

E. B. Сорокина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ДЛЯ ЕГИПЕТСКИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Аннотация. Рассмотрены проблемы деформации крыши кузовов пассажирских вагонов от воздействия избыточной солнечной радиации и влияния воздействия внешних факторов на прочность и устойчивость металлоконструкции кузова вагона. Приведены результаты натурного моделирования температурного воздействия на крышу кузова вагона модели 61-4514 с приложением ремонтных нагрузок, а также зависимости изменения микродеформаций (напряжений) крыши вагона в зависимости от значений температурного воздействия и сочетания испытательных ремонтных нагрузок. Проведен расчет критических напряжений для разных поперечных сечений гофров. Исследованы пять различных вариантов поперечных сечений, и выбран наиболее благоприятный с точки зрения устойчивости вариант. Приведены мероприятия для обеспечения устойчивости обшивки кузова.

Ключевые слова: металлоконструкция кузова, пассажирский вагон, механические нагрузки, тепловое воздействие, крыша вагона.

Для цитирования: Сорокина, Е. В. Совершенствование пассажирского вагона для Египетских национальных железных дорог на основе исследования влияния внешних факторов / Е. В. Сорокина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2. – С. 145–153. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_145.

Введение

С целью отработки конструкции опытного образца кузова вагона для Египетских национальных железных дорог проведены исследования влияния воздействия внешних факторов на прочность и устойчивость металлоконструкции кузова вагона. К внешним факторам следует отнести температурное воздействие на кузов вагона, приложение к вагону нагрузок, возникающих при ремонтах вагона в депо, а также ветровой нагрузки. Таким образом, требуется решение следующих задач:

- определение зависимости искривления крыши вагона от температуры нагрева при натурном эксперименте;
- определение зависимости искривления крыши от взаимодействия температурных и механических нагрузений;
- расчётный учет воздействия ветровой нагрузки на вагон.

Для решения поставленных задач используются экспериментальные и расчетные методы исследования. Микро- и макродеформации несущей конструкции кузова определялись методом тензометрии. Температура нагрева кузова контролировалась термоэлектрическими преобразователями.

К особенностям климата Египта помимо очень жаркой погоды, от которой исходит ощущимая тепловая нагрузка на вагоны, относятся также и сильные ветровые потоки. Почти весь год ветер активно перемещается по всей стране и лишь изредка меняет свой вектор пути и силу. Такое влияние невозможно не учитывать при эксплуатации вагонов.

Вагон во время своей эксплуатации испытывает сильное давление от ветра. Геометрические параметры объекта напрямую влияют на значение нагрузки от воздушных потоков. Особенно сильно нагружены боковые стены и крыша кузова. Следовательно, уже на проектном этапе создания вагона необходимо рассчитывать силу ветрового давления для более рационального подбора металлоконструкции.

Вагон и в статическом и динамическом состоянии подвергается ветровой нагрузке, которая при расчете прикладывается к середине боковины [6, 9]. Также помимо нагрузки от ветрового давления поперек вагона направлена центробежная сила.

При движении поезд испытывает сильное сопротивление от ветрового давления, при встречном направлении – его скорость уменьшается, при боковом – образуется сдвиг кузова и усложняется перемещение из-за появившихся дополнительных сил трения колеса об рельс, а при том же направлении – скорость подвижного состава увеличивается.

Таким образом, ветер оказывает определенное влияние как на скорость движения вагонов, так

и на напряженно-деформированное состояние обшивки вагона. Из всех вариантов направления ветрового давления наиболее существенным является боковой, поскольку встречное и попутное направления могут заметно повлиять только на скорость подвижного состава, а нагрузка от ветра, действующая под углом 15–30° к вектору движения поезда, сильно нагружает торцевые и боковые стены кузова. Поэтому вагон будет в меньшей степени зависим от воздействия ветра, если у него будет больше масса и меньше площадь соприкосновения с воздушным давлением.

Стоит отметить, что в Египте наблюдается большую часть времени сухой тропический климат с очень жаркой погодой, в которую температура воздуха может достигать больше 50 °C, что существенно влияет на вагоны, попадающие под действие температурных нагрузок.

Основная часть

Благодаря опыту использования подвижных составов на железных дорогах Египта [2, 4, 8] было выявлено, что появление негативных изменений в крышах связано с перегревом от солнца.

