

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАПРАВЛЕННОГО НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Доктор тех. наук, доцент **Фомин А. В.** (Государственный экономико-технологический университет транспорта, ГЭТУТ), доктор тех. наук, профессор **Горбунов Н.И.** (Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, ВНУ им. В Даля), старший преподаватель **Стецко А. А.** (Государственный экономико-технологический университет транспорта, ГЭТУТ), кандидат тех. наук, доцент **Карпов А.П.** (Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, ВНУ им. В Даля)

DEFINITION OF COMPONENTS FOR CREATING FREIGHT CARS AIMED DEFLECTED MODE

Doctor (Tech.), Asist. Professor **Fomin O.V.** (State Economy and Technology University of Transport), Doctor (Tech.), Professor **Gorbunov N.I.** (East Ukrainian Volodymyr Dahl National University), Senior Lecture **Stetsko A.A.** (State Economy and Technology University of Transport), Ph. D. (Tech.), Asist. Professor **Karpov A.P.** (East Ukrainian Volodymyr Dahl National University)

Транспортная механика, грузовой вагон, направленное напряженно-деформированное состояние, несущие системы, предварительно напряженные составляющие.

Mechanical transport, cargo carriage, aiming mode of deformation, load-bearing systems, prestressed components.

В статье представлены особенности и результаты проведенных исследований по определению конструктивных составляющих грузовых вагонов для создания направленного напряженно-деформированного состояния (на

основе принципа предварительных напряжений). Научно обоснована целесообразность и способы реализации направленного напряженно-деформированного состояния для вагонных конструкций.

The article features and the results of studies to determine the structural components of freight wagons for creating directional stress-strain state (on the basis of pre-stress). Scientific expediency and ways of implementing the directional stress-strain state for car design.

Актуальность проблемы

Комплексной программой обновления железнодорожного подвижного состава Украины на 2008-2020 годы, утвержденной распоряжением Кабинета Министров Украины от 14 октября 2008 года № 1259 предусмотрено обновление грузового вагонного парка новыми и модернизированными моделями грузовых вагонов отечественного производства с современным уровнем технико-экономических и эксплуатационных показателей [1, 2]. Для решения вышеуказанного актуального научно-технического задания разворачиваются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на снижение материалоемкости, себестоимости изготовления, ремонта и эксплуатации отечественных специализированных грузовых вагонов, повышение их грузоподъемности, осевой нагрузки, эксплуатационной надежности, увеличение срока службы и межремонтных пробегов и т. д. Вместе с тем конструкция грузового вагона является сложной технической системой, при проектировании которой необходимо учитывает специфику ее работы (эксплуатационные и ремонтные нагрузки, погодные факторы и т. д.). Поэтому на современном уровне решать эти задачи целесообразно с использованием методов теории оптимизации реализуя системный подход.

Для решения вышеупомянутого актуального научно-технического задания разворачиваются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы [1, 2]. Они направлены на снижение материалоемкости, себестоимости изготовления, ремонта и эксплуатации отечественных грузовых вагонов на

стадиях жизненного цикла, продления срока службы и межремонтных пробегов и т. д. На современном уровне решать эти задачи целесообразно с использованием новых методов конструкторской идеологии реализуя системный подход [2, 3]. При этом особая роль отводится разработке и использованию формализованных описаний предложенных новых подходов и способов проектирования грузовых вагонов [4-7], которые бы учитывали взаимосвязь отдельных элементов и были адаптированные к современным программным комплексам. Результаты анализа успешного решения аналогичных проблем в других областях создания несущих конструкций [8, 9] (аэротехника, ракетостроения, нефтегазовая, топливная, строительная и др.), обусловили перспективность внедрения предварительно напряженных узлов, конструкций [10] и грузовых вагонов [1, 2]. Однако не было описано в каких именно составляющих грузовых вагонов и каким способом можно создать направленное напряженно-деформированное состояние. Анализ многочисленной научной и специально-технической литературы по рассматриваемому профилю засвидетельствовал отсутствие содержательной информации по разработке и использованию научного подхода по созданию направленного напряженно-деформированного состояния конструкций грузовых вагонов и их составных.

Цель настоящей статьи. освещение результатов исследований по определению составляющих грузовых вагонов для создания направленного напряженно-деформированного состояния и наиболее эффективных способов его обеспечения, а также схематизации соответствующих результатов. Сказанное проводилось на основе анализа конструктивных особенностей и эксплуатационных повреждений грузовых вагонов. На примере рамы перспективного вагона-цистерны представлены особенности практической реализации предложенного научного подхода для проектирования несущих систем грузовых вагонов.

Материал и результаты исследований

В рамках проведенных исследований анализировались основные эксплуатационные повреждения грузовых вагонов, их конструктивные связи и особенности выполнения составляющих.

Современный парк грузовых вагонов характеризуется многообразием их типов и конструкций, вызвало необходимостью удовлетворения различных требований участников их жизненного цикла. В основном парк грузовых вагонов состоит из: полувагонов, вагонов-платформ, вагонов-цистерн, вагонов-хопперов, крытых, изотермических и вагонов специального назначения, а также контейнеров общего и специального назначения. При этом основным модулем грузовых вагонов, от конструкции которого зависит его тип является модуль кузова [2], можно классифицировать по следующим признакам:

В зависимости от рода перевозимых грузов открытые и закрытые. В зависимости от конструкции рамы – со сплошной хребтовой балкой, не сплошной хребтовой балкой и без хребтовой балки. В зависимости от конструкции элементов для загрузки и выгрузки грузов – с дверью на боковых стенах или люками крыши и пола.

