

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.66.018«401.4»

В. Г. АНОФРИЕВ<sup>1</sup>, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР<sup>2</sup>, В. А. КАЛАШНИК<sup>3\*</sup>, В. П. КУЛЕШОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта anofrievvg@mail.ru, ORCID 0000-0002-0622-9231

<sup>2</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

<sup>3</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

<sup>4</sup>Каф. «Тяговый подвижной состав железных дорог», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 39, эл. почта kulieshov.volodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-8002-1519

### К ВОПРОСУ ПРОДЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ВАГОНОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОКАТЫШЕЙ

**Цель.** Грузовой вагонный парк «Укрзалізниці» имеет в основном вагоны с превышением установленного нормативного срока службы. Такая же ситуация наблюдается и в парке специализированных вагонов. Так, парк вагонов для перевозки окатышей имеет около 50 % вагонов, отслуживших полуторный и более срок эксплуатации. Вместе с тем, объем перевозок железорудного сырья постоянен в течение ряда лет. В связи с этим возникает необходимость в поиске методов обоснования возможности продолжения полезной эксплуатации вагонов и оценки соответствия остаточного ресурса конструкции кузовов вагонов эксплуатационным нагрузкам в течение продленного срока использования. **Методика.** При отборе вагонов для испытаний выполнялось техническое диагностирование состояния вагонов с целью выявления уровня коррозионных и механических повреждений. Для оценки возможности дальнейшей эксплуатации вагонов проводилось экспериментальное определение уровня нагруженности и напряженного состояния несущих конструкций кузовов вагонов на основе статических, ударных на прочность и ресурсных испытаний. При ресурсных испытаниях вагоны должны выдерживать соударения с продольными усилиями до 3,5 МН, общее количество которых эквивалентно заданному сроку службы. **Результаты.** Диагностирование вагонов до испытаний показало, что техническое состояние вагонов для перевозки окатышей, в целом, находится в удовлетворительном состоянии. Проведенные статические и ударные испытания на прочность с последующей оценкой прочности элементов конструкции вагонов показали, что она обеспечивается согласно нормативных документов, и такие вагоны не несут угрозы безопасности движения. Ударные ресурсные испытания показали, что все вагоны прошли эти испытания без повреждений, которые бы препятствовали их проведению и не могли быть устранены при плановых видах ремонта. Вагоны имели наработку на ресурс, которая позволяет продлить их полезную эксплуатацию после полуторного срока службы. **Научная новизна.** Авторами получена оценка остаточного ресурса кузовов вагонов для перевозки окатышей, отработавших назначенный полуторный срок службы. **Практическая значимость.** Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность обоснованного продления срока службы вагонов после полуторного срока их эксплуатации. Результаты работы могут быть использованы при продлении срока службы вагонов для перевозки окатышей. Часть вагонного парка, которая должна была

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

списываться в связи с истечением назначенного полуторного срока эксплуатации, без дополнительных мероприятий может продолжить срок службы.

*Ключевые слова:* вагон для перевозки окатышей; срок эксплуатации; прочность конструкции; соответствие; статические испытания; ударные испытания; наработка на ресурс

**Введение**

Общий парк грузовых вагонов Украины на начало 2016 г. насчитывает более 170 тыс. вагонов, большую часть которого составляют универсальные вагоны. Структура парка грузовых вагонов по типам в процентах приведена на рис. 1: здесь категории 1–4 обозначают универсальные вагоны (72 %), категории 5–9 – специализированные (28 %).

При этом инвентарный парк УЗ составляет около 63 %, частный парк вагонов – 37 %. Последний принадлежит преимущественно крупным металлургическим, горнодобывающим и железнодорожным операторским компаниям. Важную роль в структуре вагонного парка играют специализированные вагоны, которые отвечают требованиям относительной малозатратности грузовых операций и сохранности перевозимого груза. Увеличение порожних пробегов компенсируется за счет сокращения подготовительных операций. Из диаграммы (рис. 1) видно, что доля специализированных вагонов в парке по типам составляет от 3 до 8 %.

Среди всех типов специализированных вагонов выделяется вагон для перевозки окатышей. И хотя в количественном отношении это лишь 3 % от общего парка вагонов, что составляет чуть более 5 000 единиц, ввиду специфичности груза таким вагонам замены нет. Кроме

того, в таких вагонах возможна перевозка достаточно большой гаммы сыпучих грузов, что приводит к уменьшению порожнего пробега.

В конструктивном отношении это вагон, который имеет высокую прочность каркаса кузова и плавающую обшивку. Изначально вагон проектировался на грузоподъемность 63 т, затем грузоподъемность поэтапно повышалась до 70 т. Причем это достигалось путем ввода в каркас боковой стены дополнительных раскосов без изменения конструктивной схемы вагона. Обоснование такого подхода путем расчетных и экспериментальных исследований выполнено ДНУЖТ [7, 14]. Это позволяет производить модернизацию вагонов с минимизацией расходов. Одновременно ужесточение каркаса боковой стены ведет к общему повышению прочности кузова – соответственно ожидаемо и увеличение срока службы таких вагонов.

В данной статье рассматриваются вопросы возможности эксплуатации вагонов для перевозки окатышей, отслуживших полуторный и более срок службы. С целью детального исследования весь парк вагонов (по состоянию на 01.01.2016 г.) был разбит на диапазоны сроков эксплуатации отдельно для частных собственников и УЗ. На рис. 2 представлена диаграмма распределения вагонов по срокам эксплуатации.

