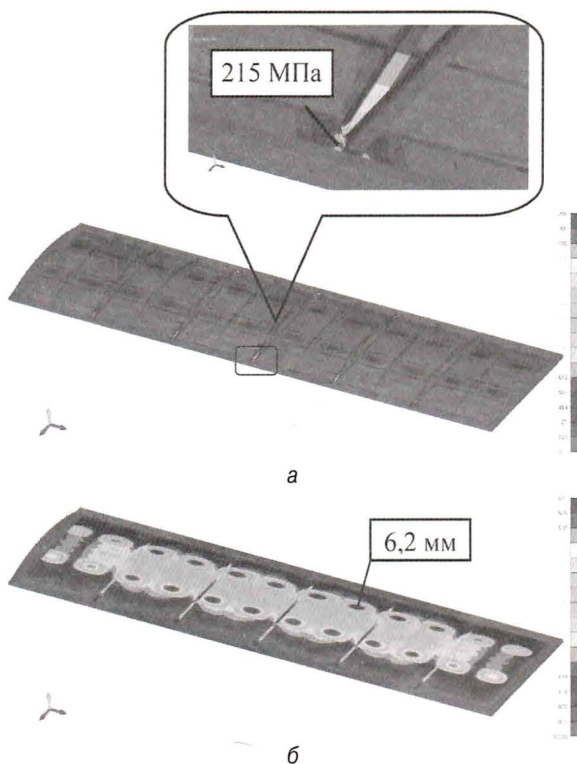


Рис. 6. Поля распределения эквивалентных напряжений (а) и деформаций (б) в крыше от действия снеговой нагрузки, равной 7156 кг

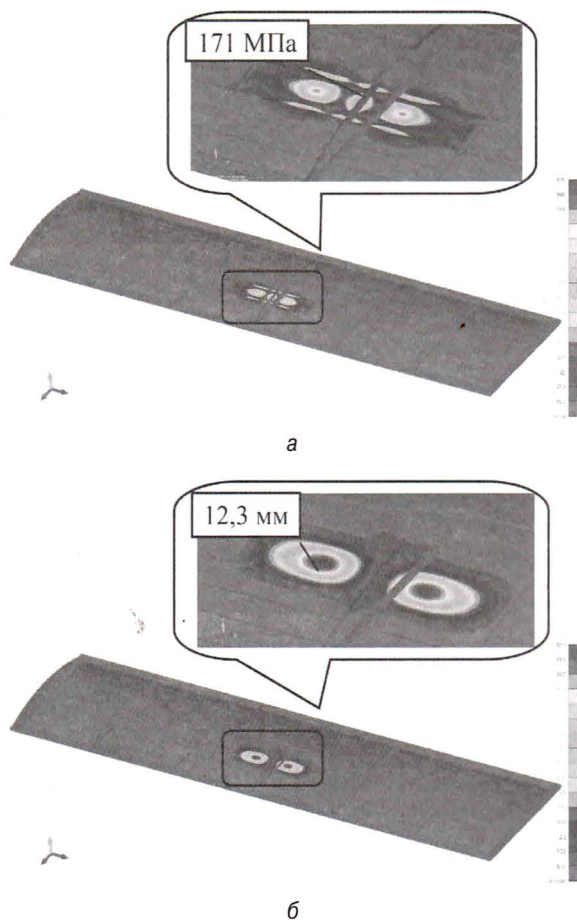



Рис. 7. Поля распределения эквивалентных напряжений (а) и деформаций (б) в крыше от действия двух сил по 1 кН каждая, распределенных на площадке 0,25 × 0,25 м и приложенных на расстоянии 0,5 м друг от друга

Применение предложенной конструкции крыши позволит перевозить в полувагонах грузы, которые требуют защиты от воздействия атмосферных осадков.

Выводы. Разработана конструкция съемной крыши для полувагонов и исследована ее прочность. Как показали результаты расчета, напряжения, возникающие в крыше, не превышают предела текучести материала, а это означает, что остаточных деформаций в конструкции возникать не должно. В результате расчета получены поля распределения эквивалентных напряжений и деформаций по всей конструкции от действия рассмотренных в статье вариантов нагрузжений, что позволяет оценить их уровень в любом районе крыши. Максимальные напряжения возникали от действия снеговой нагрузки. При расчете по III расчетному режиму напряжения не превышали допускаемых значений.