С целью решения проблемы перегрева крыш были разработаны методические указания по исследованию проблемы деформации крыши кузовов пассажирских вагонов [1, 7], в которых были прописаны условия проверки вагона по допускаемым значениям внутренних силовых факторов в сечении крыши от действия нормативных механических нагрузок и теплового воздействия при разных режимах [3].

Для решения задачи оценки негативного влияния солнечной радиации на кузов требуется экспериментальное исследование фактов появления деформаций крыши от нагрева, являющейся существенным фактором влияния на состояние несущих элементов вагона.

Объектом испытаний был кузов вагона модели 61-4514 (далее – вагон), загруженный до веса тары вместе с весом двух тележек согласно требований EN 12663-1.

Из-за ограничений по габариту подвижного состава и необходимости установки климатических систем и водяных баков крыша выполнена в виде ступенчатой конструкции с понижением ее высоты в консольных частях кузова.

Испытательный процесс был запущен после измерения геометрических параметров крыши согласно карте замеров (рис. 1).

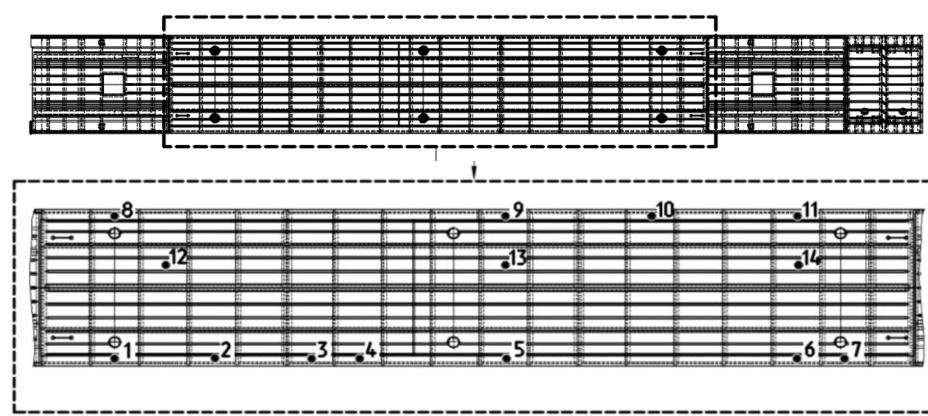


Рис. 1. Карта замеров толщины обшивки скатов (точки 1–11) и средней части крыши (точки 12–14)

Результаты измерений толщины элементов крыши представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений толщины обшивки скатов и средней части крыши пассажирского вагона модели 61-4514 при скорости ультразвукового колебания 4570 м/с

Номер точки	Толщина, мм	Номер точки	Толщина, мм
1	2,04	8	1,97
2	1,97	9	2,06
3	2,06	10	1,98
4	2,03	11	1,98
5	1,97	12	1,53
6	1,97	13	1,47
7	1,98	14	1,51

Измерение погиби листов обшивки крыши проведено в исходном состоянии до начала испытаний, а также после нагрева. Дополнительно замеры проводились снаружи кузова на каждом погонном метре длины при базе измерений 1500 мм.

При проведении эксперимента были приняты следующие допущения:

– были использованы три датчика перемещений (схема установки датчиков приведена на рис. 2);

– длительность каждого из циклов температурного нагружения составила от 20 до 50 минут;

– было установлено 12 термоэлектрических преобразователей (рис. 3) внутри кузова, и они дополнительно изолировались, один термоэлектрический преобразователь № 4 устанавливался на металлический настил пола;

– при визуальном выявлении потери устойчивости обшивки крыши испытание не останавливалось, запись контролируемых параметров проводилась непрерывно от минимальной температуры окружающей среды до установления максимальной температуры опыта, а также, после отключения нагревателей, до момента остывания кузова.