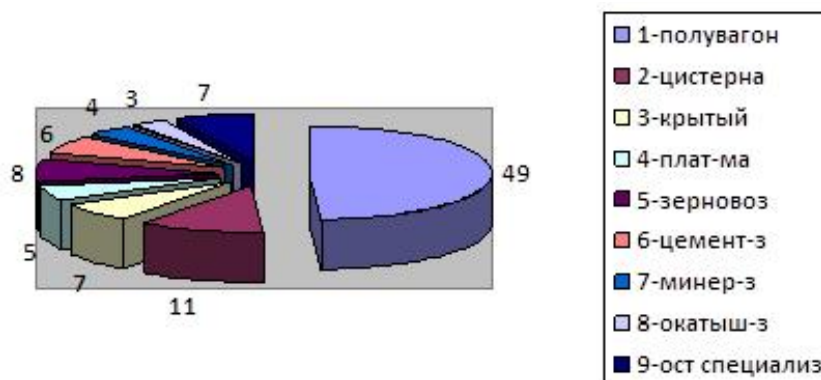


Рис. 1. Структура парка грузовых вагонов по типам

Fig. 1. Structure of freight cars fleet by types

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

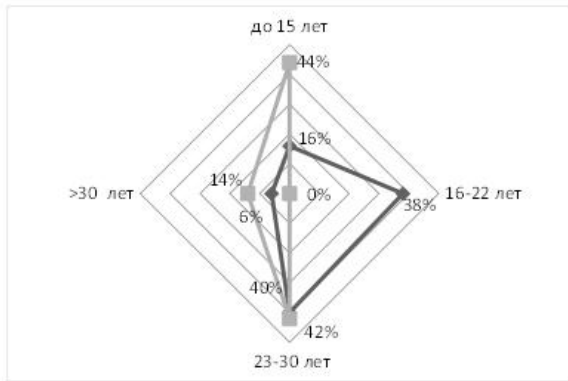


Рис. 2. Состояние парка окатышевозов по срокам эксплуатации

Fig. 2. State Park of pellet cars upon operating terms

На диаграмме светлым цветом отображены вагоны парка частных владельцев, темным – УЗ. Видно, что парк частников включает в себя две большие группы: вагоны до 15 лет (44 %), 23–30 лет (42 %) и некоторую часть свыше 30 лет (14 %) эксплуатации. Парк окатышевозов УЗ имеет небольшую часть вагонов до 15 лет (16 %), примерно поровну вагонов со сроком эксплуатации 16–22 лет (38 %), 23–30 лет (40 %) и незначительную часть свыше 30 лет (6 %). Однако вагоны свыше полуторного срока службы составляют около 50 % для всех видов собственников (56 % частный парк и 46 % УЗ соответственно).

Потому из вышеназванных объективных причин возникает необходимость продления срока службы вагонов, которые исчерпали свой установленный ресурс. Это дает возможность замедлить рост дефицита вагонов с помощью обоснованного продления их срока службы.

### Цель

Возможность продления срока службы несущих конструкций вагонов должна быть обоснована методами, которые включают в себя: обследование их технического состояния; теоретическое и экспериментальное определение уровня нагруженности и напряженного состояния элементов конструкции, оценка остаточного ресурса (определение величины продленного срока эксплуатации) путем экспериментальных ресурсных испытаний.

Вопросы продления срока службы подвижного состава в целом и для специализированных вагонов рассматривались в работах [1, 2, 5, 11, 13, 15] соответственно. В [1] изложена методика выявления типовых неисправностей и величин коррозионных повреждений. В работах [2, 5] излагается методика расчетов напряженного состояния и экспериментальных испытаний по определению уровня напряжений, которые создаются в условиях эксплуатации в несущих конструкциях. Математическое моделирование продольных усилий, действующих при соударении и оценка напряженного состояния грузовых вагонов в эксплуатации предложены в [16, 17]. В работе [11] устанавливается срок службы на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований хоппера-дозатора. В работе [13] производилась оценка ресурса модернизированной платформы для перевозки контейнеров по результатам экспериментальных испытаний. А работа [15] содержит оценку состояния работ и перспективы по продлению срока службы подвижного состава.

На основании анализа выше указанных работ и в соответствии с возможностями (исследования выполнялись в инициативном порядке без стороннего финансирования) был принят следующий вариант.

На основании результатов испытаний определялся не остаточный ресурс вагонов для перевозки окатышей, а вообще возможно ли продление жизненного цикла после полуторного и двойного срока эксплуатации. Для этого в качестве критерия выбрана возможность продления службы на 3 года после полуторного срока и 2 года после двойного.

Техническое диагностирование вагонов для перевозки окатышей показало, что их большое количество остается еще в удовлетворительном техническом состоянии. В связи с этим в 2011 году испытательной лабораторией вагонов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ) выполнен комплекс натурных испытаний вагонов для перевозки окатышей. Испытания проводились с целью оценки возможности продления срока полезной эксплуатации вагонов свыше полуторного. Работа была выполнена в инициатив-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ном порядке: «Укрспецвагоном» выделены объекты для исследований, а университетом на опытном полигоне Приднепровская ж.д. – ДНУЖТ проведены комплексные испытания.