Конструкция кузова того или иного типа вагона определяется его назначением [11], поэтому кузова различных типов вагонов по своей конструкции достаточно разные, но во всех них много общего.

Рама служит основой кузова, на ней крепится автосцепное и тормозное оборудование вагона. Она через пятники опирается на ходовые части и воспринимает все виды нагрузок, действующих на кузов. Рама должна обладать достаточной прочностью и жесткостью, быть простой по конструкции, надежной в эксплуатации, доступной для технического осмотра. Во всех типах вагонов рама состоит из трех основных несущих балок: хребтовой, боковых продольных и набора поперечных (конечных, шворневых и промежуточных).

Далее графически изображено кузова и рамы основных типов грузовых вагонов (рис. 1).

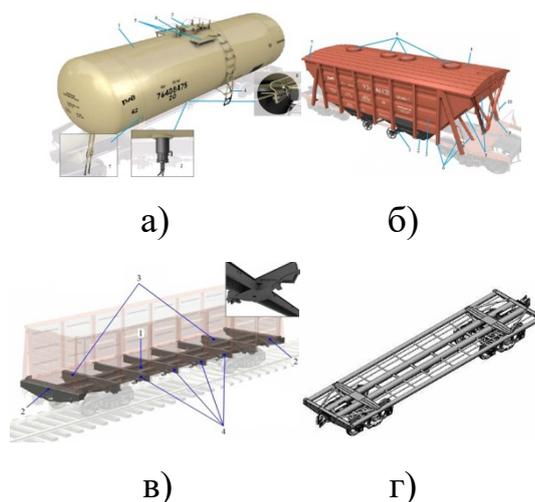


Рис. 1. Графическое изображение кузовов и рам существующих и перспективных грузовых вагонов:

- а) котел вагона-цистерны; б) кузов вагона-хоппера; в) рама полувагона; г) вагон-платформа перспективная с рамой выполненной из труб

Хребтовая балка – служит для крепления на ней автосцепного и тормозного оборудования. Через автосцепное устройство она передает продольные силы на другие вагоны. Но поскольку она жестко связана и с другими элементами кузова, то рядом с продольными воспринимает также и вертикальные силы. Ее изготавливают из прочных прокатных Z-образных, швеллерных и двутавровых профилей.

Железнодорожный транспорт оперирует большим количеством контейнеров. В общем случае контейнеры можно классифицировать, как съемный модуль кузова грузового вагона.

На основе комплексного анализа [1, 3, 4, 8] эксплуатационных особенностей грузовых вагонов можно сделать следующие выводы. В качестве основных видов эксплуатационных повреждений грузовых вагонов [12] можно выделить следующие неисправности кузова и рамы (рис. 2), которые можно преодолеть с помощью внедрения определенных способов предварительного напряжения.

Внедрение новых концептов прорывных идей конструкторской идеологии несущих модулей грузовых вагонов позволит системно повысить

эффективность грузоперевозок железнодорожным транспортом, охарактеризуется рядом преимуществ для инфраструктуры, производителей, инвестиционной привлекательности, операторов движения, эксплуатации, экологии.

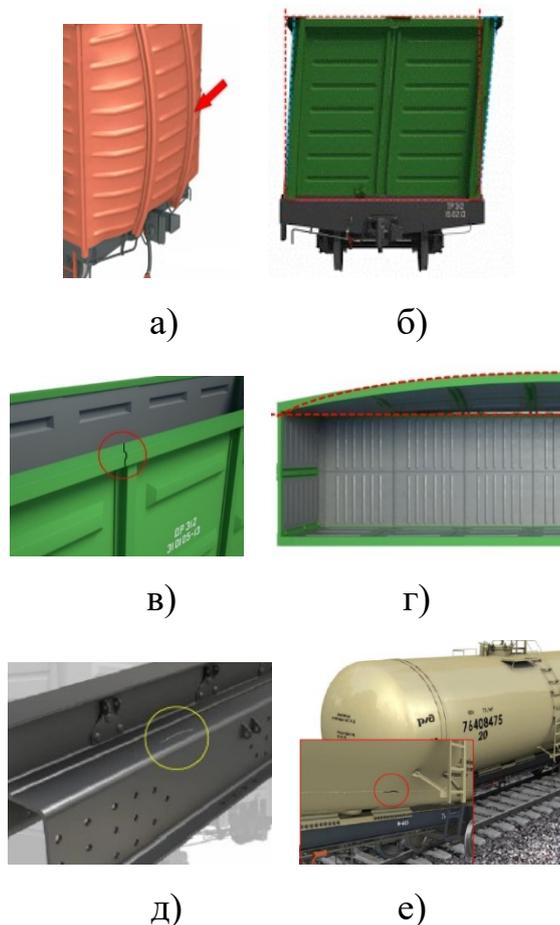


Рис. 2. Неисправности кузова и рамы грузовых вагонов, возникающих в эксплуатации:

а) изгиб торцевой стены наружу; б) перекос кузова более 75 мм; в) переломы и трещины в верхней обвязке; г) расширение кузова более 75 мм на одну сторону; д) продольные трещины в балках рамы длиной более 300 мм; е) трещина шва котла

На основе имеющегося у авторов опыта успешного создания теоретических положений, методологических основ и практических средств для разработки инновационных объектов транспортного машиностроения предлагается

следующие рабочие гипотезы усовершенствования конструкций грузовых вагонов [2]:

- переход от статически определенных к статически неопределенным конструкциям ресурсопределённых зон и зон возможных разрушений с целью снижения результирующих напряжений и перераспределения напряжений;
- создание конструкций с нагруженными узлами без избыточных связей, запасов прочности и жесткости, например, за счет внедрения гибких связей;
- создание конструктивных схем, где несущие элементы максимально возможно работают на сжатие-растяжение вместо изгиба и кручение;
- создание несущих элементов как сочлененных несущих оболочек с возможностью формирования «сендвич» панелей с направленными свойствами;
- создание равнонапряженности и предварительно напряженных конструкций несущих элементов с целью снижения уровня напряжений и, как следствие, снижение массы конструкции;
- внедрение страхующих элементов с целью обеспечения временной нетрудоспособности элементов конструкции при аварийных ситуациях;
- внедрение multifункциональных элементов, в частности упруго-диссипативных несущих элементов, сочетающих в себе функции жестких соединений элементов с упругими и демпферами с целью значительного снижения массы, количества элементов конструкции, соединений;
- создание конструкций с индикаторами критического состояний и возможностью автономной самодиагностики.

При этом применены общепринятые методы формирования и анализа конструкций и направленных напряженно-деформированных состояний элементов. Для формирования схемы потенциальных составляющих и способов направленного напряженно-деформированного состояния применялись принципы блочности, вариантности и иерархичности исследований технических систем.

Принцип блочности – обеспечивает разделение соответствующих схематических описаний на каждом иерархическом уровне на ряд блоков с возможностями их отдельного исследования.

Принцип вариантности – обуславливает разработку фонда вариантов схематических исполнения, в соответствии с принятыми во внимание направлениям исследования с выделением существующих и перспективных технических решений выполнения их составляющих.

Принцип иерархичности – предполагает структурирование схематического описания по степени детальности с выделением отдельных иерархических уровней.

Сосредоточено внимание над авторской гипотезой о целесообразности внедрения в конструкции грузовых вагонов предварительно напряженных несущих элементов. Под предварительным напряжением конструкций понимают разнообразные приемы искусственного регулирования напряжений (управление напряженно-деформированным состоянием) в конструкциях для повышения их эффективности. Вмешательство в естественную работу объекта для направленного изменения его потенциальной энергии деформации может происходить на разных стадиях: в процессе изготовления, при установке, при эксплуатации или модернизации и на разных уровнях: конструктивных элементов или узлов, модулей и системы в целом.

Критериями эффективности применения предварительного напряжения в металлоконструкциях могут быть как экономические требования по снижению массы и стоимости объектов, так и технологические (повышение жесткости, сохранение формы элементов несущих конструкций, изменение динамических характеристик, повышение трещиностойкости и уменьшения усталостной прочности и т.д.). В этом отношении металлоконструкции имеют более широкие возможности применения предварительного напряжения, чем железобетонные и сталежелезобетонные, где этот прием развился, прежде всего, как средство борьбы с малой прочностью бетона, при растяжении.

Для классификации по использованию в грузовом вагоностроении направленного напряженно-деформированного состояния можно выделить следующие способы создания предварительного напряжения:

1) обжатия отдельных растянутых, сжатых и изогнутых полых/сплошных замкнутых/незамкнутых профилей и целых элементов (балок, рам) затяжками различного вида из высокопрочных материалов;

2) предварительный упругий изгиб отдельных элементов с последующей их фиксацией в согнутом состоянии в целый конструктивный элемент (балка);

3) предварительная вытяжка целых конструкций или отдельных их частей с целью увеличения области упругой работы материала;

4) предварительное натяжение отдельных включенных гибких стержней (тросы, пучки проволоки, арматура) для восприятия ими сжимают усилий;

5) временная загрузка в процессе изготовления или установки отдельных элементов конструкции или всей конструкции с последующим закреплением конструкции под нагрузкой для рационального распределения усилий и повышения ее жесткости и устойчивости;

6) создание предварительного напряжения в прокатных профилях путем завальцовки в них предварительно натянутой высокопрочной проволоки (например, при создании гибких вагонных соединений);

7) предварительный нагрев/охлаждение отдельных деталей с целью увеличения/уменьшения их геометрических размеров.

В качестве примера применения для грузовых вагонов рассмотрим предварительный нагрев, который может использоваться для того, чтобы предотвращать образование трещин и/или обеспечить необходимые механические свойства, например, ударную вязкость. Предварительный нагрев можно выполнять в печи или с помощью нагревательных горелок, электрических пластинчатых радиаторов или индукционных, или лучистых нагревателей.

В связи с разнообразием конструктивных схем вагонов следует разработать классификацию, которая свяжет и систематизирует характер внедрения

предварительного напряжения с особенностями (типажом) грузовых вагонов их универсальных и специфических составляющих. Блочно-иерархическая схема потенциальных составляющих внедрения предварительного напряжения в несущие системы грузовых вагонов представлена на рис. 3.