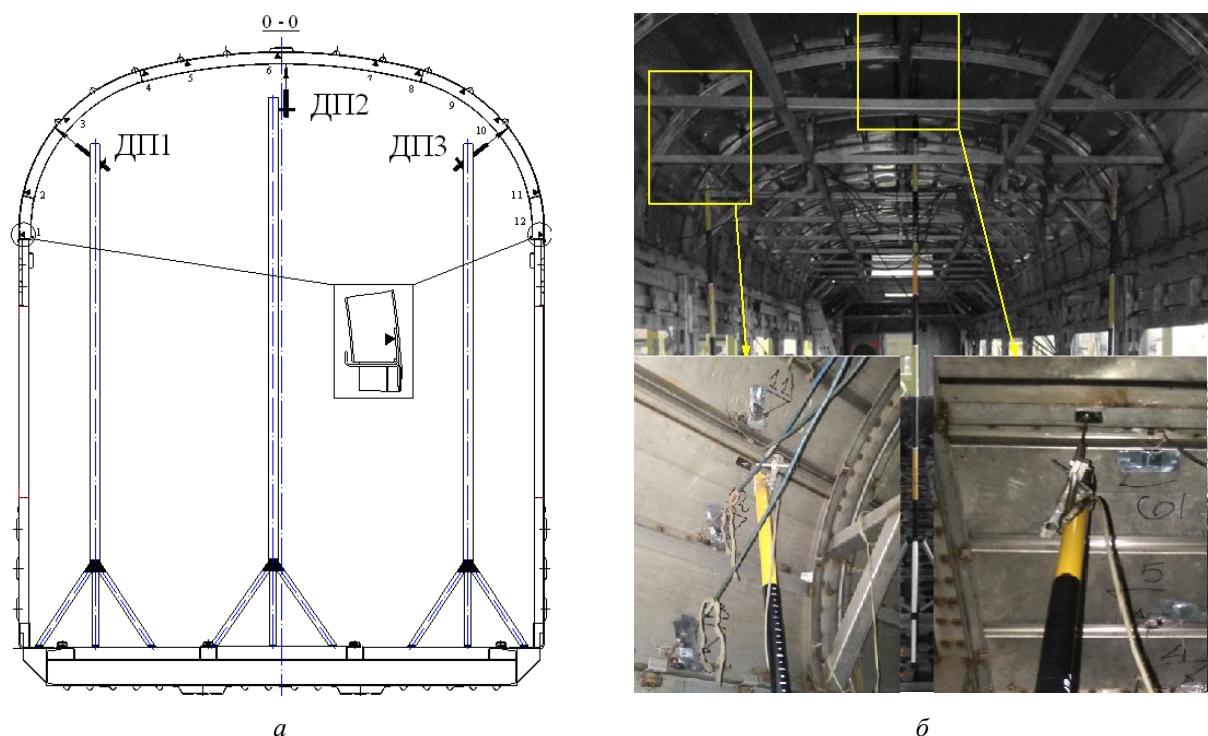
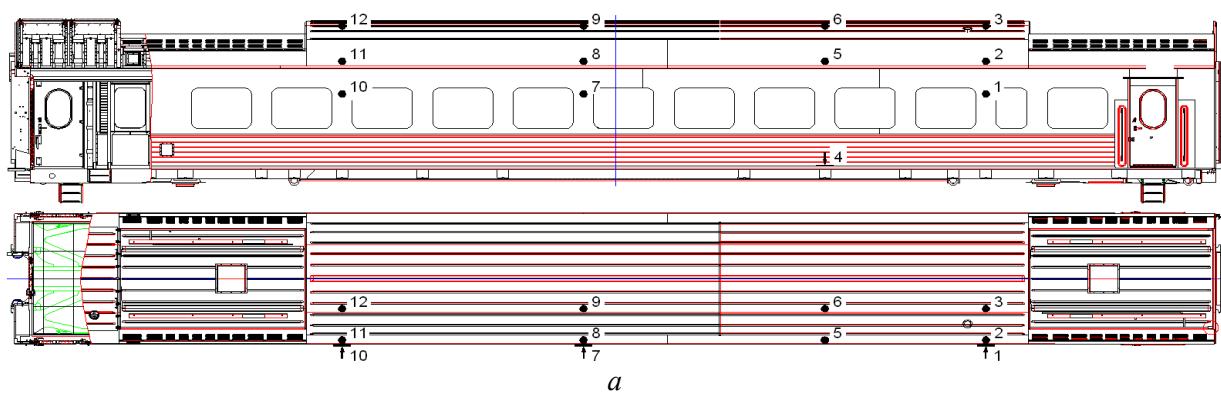
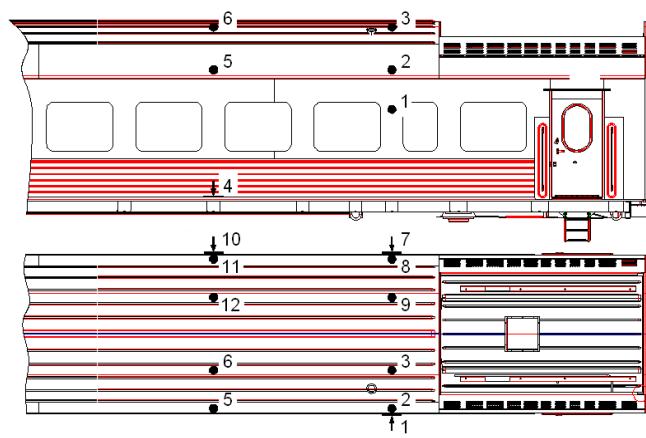