В рамках работы проведены следующие виды испытаний: статические на прочность, ударные на прочность (определяющие) и ударные ресурсные испытания вагонов на установленный срок.

### Методика

Перед проведением испытаний случайным образом отбирались вагоны из рабочего парка, которые отработали назначенный срок службы и прошли плановые виды ремонта. В качестве опытных вагонов было отобрано два вагона: 1983 г. и 1988 г. постройки, что соответствует 28,5 и 22,5 годам эксплуатации (далее по тексту 30 и 25 лет). Перед началом испытаний проводилось техническое диагностирование состояния вагонов с целью выявления уровня коррозионных и механических повреждений с замерами толщины элементов.

Для оценки возможности дальнейшей эксплуатации вагонов использовались следующие критерии: суммарные напряжения от вертикальных статических нагрузок и от продольных сил не должны превышать допустимых, вагоны должны выдержать соударения с силами до 3,5 МН, общее количество которых эквивалентно заданному сроку службы. Соответствие вагонов заданным критериям проверялось путем испытаний, которые включали в себя: статические на прочность, ударные на прочность и ресурсные испытания. Все виды испытаний выполнялись согласно «Норм...» [8] и РД... [12].

Статические испытания на прочность выполнялись с целью определения напряжений в элементах вагонов с существующими толщинами элементов от веса груза. Вертикальное статическое нагружение на элементы кузова вагона осуществлялось посредством загрузки в вагон песка (рис. 3) на территории ГП «Укрспецвагон» (Украинский государственный центр по эксплуатации специализированных вагонов). Напряжения от собственного веса конструкции учитывались при определении суммарных напряжений путем введения коэффициента, который учитывает массу кузова. При осуществле-

нии статических испытаний проводилась запись показаний приборов, регистрирующих напряжения в соответствующих сечениях конструкции кузова вагона.

Задачей ударных испытаний на прочность является определение напряжений в элементах кузова и рамы с существующими толщинами от действия детерминированных продольных сил в диапазоне 0,5–3,5 МН (50–350 т) [8, 12] и оценка напряженно-деформированного состояния элементов конструкции вагона. При этом регистрировались значения напряжений в элементах конструкции вагона и значение усилий соударения.

Ударные ресурсные испытания выполнялись с целью расчета наработки несущих элементов кузова вагона на ударную выносливость от действия продольных усилий. Критерием соответствия является наработка на ресурс, а объем испытаний определяется равенством наработки вагона во время испытаний и в период эксплуатации.

Соударения вагонов происходили путем накатывания вагона-бойка с горки на испытываемый вагон, находящийся в голове подпорной стенки (рис. 4, где на дальнем плане видна бетонная упорная стенка с автосцепным устройством). Вагон, находящийся между головным вагоном и упорной стенкой играет двойную роль: уменьшает усилие удара в автосцепку упорной стенки и на этом вагоне также фиксируются сила соударения. Учет усилий соударения второго вагона позволяет сократить срок ресурсных испытаний. Испытания выполнялись со скоростями соударения от 3 до 13 км/ч [8, 12] с постепенным ступенчатым повышением скорости с шагом 1–2 км/час. Соударения осуществлялись сериями, которые соответствуют одному году эксплуатации. Условием завершения испытаний было получение необходимого объема экспериментальных данных или нарушения целостности конструкции вагона, которые угрожали бы безопасности дальнейшего проведения испытаний.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ



Рис. 3. Статические испытания

Fig. 3. Static tests



Рис. 4. Расположение вагонов при ударных испытаниях

Fig. 4. Location of cars during impact tests

Все виды ударных испытаний проводились на опытном полигоне Приднепровская ж.д. – ДНУЖТ (ст. Илларионово Приднепровской ж.д.). Для этого на кузова вагонов были наклеены тензометрические датчики для определения напряжений, а серийные автосцепки были заменены на автосцепки-динамометры для определения усилий соударений.

Регистрация процессов осуществлялась путем их записи в память компьютера, а затем известными способами амплитуды деформаций переводились в усилия и напряжения.

По результатам математической обработки регистрируемых процессов (напряжения в элементах конструкции и усилия соударения) в каждом виде испытаний определялось следующее:

- по результатам статических испытаний определялись напряжения в элементах конструкции от веса груза и собственного веса кузова;

- на основании результатов ударных испытаний на прочность строились графики зависимости усилий соударения от скорости напря-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

жений в елементах вагона от усилий соударения, находились напряжение в отдельных элементах кузова, проводилась оценка напряженного состояния конструкции кузова вагона по расчетным режимам [8];

– на основании результатов ресурсных испытаний производился расчет наработки на ресурс каждого вагона.

## Результаты

Состояние конструкции кузовов вагонов после 25 и 30 лет службы мало отличалось и является типичным для таких вагонов. Уменьшение толщины основных несущих элементов (хребтовой, шкворневой, промежуточной поперечной балок) вследствие коррозии не превышало 10 %, отсутствовали трещины, деформации, обрывы стоек и прочее. Наибольшие коррозионные повреждения отмечены в элементах нижней обвязки (уменьшение толщины на 10 %). Тогда как изменение толщин элементов несущих хребтовой и шкворневой балок незначительно (около 3 %).

Перечисленные повреждения могут быть устранены при плановом ремонте согласно инструкции ЦВ-0016 [2], ЦВ-0017 [1], ЦВ-0019 [5], ЦВ-0122 [7] – поэтому все выше перечисленные вагоны были приняты к испытаниям.