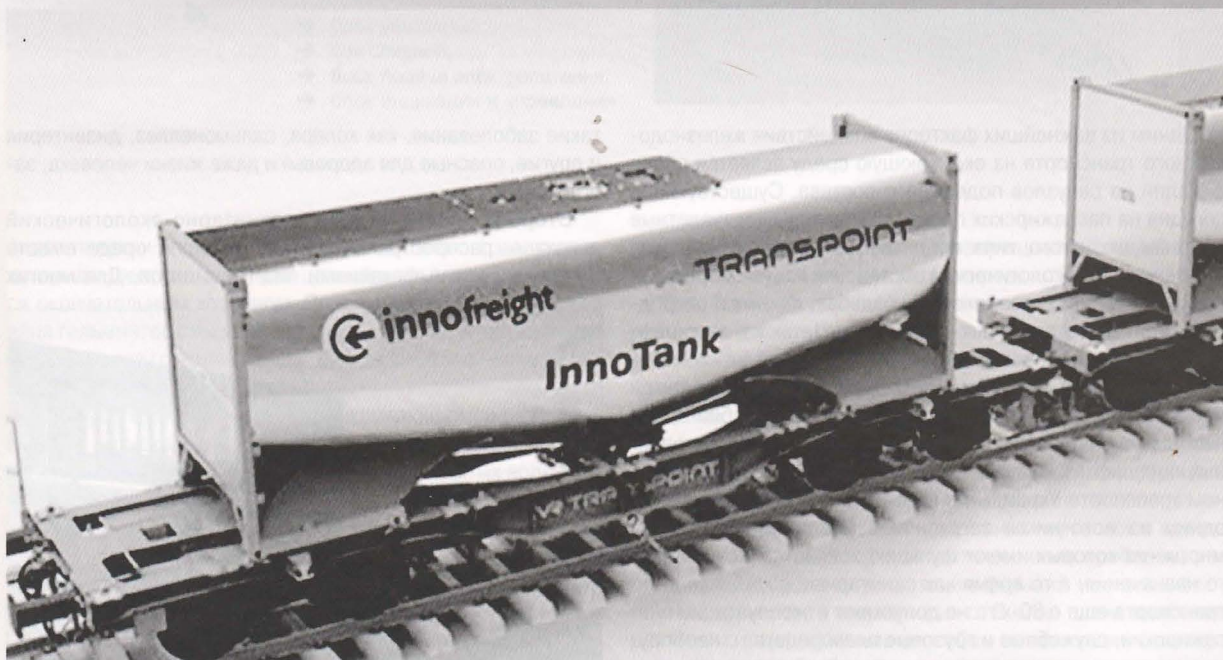
Из полученных результатов можно сделать вывод, что прочность предлагаемой авторами конструкции съемной крыши для полувагонов удовлетворяет требованиям «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [3]. 

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Официальный сайт АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://uvz.ru>*
2. *Официальный сайт ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.kvsz.com>*
3. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 319 с.*
4. *Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР (альбом-справочник). — М. : Транспорт, 1989. — 177 с.*
5. *Государственные строительные нормы Украины. ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Введены в действие с 01.01.2007 г. / К. : Минстрой Украины, 2006. — 78 с.*
6. *Рудаков К. Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций / К. Н. Рудаков. — К. : КПИ, 2011. — 317 с.*

Материал получен 18.11.2015

РОЗРОБКА НОВОГО ВАНТАЖНОГО ВАГОНА FINNOWAGON



Фінська вантажна компанія VR Transport, яка входить до складу державної залізничної компанії Фінляндії VR, та австрійська компанія Innofreight домовилися про розробку нового вантажного вагона зі знімним кузовом для експлуатації його на мережі фінських залізниць із шириною колії 1524 мм.

Угода на суму €10 млн включає в себе розробку прототипу Finnowagon у поточному році. Після отримання офіційного затвердження типу вагона надійде замовлення на поставку 50 вагонів й оренду контейнерів. Транспортні засоби, як очікується, надійдуть в експлуатацію наприкінці 2017 року.

Вагони здійснюватимуть перевезення продукції гірничодобувної промисловості й енергетичної сировини з біомаси, а також замінять застарілі транспортні засоби, у тому числі вагони-цистерни. Необхідна кількість нових вагонів буде визначатися в міру реалізації проекту.

«Це модульне рішення приведе до нового виду маневреності нашої логістичної служби», — вважає Рольф Янссон, старший віце-президент із логістики компанії VR.

За матеріалами <http://www.railwaygazette.com>