Рис. 2. Установка датчиков перемещения:

а – схема; *б* – монтаж датчиков перемещения на кузове вагона



*б***Рис. 3. Установка термоэлектрических преобразователей:**

а – схема установки и нумерация (нагрев 0,5 вдоль оси *Y*);
б – схема установки и нумерация (нагрев 0,5 вдоль оси *X*)

В течение 50 минут производилось нагревание крыши до максимально допускаемой температуры, равной 95 °C в соответствии с программой и методикой. При этом были зафиксированы деформации крыши, сохраняющиеся после остывания кузова (рис. 4).

**Рис. 4. Деформации обшивки крыши, сохраняющиеся после остывания кузова**

Появление визуально фиксируемых деформаций происходило при нагреве крыши кузова до температуры 65 °C и выше.

Температурные режимы нагрева:

- 18–25 °C (температура окружающей среды);
- 60–65 °C;
- 70–75 °C;
- 80–85 °C;
- 90–95 °C.

Контроль за состоянием нагрева обшивки поддерживался с помощью термоэлектрических преобразователей, расположенных на крыше и верхнем поясе боковин. Нагреватели включали поочередно отдельными рядами для более контролируемого процесса.

В соответствии с методикой к кузову были приложены испытательные нагрузки в различных сочетаниях при всех температурных режимах нагрева.

Кузов был загружен мерными грузами до веса тары плюс вес двух тележек с учетом требований EN 12663-1. Проводились ремонтные подъемки кузова вагона массой тара по диагоналям 1–4 и 2–3, подъемки кузова массой тара под буферный брус 5–6 и подъемки кузова массой тара под штатные места поддомкрачивания 1, 2, 3, 4.

По результатам испытаний выявились численные показатели изменения формы листов обшивки крыши. Значения перемещений фиксировались в сечении 0–0. Результаты приведены в табл. 2. Положительные значения перемещений соответствуют перемещению участка крыши наружу, а отрицательные – внутрь кузова.

Таблица 2

Значения максимальных экспериментальных перемещений, полученных при нагреве крыши и ремонтных нагрузках, мм

Режим нагружения		Сечение 0–0		
		Датчик перемещений № 1	Датчик перемещений № 2	Датчик перемещений № 3
Нагрев 0,5 крыши вдоль оси Y	Ремонтные нагрузки при 18–25 °C	0,2	0,2	1,2
	Ремонтные нагрузки при 60–65 °C	2,6	-1,1	-3,1
	Ремонтные нагрузки при 70–75 °C	-2,1	1,3	2,1
	Ремонтные нагрузки при 80–85 °C	-2,8	4,1	-5,9
	Ремонтные нагрузки при 90–95 °C	3,6	-2,5	-4,6
Нагрев 0,5 крыши вдоль оси X	Ремонтные нагрузки при 18–25 °C	0,8	-0,1	-0,6
	Ремонтные нагрузки при 60–65 °C	0,8	1,9	-2,3
	Ремонтные нагрузки при 70–75 °C	1,5	-2,3	-2,4
	Ремонтные нагрузки при 80–85 °C	0,9	-1,4	-1,7
	Ремонтные нагрузки при 90–95 °C	1	-1,8	-1,6

Во время нагревания с двух сторон численные показатели деформаций кузова практически равные. В период подъема по диагоналям в сечении крыши возникают искривления, равные 1 мм, которые проходят после возвращения кузова на 4 опоры.

Согласно программе и методике в качестве испытательного оборудования для нахождения напряжений применялись тензорезисторные датчики и усилитель измерений SPIDER. На рис. 5 показана расстановка тензорезисторных датчиков.