После обработки результатов статических испытаний на прочность получены напряжения в элементах конструкции вагонов 1983 и 1988 г.г. постройки. На основании выборки макси-

мальных величин напряжений по основным несущим элементам конструкции кузова построена диаграмма их распределения по элементам.

На рис. 5 приняты следующие обозначения: ХБС – хребтовая балка посередине вагона, ШБ – шкворневая балка, НОС – нижняя обвязка посередине вагона, ВОС – верхняя обвязка посередине, ВОШ – верхняя обвязка у шкворневой стойки, Ш Ст – шкворневая стойка, НкП – наклонный пояс. Статические испытания на прочность показали, что общий уровень статических напряжений в вагоне 1988 г. постройки примерно одинаков и конструкция, в целом, является равно напряженной. В вагоне 1983 г. постройки максимальные напряжения зафиксированы в верхней обвязке у шкворневой стойки – 115 МПа, в то время как в наклонном поясе не превысили 24 МПа. По остальным элементам уровень напряжений примерно одинаков с уровнем напряжений в конструкции вагона постройки 1988 г.

На основании результатов соударений вагонов на прочность проведена обработка записей динамических процессов и выполнена оценка прочности конструкции кузова.

На рис. 6 приведен фрагмент записи динамических процессов при соударении вагона 1983 г. постройки для двух характерных точек: в шкворневой стойке (линия 1) и нижней обвязки посередине вагона (линия 2).

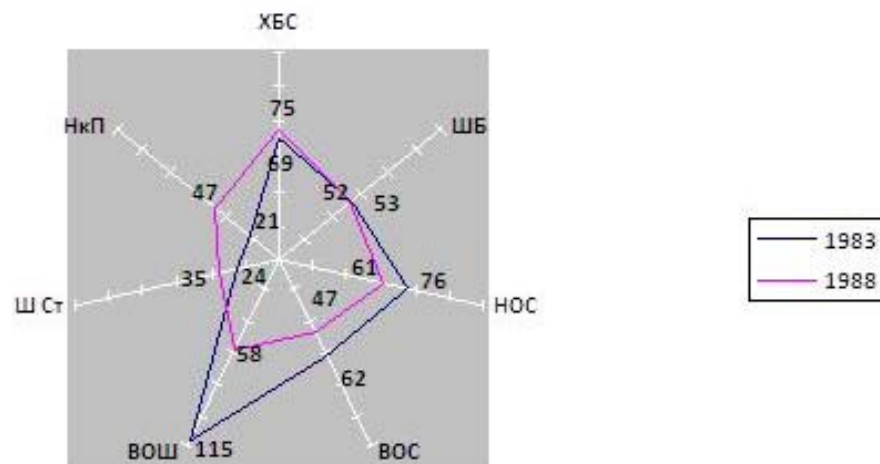


Рис. 5. Диаграмма распределения напряжений (в МПа) по элементам кузовов вагонов

Fig. 5. Stress distribution diagram (in MPa) upon the elements of the cars bodies

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ



Рис. 6. Фрагмент записи динамических процессов при соударении

Fig. 6. A fragment of dynamic processes recording at the collision

По горизонтали – время соударения в секундах, по вертикали – величины напряжений в момент соударения в МПа (линии 1, 2) и усилие в автосцепке в МН (линия 3). Из записи видно, что при величине силы удара 148 т напряжения в шкворневой стойке у нижней обвязки составили 18,5 МПа, напряжения в нижней обвязке посередине вагона – 38 МПа. При повторном ударе через 0,473 сек с величиной 65 т (вследствие небольшого отката вагона от действия упруго-диссипативных сил) уровень напряжений значительно ниже – 20 МПа.

В процессе обработки результатов ударных испытаний на прочность получены значения усилий и зависимость от них напряжений в элементах конструкции (рис. 7).

На рисунке для примера приведен точечный график зависимости величины напряжений в хребтовой балке от усилия соударения. Между рассматриваемыми величинами существует линейная зависимость – напряжения растут с увеличением силы удара и достигают 122 МПа при силе 278 т. Такая же картина наблюдается во всех элементах вагонов.

На основании результатов обработки произведена оценка прочности кузовов вагонов по I и III расчетным режимам от действия квазистатических сил. Для удобства сравнительного анализа величины суммарных напряжений в элементах кузова сведены в диаграммы (рис. 8).

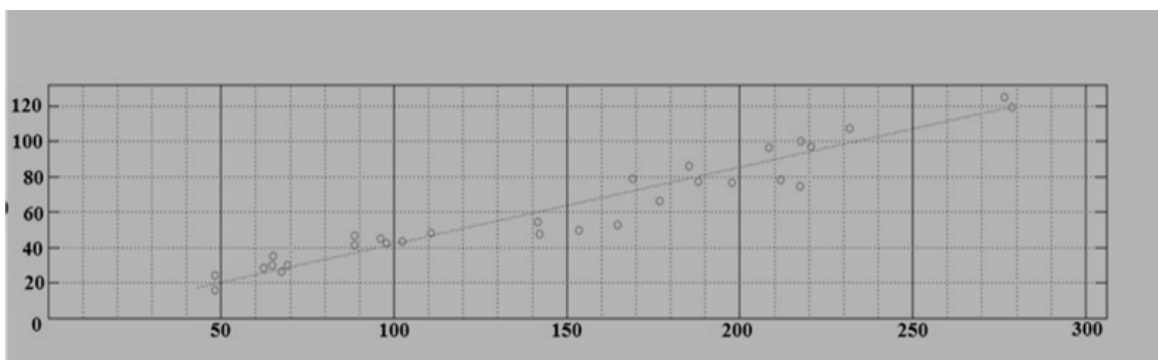


Рис. 7. Зависимость напряжений (по вертикали, МПа) в хребтовой балке от силы соударения (по горизонтали, т)