Как видно из схемы формализованное описание потенциальных составляющих внедрения предусматривает выделение четырех иерархических уровней:

I уровень содержит «Тип вагона», который предусматривает внедрение основных типов вагонов. Уровень в свою очередь делится на вагоны с стационарными несущими системами (B_1 – тип «Полувагон», B_2 – тип «Крытый вагон», B_3 – тип «Вагон-цистерна», B_4 – тип «Вагон-платформа» и B_5 – тип «Вагон-хоппер») и с съемными несущими системами (B_6 – тип «Контейнер»). При этом тип «Полувагон» включает универсальные и специализированные полувагоны; тип «Крытый вагон» – крытые вагоны обычной конструкции и изотермические вагоны; тип «Вагон-цистерна» – 4-х и 8-ми осные цистерны; тип «Вагон-платформа» – вагоны-платформы обычной конструкции с бортами и безбровые, скелетной типа для перевозки контейнеров и вагоны-транспортеры; тип «Вагон-хоппер» – вагоны-хопперы открытого и закрытого типа; тип «Контейнер» – универсальные и специализированные контейнеры.

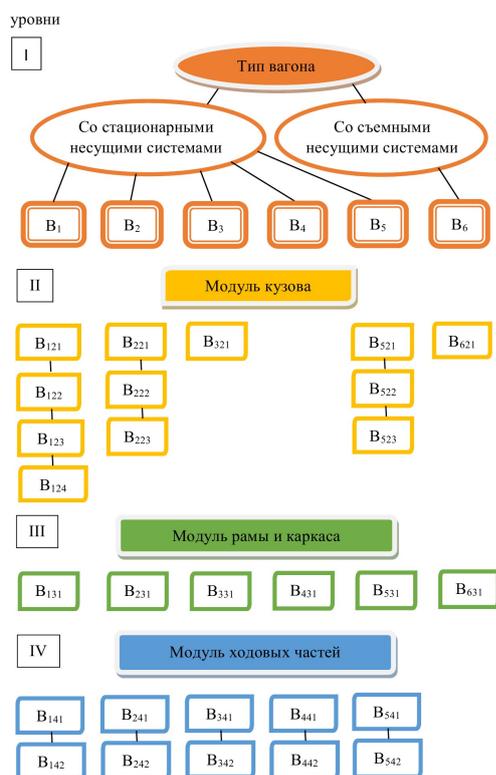


Рис. 3. Схема потенциальных составляющих внедрения предварительного напряжения в несущие системы грузовых вагонов

II уровень содержит «Модуль кузова».

Для типа B₁ – «Полувагон» целесообразно в элементах: B₁₂₁ – «Обвязка верхняя и нижняя боковых стен» использовать способы 1-7 (под способом 1-7 имеется в виду применение способов совместно или отдельно друг от друга); B₁₂₂ – «Стойки боковых стен» – способы 1-7; B₁₂₃ – «Горизонтальные пояса и обвязки верхнее стен торцевых» – способы 1-7; B₁₂₄ – «Дуги крыши для вагонов со съёмной крышей» – способы 1-7. Для типа B₂ – «Крытый вагон» целесообразно в элементах: B₂₂₁ – «Обвязка верхняя боковых стен» можно использовать способы 1-7; B₂₂₂ – «Стойки боковых и торцевых стен» – способы 1-7; B₂₂₃ – «Дуги крыши» – способы 1-7. Для типа B₃ – «Вагон-цистерна» целесообразно в элементе B₃₂₁ – «Котел» использовать способ 4. Для типа B₄ – «Вагон-платформа» нецелесообразно использовать. Для типа B₅ – «Вагон-хоппер» целесообразно в элементах: B₅₂₁ – «Обвязка верхняя боковых стен»

использовать способы 1-7; V_{522} – «Стойки боковых стен» – способы 1-7; V_{523} – «Дуги крыши для закрытого типа» – способы 1-7. Для типа V_6 – «Контейнер», а именно для типа контейнер-цистерна, целесообразно в элементе V_{621} – «Котел» использовать способ 4.

III уровень содержит «Модуль рамы и каркаса».

Для типа V_1 – «Полувагон» целесообразно в элементе V_{131} – «Балки рамы» использовать способы 1-7. Для типа V_2 – «Крытый вагон» целесообразно в элементе V_{231} – «Балки рамы» использовать способы 1-7. Для типа V_3 – «Вагон-цистерна» целесообразно в элементе V_{331} – «Балка хребтовая 4-осной цистерны» использовать способы 1-7. Для типа V_4 – «Вагон-платформа» целесообразно в элементе V_{431} – «Балки рамы» использовать способы 1-7. Для типа V_5 – «Вагон-хоппер» целесообразно в элементе V_{531} – «Балки рамы» использовать способы 1-7. Для типа V_6 – «Контейнер» целесообразно в элементе V_{631} – «Каркас контейнера» использовать способы 1-7.

IV уровень содержит «Модуль ходовых частей».