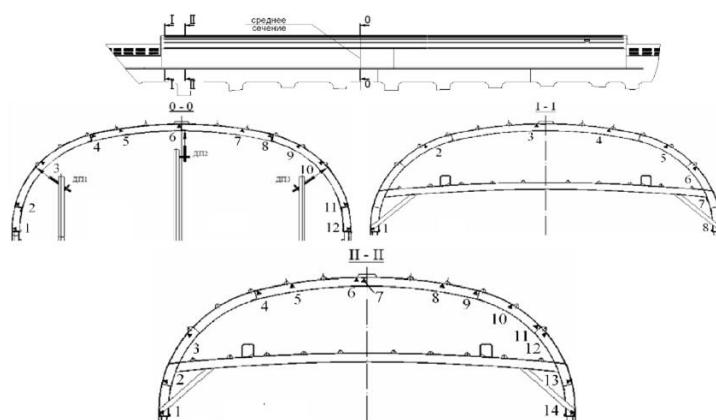


Рис. 5. Расстановка тензорезисторных датчиков

Для надежных результатов за весь период проведения испытаний было произведено несколько циклов с нагревом и остыванием. На рис. 6 приведены зависимости изменения микродеформаций (напряжений) крыши вагона в зависимости от значений температурного воздействия и сочетания испытательных ремонтных нагрузок.

Изучение и оценка полученных результатов испытаний показывает, что при температурах от

18 до 25 °C нагружения кузова не вызывают остаточных деформаций несущих элементов кузова вагона, а также не приводят к потере устойчивости. При этом повышение температуры нагрева больше 95 °C приводит к остаточным деформациям гофров крыши вагона.

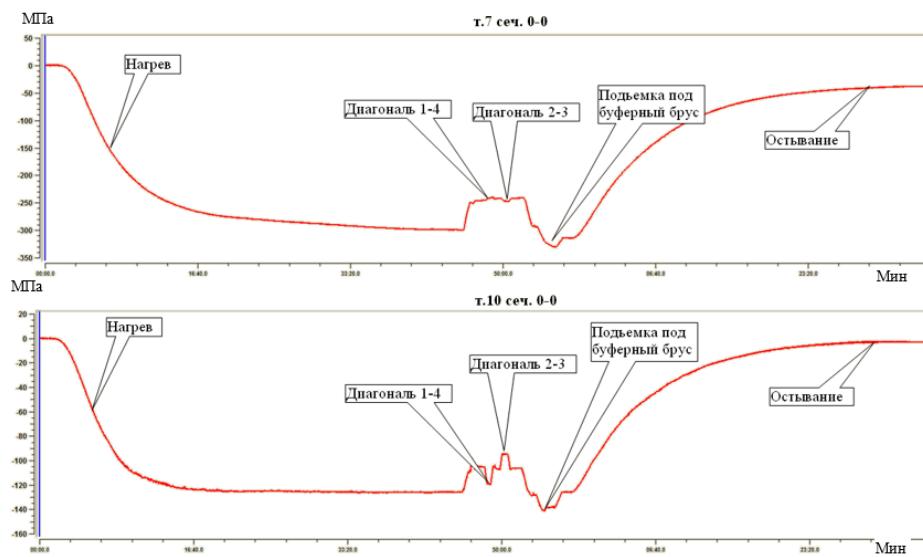


Рис. 6. Зависимости изменения микродеформаций (напряжений), полученные с тензодатчиков в среднем сечении 0–0 при нагреве до 80–90 °C и воздействии нормативных ремонтных нагрузок

Остаточные деформации зафиксированы при нагреве крыши более 65 °C, что обусловлено сложением имеющихся внутренних напряжений с напряжениями от нагрева крыши.

В рамках решения поставленных задач проведен расчет критических напряжений для разных поперечных сечений гофров. Критические напряжения (σ_{kp_3} , МПа) при гибкости $\lambda > \lambda_{nq}$ определялись по формуле Эйлера:

$$\sigma_{kp_3} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где E – модуль упругости (модуль Юнга);

λ – гибкость стержня.