Fig. 7. Dependence of stresses (vertical MPa) in the center sill from collision forces (horizontal, t)

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

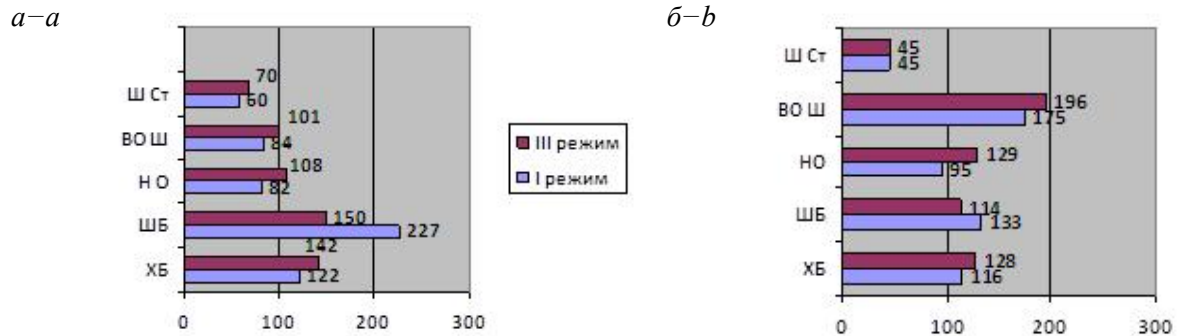


Рис. 8. Суммарные напряжения (по горизонтали, МПа) в элементах конструкции вагонов

Fig. 8. The total stresses (horizontal MPa) in the design elements of cars

На рис. 8, а приведена иллюстрация суммарных напряжений в элементах вагона 1988 г., на рис. 8, б – вагона 1983 г. постройки. Уровень напряжений в хребтовой балке (ХБ), нижней обвязке (Н О) и шкворневой стойке (Ш Ст.) в обоих вагонах примерно одинаков. Отличаются напряжения в шкворневой балке (ШБ) по I режиму и в верхней обвязке у шкворневой стойки (ВО Ш) – по I и III режимам. Но, в целом, уровень напряжений по обоим расчетным режимам не превышает допустимых [8].

Кроме того, для полноты картины, была произведена оценка прочности конструкции обоих вагонов при испытаниях на сопротивление удару. При этом суммарные напряжения включали в себя напряжения от вертикальной статической нагрузки и от продольной силы 3,5 МН (350 т) – ударной нагрузки. Величины максимальных суммарных напряжений приведены на гистограмме (рис. 9).

Из гистограммы видно, что максимальные суммарные напряжения с учетом ударных на-

грузок в элементах конструкции не превышают предела текучести 305 МПа. И если в вагоне 1988 г. они достигают в шкворневой балке 297 МПа, то в вагоне 1983 г. по всем элементам не превышают 190 МПа. Таким образом, прочность кузовов обоих вагонов от действия квазистатических и ударных нагрузок согласно нормативным документам обеспечивается.

В процессе ресурсных испытаний было выполнено 2 117 соударений с продольными силами 0,5–3,8 МН для вагона 1988 г. и 1684 – для вагона 1983 г. постройки. При этом повреждений элементов кузова вагона не наблюдалось. По результатам ударных ресурсных испытаний весь диапазон продольных сил распределялся на интервалы и для каждого из них выполнялся расчет наработки на ударную выносливость, а затем общие наработки для каждого вагона. На рис. 10 приведено распределение количества соударений в каждом диапазоне усилий (МН) для обоих вагонов.

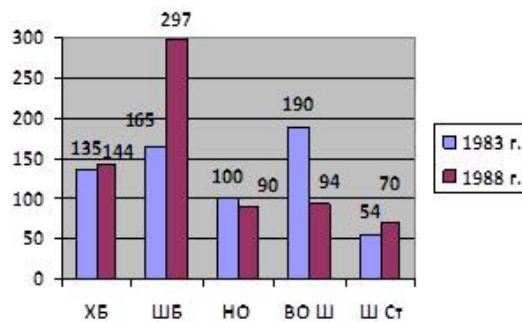


Рис. 9. Суммарные напряжения (по вертикали, МПа) при ударных нагрузках

Fig. 9. The combined stresses (vertical MPa) at shock loads



## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

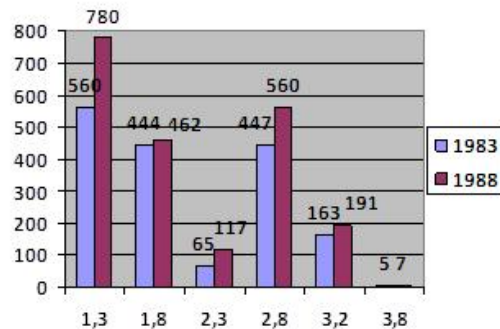


Рис. 10. Количество соударений (по вертикали) в диапазонах усилий (по горизонтали, МН)

Fig. 10. The number of collisions (vertical) in the range of forces (horizontal МН)

Гистограмма на рис. 10 отображает спектр усилий и количество соударений в каждом диапазоне спектра, выполненных в процессе ресурсных испытаний. Фактическое количество соударений приводилось к эквивалентной нагрузке, на основании которой определялась возможность продления срока службы вагона.