Для типов V_1 – «Полувагон», V_2 – «Крытый вагон», V_3 – «Вагон-цистерна», V_4 – «Вагон-платформа» и V_5 – «Вагон-хоппер» целесообразно в элементах: V_{141} , V_{241} , V_{341} , V_{441} , V_{541} – «Балка наддрессорная и боковая» использовать способы 1-7; V_{142} , V_{242} , V_{342} , V_{442} , V_{542} – «Затяжка под буксой (как в тележках типа Барбер)» – способ 4 и/или 7. Для типа V_6 – «Контейнер» нецелесообразно использовать.

Проведя анализ схемы потенциальных составляющих внедрения предварительного напряжения в несущие системы грузовых вагонов (рис. 4) применительно к вагону-цистерне, видно что уровень II «Модуль Кузова» включает элемент V_{321} – «Котел» для создания напряженно-деформированного состояния которого целесообразно использовать способ 4 (навивка проволоки по его поверхности), уровень III «Модуль рамы и каркаса» содержит элемент V_{331} – «Балка хребтовая 4-осной цистерны» для которого существует возможность применять способы 1-7 совместно и/или отдельно друг от друга, уровень III «Модуль рамы и каркаса» имеет элементы: V_{341} – «Балка

наддресорная и боковая» – способы 1-7 и В₃₅₁ – «Затяжка под буксой (как тележек типа Барбер)» – способ 4 и/или 7.

В качестве примера внедрения предложенного технического решения рассмотрена перспективная конструкция рамы вагона-цистерны, которая выполнена из круглых труб. При этом был использован четвертый способ в классификации (использование троса) для создания направленного напряженно-деформированного состояния. На первом этапе практического подтверждения выдвинутых предположений был выполнен комплексный конструкторско-расчетный анализ. Была создана компьютерная модель, адаптированная к расчетам и смоделировано натяжение тросов, рассматривался один из самых ключевых расчетных режимов это работа рамы на растяжение, для этого натягивался трос с компенсационными нагрузками на сжатие, предварительно такие нагрузки располагались в двух возможных местах: в условном месте крепления переднего упора (рис. 4) и заднего упора (без троса, с натяжением троса 294 кН и с натяжением троса 1274 кН).

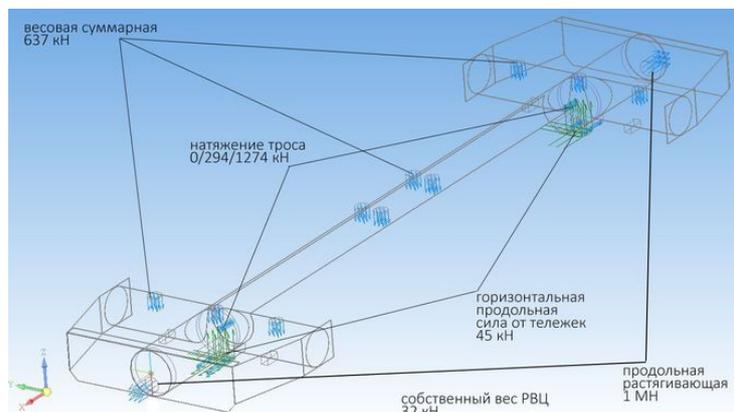
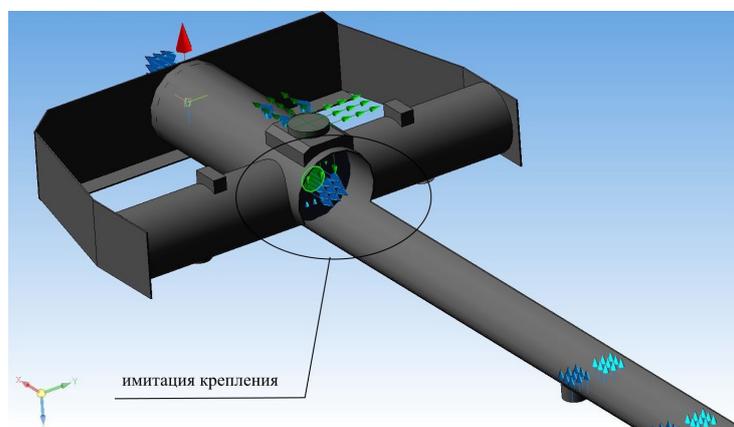
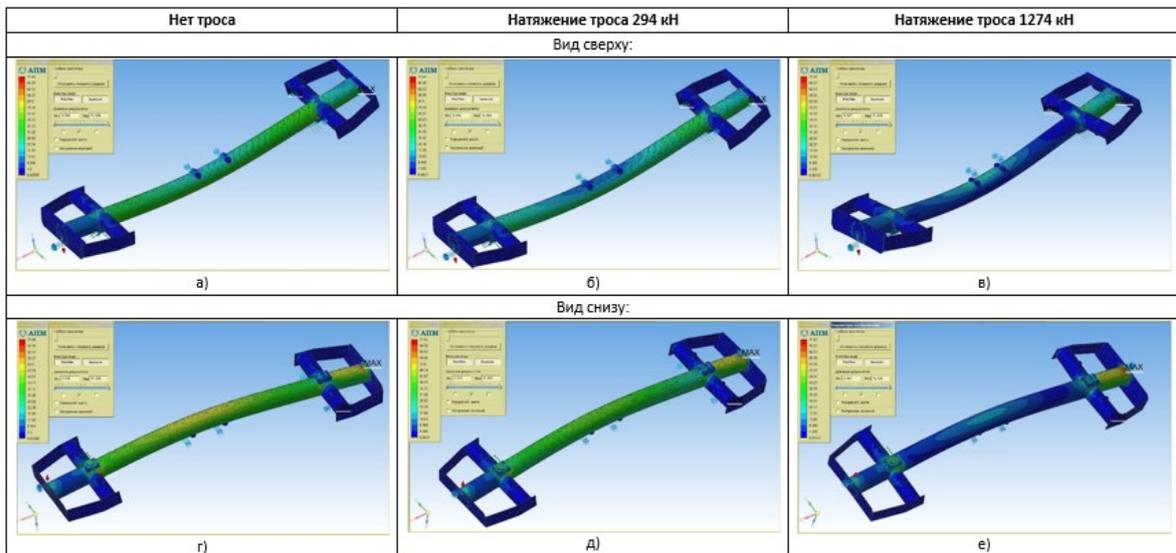