#### Научная новизна и практическая значимость

На основании результатов выполненных статических и ударных испытаний на прочность показано, что после 25 и 30 лет эксплуатации вагоны соответствуют требованиям нормативных документов по условиям прочности и безопасности движения. Проведенные ресурсные испытания показали, что из условий сопротивления усталости срок службы вагонов может быть продлен на следующие 2–3 года. Результаты работы могут быть использованы при продлении срока службы выше указанных вагонов. Настоящие исследования позволили без дополнительных мер продолжить срок эксплуатации вагонов.

#### Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено:

- суммарные напряжения по I и III расчетным режимам от квазистатических нагрузок в элементах конструкции кузова не превышают допустимых;
- суммарные напряжения от ударных нагрузок с величиной продольного усилия до 3,5 МН не превышают предела текучести (305 МПа);

– оба вагона прошли ресурсные испытания без повреждений, которые бы препятствовали проведению испытаний и не могли бы быть устранены при проведении очередного планового вида ремонта;

– оба вагона имели наработку на ресурс, позволяющие продлить срок их полезной эксплуатации на последующие 2 года для вагона 1983 г. и 3 года – для 1988 г. постройки.

На основе проведенных исследований определено, что вагоны после полуторного и двойного срока эксплуатации с характерным уровнем коррозионных повреждений имеют наработку на ресурс, достаточную для их дальнейшей эксплуатации на протяжении вышеуказанного срока. После исчерпания этого срока рекомендуется проведение ресурсных испытаний для оценки остаточного ресурса, который будет зависеть от условий эксплуатации и общего состояния вагонов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналіз виникнення несправностей та зносу елементів шкворневої балки піввагону / В. Г. Анофрієв, О. А. Донєв, А. С. Мацюк, С. М. Оберняк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 7–10.
2. Бондарев, О. М. Методика та дослідження з продовження терміну служби несучих конструкцій тягового рухомого складу для промислового транспорту / О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, С. В. Мямлін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 130–151. doi: 10.15802/stp2014/23790.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 (1524) мм. Правила з деповського ремонту : ЦВ–0017. – Київ : Укрзалізниця, 2008. – 126 с.
4. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту : ЦВ–0016. – Київ : Укрзалізниця, 2007. – 125 с.
5. Горобець, В. Л. Аналіз експлуатаційної роботи несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації / В. Л. Горобець, О. М. Бондарев, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.
6. Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті вантажних вагонів та контейнерів : ЦВ–0019. – Київ : Укрзалізниця, 2007. – 275 с.
7. Калашник, В. А. Результаты динамических (ходовых) испытаний вагонов для перевозки окатышей / В. А. Калашник // Вопросы улучшения техн. содержания и совершенствования ходовых частей : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров транспорта. – Днепропетровск, 1980. – Вып. 212/8. – С. 89–95.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), с изменениями и дополнениями (01.02.2000 г. и 01.03.2002 г.). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
9. Положення про організацію ремонту та модернізації вантажних вагонів на вагоноремонтних підприємствах залізничного транспорту України : ЦВ–0122. – Київ : Укрзалізниця, 2008. – 27 с.
10. Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку : ЦВ–0063 / М-во трансп. і зв'язку. – Київ : Март, 2005. – 40 с.
11. Пигарев, Р. М. Особенности продления специального подвижного состава / Р. М. Пигарев, С. В. Борисов, А. В. Васильев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 97.
12. РД 24.050.37–95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Москва : ГОСНИИВ, 1995. – 101 с.
13. Рейдемейстер, О. Г. Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов / А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, А. А. Шикунов // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 2 (62). – С. 148–156. doi: 10.15802/stp2016/67334.
14. Савчук, О. М. Исследование прочности кузовов вагонов для перевозки окатышей / О. М. Савчук, В. А. Калашник // Совершенствование ремонта использования и конструирования вагонов : сб. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров транспорта. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 164/5. – С. 38–41.
15. Третьяков, А. В. Продление сроков службы подвижного состава (история, текущее состояние, проблемы и перспективы) / А. В. Третьяков // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : сб. науч. ст. / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2011. – Вып. 6. – С. 41–44.
16. Mathematical model for determination of torsional stiffness of three axled wagons / N. Bogojevic, Z. Soskic, D. Petrovic, R. Rakanovic // Heavy machinery 2008 : Proc. of the Sixth Intern. Triennial Conf. (24.06–29.06.2008). – Kraljevo, 2008. – P. 45.
17. Slavchev, S. Application of the methodology for evaluation of stress using numerical method / S. Slavchev, V. Stoilov // BullTrans-2011 : Proc. Conf. (27.09–30.09.2011). – Sozopol, 2011. – P. 65–69.

В. Г. АНОФРИЄВ<sup>1</sup>, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР<sup>2</sup>, В. О. КАЛАШНИК<sup>3\*</sup>, В. П. КУЛЄШОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта anofrievvg@mail.ru, ORCID 0000-0002-0622-9231

<sup>2</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

<sup>3</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

<sup>4</sup>Каф. «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економічно-технологічний університет транспорту, вул. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 39, ел. пошта kulieshov.volodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-8002-1519

## ДО ПИТАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ КОРИСНОГО ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОКАТИШІВ

**Мета.** Вантажний вагонний парк «Укрзалізниці» має в основному вагони з перевищенням встановленого нормативного терміну служби. Така ж ситуація спостерігається і в парку спеціалізованих вагонів. Так, парк вагонів для перевезення окатишів має близько 50 % вагонів, які відслужили полуторний і більше термін експлуатації. Разом з тим, обсяг перевезень залізничної сировини постійний протягом ряду років. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку методів обґрунтування можливості продовження корисної експлуатації вагонів та оцінки відповідності залишкового ресурсу конструкції кузовів вагонів експлуатаційним навантаженням протягом продовженого терміну використання. **Методика.** При відборі вагонів для випробувань виконувалося технічне діагностування стану вагонів із метою виявлення рівня корозійних і механічних пошкоджень. Для оцінки можливості подальшої експлуатації вагонів проводилося експериментальне визначення рівня навантаження та напруженого стану несучих конструкцій кузовів вагонів на основі статичних, ударних на міцність та ресурсних випробувань. При ресурсних випробуваннях вагони повинні витримувати зіткнення з поздовжніми зусиллями до 3,5 МН, загальна кількість яких еквівалентна заданому терміну служби. **Результати.** Діагностування вагонів до випробувань показало, що технічний стан вагонів для перевезення окатишів, в цілому, знаходиться в задовільному стані. Проведені статичні та ударні випробування на міцність із подальшою оцінкою міцності елементів конструкції вагонів показали, що вона забезпечується відповідно до нормативних документів, і такі вагони не несуть загрози безпеці руху. Ударні ресурсні випробування показали, що всі вагони пройшли ці випробування без ушкоджень, які б перешкоджали їх проведенню та не могли бути усунені при планових видах ремонту. Вагони мали напрацювання на ресурс, що дозволяє продовжити їх корисну експлуатацію після полуторного терміну служби. **Наукова новизна.** Авторами отримана оцінка залишкового ресурсу кузовів вагонів для перевезення окатишів, які відпрацювали призначений полуторний термін служби. **Практична значимість.** Проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість обґрунтованого продовження терміну служби вагонів після полуторного терміну їх експлуатації. Результати роботи можуть бути використані при продовженні терміну служби вагонів для перевезення окатишів. Частина вагонного парку, яка повинна була списуватися у зв'язку з закінченням призначеного полуторного терміну експлуатації, без додаткових заходів може продовжити термін служби.

*Ключові слова:* вагон для перевезення окатишів; термін експлуатації; міцність конструкції; відповідність; статичні випробування; ударні випробування; напрацювання на ресурс

V. G. ANOFRIEV<sup>1</sup>, O. H. REIDEMEISTER<sup>2</sup>, V. O. KALASHNYK<sup>3</sup>, V. P. KULIESHOV<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail anofrievvg@mail.ru, ORCID 0000-0002-0622-9231

<sup>2</sup>Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

<sup>3</sup>Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

<sup>4</sup>Dep. «Traction Rolling Stock of Railways», State Economic and Technological Transport University, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 39, e-mail kulieshov.volodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-8002-1519

## TO THE ISSUE OF EXTENDING THE SERVICE LIFE OF CARS FOR TRANSPORTATION OF PELLETS

**Purpose.** Freight rolling stock of «Ukrzaliznytsia» primarily has cars that are overaged. The same situation is observed in the park of specialized cars. So the car fleet for the transport of pellets consists of about 50% of cars that served one-and-a-half and more lifetimes. However, the volume of shipments of iron ore is constant for a number of years. In this regard, there is a need to find methods to justify continuing useful life of cars and to assess the conformity of residual life of the car body structure to operating load for an extended period of use. **Methodology.** When selecting the cars for the test their condition underwent technical diagnosis in order to identify the level of corrosion and mechanical damage. The next stages of the tests included the experimental determination of the load-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ing level and the stress state of car body carcass based on strength and endurance tests and the evaluation of the possible values of the extended period of operation. **Findings.** Pre-test diagnosing of cars showed that the technical condition of cars for transportation of pellets, as a whole, is in satisfactory condition. Carried out static and impact strength tests with subsequent evaluation of strength of the car structural elements showed that the strength of the latter is provided in accordance with regulations and such cars do not threaten the traffic safety. Shock endurance tests have shown that all the cars have passed endurance tests with no damage that would impede testing and could not be removed during scheduled repairs. The cars had lifelength that allows prolong their useful life after one-and-a-half lifetime. **Originality.** The work presents the estimate of the residual life of bodies of pellet transportation cars, which spent one-and-a-half of the set lifetime. **Practical value.** The experimental results confirm the possibility of extending the service life of cars after one-and-a-half life of their lifetime. The results of the work can be used to extend the service life of cars for transportation of pellets. Part of the rolling stock, which had to be written off in connection with the expiration of the set one-and-a-half lifetime without additional measures can continue its lifetime.