Рис. 4. Особенности приложения нагрузок на расчетную компьютерную пространственную модель

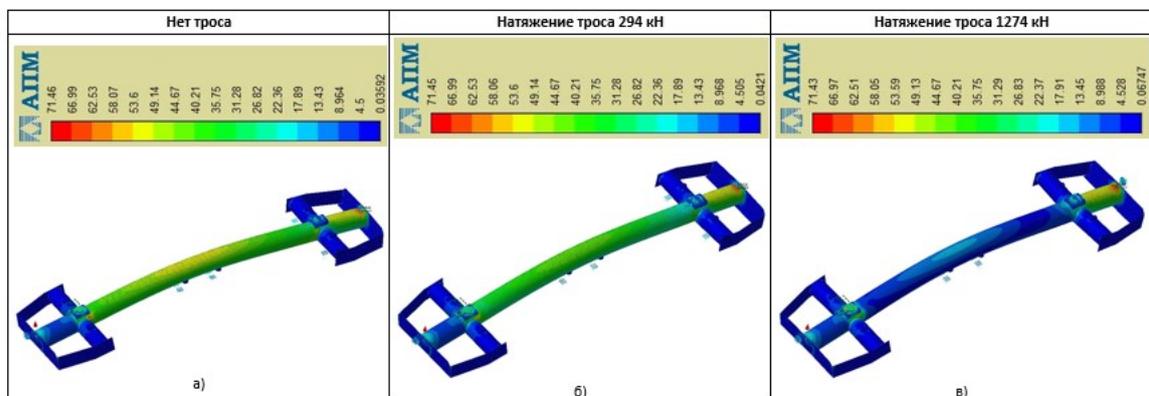
Построенная конечно-элементная сетка модели рамы вагона-цистерны имеет следующие параметры: максимальная длина стороны элемента – 50 мм; максимальный коэффициент сгущения на поверхности – 1; коэффициент разрежения в объеме – 2,5; количество конечных элементов – 123145; количество узлов – 41715.

Получены следующие результаты (показаны наиболее значимые):

- 1) при натяжении троса между передними упорами (рис. 5);