*Keywords:* cars for transportation of pellets; lifetime; structural strength; conformity; static tests; impact tests; lifelength

## REFERENCES

1. Anofriev V.G., Donev A.A., Matsuk A.S., Obernyak S.N. Analiz vynyknennia nespravnostei ta znosu elementiv shkvornevoi balky pivvahonu [Analyses of occurrence of malfunctions and deterioration of body bolster parts for gondola car]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 7-10.
2. Bondariiev O.M., Horobets V.L., Miamlin S.V. Metodyka ta doslidzhennia z prodovzhennia terminu sluzhby nesuchykh konstrukttsii tiahovoho rukhomoho skladu dlia promyslovoho transportu [Methods and research concerning service life extension of supporting structures of traction rolling stock for industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp. 130-151. doi: 10.15802/stp2014/23790.
3. *Vantazhni vahony zaliznyts Ukrainy kolii 1520 (1524) mm. Pravyla z depovskoho remontu: TsV–0017* [Freight railroad cars of Ukraine, track 1520 (1524) mm. Terms of depot repair: TsV–0017]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2008. 126 p.
4. *Vantazhni vahony zaliznyts Ukrainy kolii 1520 mm. Pravyla kapitalnoho remontu: TsV–0016* [Freight railroad cars of Ukraine, track 1520 mm. Rules of overall repair]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2007. 125 p.
5. Horobets V.L., Bondariiev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstrukttsii rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [Operational life of the rolling stock supporting structures analysis in the tasks of its terms prolongation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 10-16.
6. *Instruktsiia po zvariuvanniu ta naplavlenniu pry remonti vantazhnykh vahoniv ta konteineriv: TsV–0019* [Instructions for welding and surfacing at the repair of freight cars and containers: TsV–0019]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2007. 275 p.
7. Kalashnik V.A. Rezultaty dinamicheskikh (khodovykh) ispytaniy vagonov dlya perevozki okatyshey [The results of dynamic (running) tests of cars for transportation of pellets]. *Voprosy uluchsheniya tekhnicheskogo sodержaniya i sovershenstvovaniya khodovykh chastey* [Improving the technical maintenance and updating the running gears], 1980, issue 212/8, pp. 89-95.
8. Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh), s izmeneniyami i dopolneniyami (01.02.2000 g. i 01.03.2002 g.) [The rules for the calculation and design of cars MPS, track 1520 mm (unpowered)]. Moscow, SRICB: ARRIRT Publ., 1996. 354 p.
9. Polozhennia pro orhanizatsiiu remontu ta modernizatsii vantazhnykh vahoniv na vahonoremontnykh pidpriemstvakh zaliznychnoho transportu Ukrainy: TsV–0122 [Provisions on the organization of repair and modernization of freight cars at the car-repair enterprises of railway transport of Ukraine: TsV–0122]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2008. 27 p.
10. *Pravyla vykliuchennia vantazhnykh vahoniv iz inventarnoho parku: TsV–0063* [Elimination rule of freight cars from the inventory fleet]. Kyiv, Mart Publ., 2005. 40 p.
11. Pigarev R.M., Borisov S.V., Vasilev A.V. Osobennosti prodleniya spetsialnogo podvizhnogo sostava [Features of extension of the special rolling stock]. *Tezisy dokladov VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy*

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- konferentsii «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty»* [Proc. of VIIIth Intern. Sci. and Technological Conf. «Rolling Stock of XXI century: ideas, requirements, and projects»]. Saint-Petersburg, 2013. P. 97.
12. RD 24.050.37–95. *Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37-95. Freight and passenger cars. Test methods for durability and rideability]. Moscow, SRICB Publ., 1995. 101 p.
  13. Reydeyemyster O.G., Kalashnik V.A., Shikunov A.A. Modernizatsiya kak sposob uluchsheniya ispolzovaniya universalnykh vagonov [Modernization as a way to improve the use of universal cars]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 2 (62), pp. 148-156. doi: 10.15802/stp2016/67334.
  14. Savchuk O.M., Kalashnik V.A. Issledovaniye prochnosti kuzovov vagonov dlya perevozki okatyshey [Research of strength of cars bodies for transportation of pellets]. *Sovershenstvovaniye remonta ispolzovaniya i konstruirovaniya vagonov* [Repair updating of use and design of cars]. Dnepropetrovsk, 1975, issue 164/5, pp. 38-41.
  15. Tretyakov A.V. Prodleniye srokov sluzhby podvizhnogo sostava (istoriya, tekushcheye sostoyanie, problemy i perspektivy) [Service-life extension for rolling stock (history, current state, problems and prospects)]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty* [Rolling Stock of XXI century: ideas, requirements, and projects]. Saint-Petersburg, 2011, issue 6, pp. 41-44.
  16. Bogojevic N., Soskic Z., Petrovic D., Rakanovic R. Mathematical model for determination of torsional stiffness of three axled wagons. *Heavy machinery 2008: Proc. of the Sixth Intern. Triennial Conf. Kraljevo*, 2008. P. 45.
  17. Slavchev S., Stoilov V. Application of the methodology for evaluation of stress using numerical method. *BullTrans-2011: Proc. Conf. Sozopol*, 2011. P. 65-69.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. Э. Мартыновым (Украина); к.т.н., доц. В. В. Колбуном (Украина)*

Поступила в редколлегию: 26.02.2016

Принята к печати: 12.05.2016