Напряжённо-деформированное состояние системы



Карта эквивалентных напряжений по Мизесу

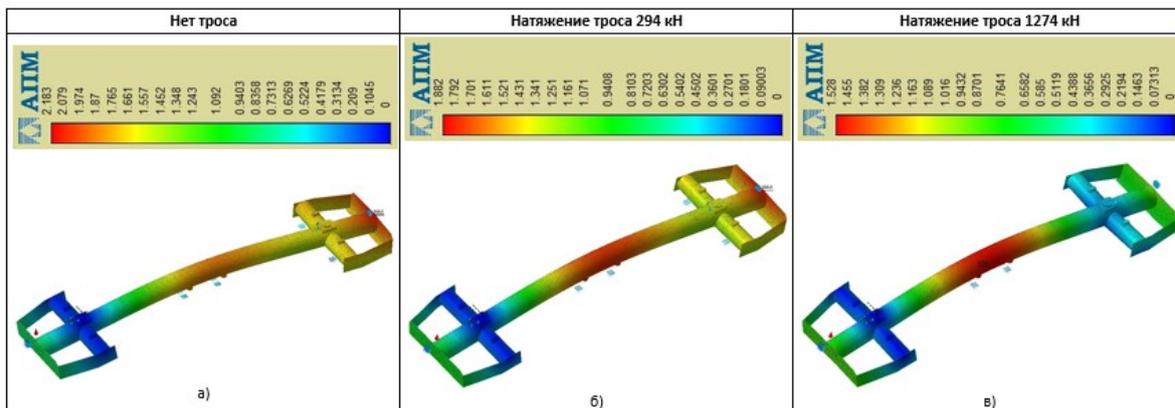
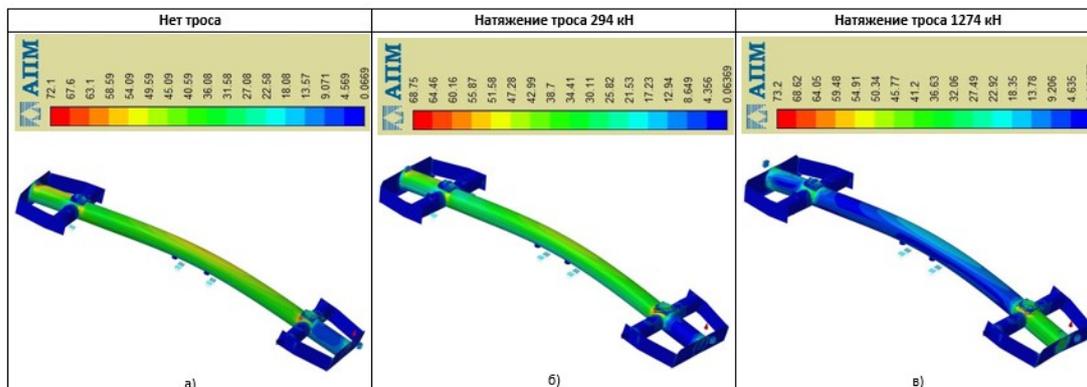
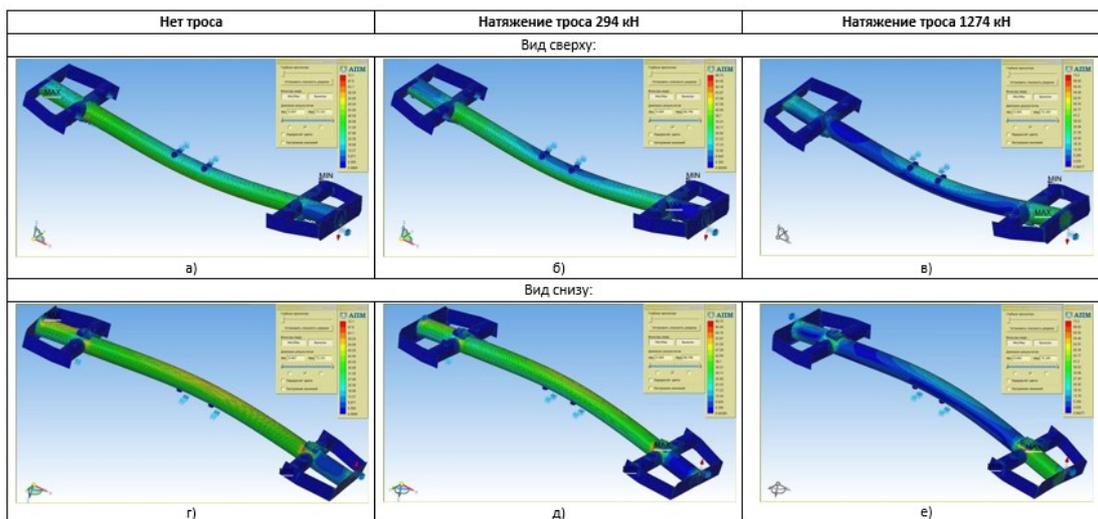
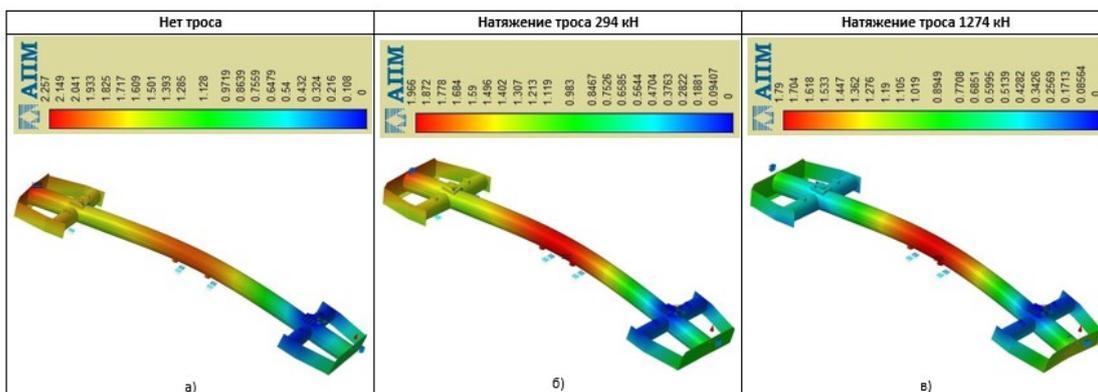


Рис. 5. Результаты расчетов при натяжении троса между передними упорами

2) при натяжении троса между задними упорами (рис. 6).





Карта суммарных линейных перемещений

Рис. 6. Результаты расчетов при натяжении троса между задними упорами

На рис. 7 представлены столбчатые диаграммы эквивалентных напряжений по Мизесу в ключевых элементах рамы вагона-цистерны (задний упор, передний упор, середина хребтовой балки, середина шкворневой балки и соединении шкворневой и хребтовой балок).

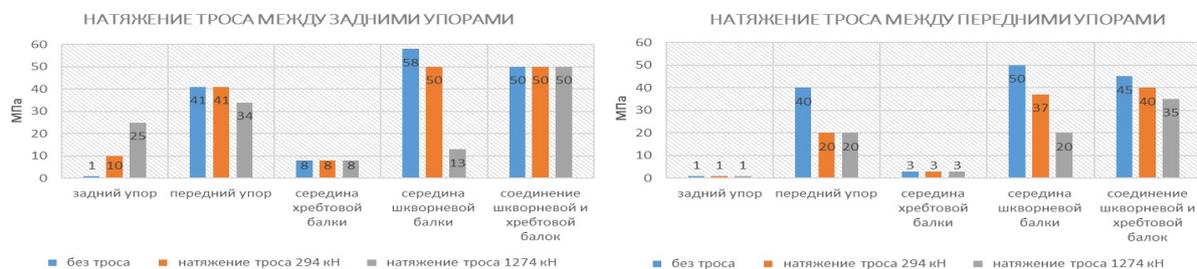


Рис. 7. Анализ результатов эквивалентных напряжений по Мизесу в ключевых элементах

С диаграммы видно значительное снижение напряжений: 1) при натяжении троса между задними опорами: в средней части шкворневой балки на 13-78 %; 2) при натяжении троса между передними опорами: в средней части шкворневой балки на 26-60 %, переднем упоре на 50 % и в соединении шкворневой и хребтовой балок на 11-22 %. То есть можно сделать

предварительный вывод, что введение предварительно натянутого троса в конструкцию рамы положительно влияет на снижение напряжений.

Также был подан патент на изобретение Украины, регистрационный номер заявки а 2017 00044 название изобретения «Вагон-цистерна».

Выводы

Определены наиболее распространенные эксплуатационные повреждения несущих систем грузовых вагонов: изгиб торцевой стены наружу, перекос и расширение кузова, изломы, трещины и другие неисправности. Установлены потенциальные места для внедрения направленного напряженно-деформированного состояния в грузовых вагонах: элементы кузова (обвязка верхняя и нижняя боковых стен, горизонтальные пояса и обвязки верхнее стен торцевых, дуги крыши, стойки боковых и торцевых стен и другие), балки рамы и ходовые части. Обоснована целесообразность внедрения и выделено семь способов реализации направленного напряженно-деформированного состояния для вагонных конструкций. Разработана блочно-иерархическая схема потенциальных составляющих внедрения предварительного напряжения в несущие системы грузовых вагонов. Проведен предварительный расчет, который показал положительные результаты предложенного научного подхода к его применению для конструкции вагонов-цистерн. Теоретические расчеты подтвердили целесообразность внедрения предварительного напряжения в несущие системы грузовых вагонов, например, для вагона-цистерны материалы которые представлены в статье показывают, снижение нагрузок от 20 до 60 % в наиболее напряженных ответственных несущих элементах.

Литература

1. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014 (5). P. 31–43.
2. Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication

of their evolution stages / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University . 2015 (2). P. 68-76.

3. Panchenko, S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2016. – Vol.2. – P. 93–99.

4. Lovskaya, A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / Alyona Lovskaya, Andrey Ryibin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – T. 3, N 7(81). – С. 4–8. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054/>

5. Tartakovskiy, E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems / Eduard Tartakovskiy, Oleksandr Gorobchenko, Artem Antonovych // Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies– 2016. – T. 5, N 3 (83). – P. 4–11. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80198>.

6. Mohyla, V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mohyla, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Int. Sci. J. “Transport Problems”. – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.

7. Pilatau A. Y. Analysis of syngas formation and ecological efficiency for the system of treating biomass waste and other solid fuels with CO₂ recuperation based on integrated gasification combined cycle with diesel engine / A. Y. Pilatau, H. A. Viarshyna, A. V. Gorbunov, O. S. Nozhenko, H. S. Maciel, V. Y. Baranov, O. V. Mucha, R. Mauraο, P. T. Lacava, I. Liapeshko, G. Petraconi Filho, A. Matus // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering - October 2014, Volume 36, Issue 4. – P. 673-679.

8. Сулейменов, У.С. Перспективы применения предварительного напряжения в металлических конструкциях нефтеперерабатывающей промышленности / У.С. Сулейменов, А.Б. Молдагалиев, Н.Ж. Жанабай, М.К. Укибаев // Наука и образование Южного Казахстана. – 2005. – № 3. – С. 51-53.

9. Айнабеков, А.И. Работа надземных предварительно напряженных трубопроводов при эксплуатационных нагрузках / А.И. Айнабеков, Б.Р. Арапов,

У.С. Сулейменов // Наука и образование Южного Казахстана. – 2003. – № 35. – С. 12-14.

10. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции / В.В. Михайлов // – М.: АСВ, 2002. – 256 с.

11. Лукин, В.В. Конструирование и расчёт вагонов. Учебник для вузов ж.-д. трасп. / Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов // – Москва: УМК МПС РФ, 2000. – 726 с.

12. Устич, П.А. Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / П.А. Устич, И.И. Хаба // – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.

Сведения об авторах:

Фомин Алексей Викторович, доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта (ГЭТУТ)

Украина, 03049, г. Киев, ул. И. Огиенко, 19

E-mail: fomin1985@list.ru

Горбунов Николай Иванович, доктор техн. наук, профессор кафедры «Железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля (ВНУ им. В Даля)

Украина, 93400, г. Северодонецк, пр-т Центральный, 59-а

Стецко Антон Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта (ГЭТУТ)

Украина, 03049, г. Киев, ул. И. Огиенко, 19

E-mail: stetsko.anton@mail.ru

Карпов Алексей Петрович, к.т.н., доц. с.н.с. кафедры «Железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля (ВНУ им. В

Даля)

Украина, 93400, г. Северодонецк, пр-т Центральный, 59-а