Исследованы пять различных вариантов поперечных сечений и получены следующие результаты расчета для длины пролета $L1 = 600$ мм и $L2 = 900$ мм (модуль Юнга $E = 2,0 \cdot 105$ Н/мм² для стали марки 1,4541 EN 10088-2):

– вариант № 1 – гофр 21×1,5 мм, момент инерции: $Ix = 11814$ мм⁴, $\sigma_{kp1} = 291$ МПа > 260 МПа, принимаем 260 МПа для участка крыши L1, $\sigma_{kp2} = 150$ МПа для участка крыши L2, минимальная длина пролета 682 мм;

– вариант 2 – гофр 16×70×1,5 мм, момент инерции: $Ix = 10537$ мм⁴, $\sigma_{kp1} = 273$ МПа > 260 МПа, принимаем 260 МПа для участка крыши L1, $\sigma_{kp2} = 126$ МПа для участка крыши L2, минимальная длина пролета 627 мм;

– вариант 3 – гофр 26×47×1,5 мм, момент инерции: $Ix = 20838$ мм⁴, $\sigma_{kp1} = 330$ МПа > 260 МПа, принимаем 260 МПа для участка крыши L1, $\sigma_{kp2} = 238$ МПа для участка крыши L2, минимальная длина пролета 858 мм;

– вариант 4 – гофр 22,5×70×1,5 мм, момент инерции: $Ix = 21211$ мм⁴, $\sigma_{kp1} = 324$ МПа > 260 МПа, принимаем 260 МПа для участка крыши L1, $\sigma_{kp2} = 214$ МПа для участка крыши L2, минимальная длина пролета 814 мм;

– вариант 5 – гофр 31×70×1,5 мм, момент инерции: $Ix = 43515$ мм⁴, $\sigma_{kp1} = 354$ МПа > 260 МПа, принимаем 260 МПа для участка крыши L1, $\sigma_{kp2} = 309$ МПа для участка крыши L2, минимальная длина пролета ≥ 900 мм.

Результаты расчетов показывают, что наиболее благоприятный с точки зрения устойчивости

вариант № 5, но при максимальной длине пролета 850 мм и шаге гофров 112 мм рекомендуется применять вариант № 3.

При применении низкоуглеродистых сталей с модулем Юнга $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм² и более, критические напряжения и, соответственно, коэффициент запаса устойчивости будут выше.

Анализ полученных результатов позволяет обобщить данные, полученные при испытаниях вагона для египетских национальных железных дорог и двухэтажных пассажирских вагонов. Установлено, что возможность потери устойчивости элементов жёсткости продольного набора от нагрева крыши за счет солнечной энергии связана с несколькими факторами:

- в настоящее время нормативные расчеты продольных элементов крыши на устойчивость не учитывают температурные напряжения;

- сталь марки 1,4541 EN 10088-2, применяемая в несущих конструкциях кузовов вагонов обладает повышенным на 33 % коэффициентом линейного расширения по сравнению с низкоуглеродистой сталью, при использовании которой на старогодних кузовах проблем не возникало;

- кроме того, новая сталь имеет более низкий модуль упругости, что неизбежно влечет за собой снижение изгибной жесткости продольных элементов крыши;

- снижение момента инерции сечения, вызванное снижением толщины стальных листов крыши с 2 мм до 1,5 мм (по коррозионным свойствам) в сочетании с механическими характеристиками коррозионно-стойкой стали, приводит к снижению изгибной жесткости продольных элементов крыши (гофров 21×1,5 мм);

- увеличение расстояния между дугами крыши вагона более 682 мм для гофров размером 21×1,5 мм влечет снижение коэффициента устойчивости гоффа ниже допускаемого значения.

Выводы

На основании анализа результатов, полученных при предварительных расчётах устойчивости [7, 10], а также испытаниях опытного образца вагона для Египетских национальных железных дорог при различных режимах нагрева и нагружений, разработаны и экспериментально подтверждены следующие мероприятия для обеспечения устойчивости обшивки кузова:

- в расчеты устойчивости продольных элементов крыши необходимо включить учет температурных напряжений;

- для несущих элементов крыши рекомендуется использовать стали с пониженным коэффициентом линейного расширения и увеличенным модулем упругости;

- увеличить момент инерции продольных несущих элементов крыши;

- для серийного гоффа крыши рекомендуется изменить расстояние между дугами до 680 мм и меньше;

- применять светлые цвета краски (например, белой или серебристо-белой) для крыши вагона.

Разработанная обобщенная методика учета влияния избыточной солнечной радиацией крыши на кузова пассажирских вагонов успешно использована при испытании вагона модели 61-4514 [1] колеи 1435 мм, двухэтажного пассажирского вагона модели 61-4465 колеи 1520 мм [5].

Результаты работы учтены изготовителем – открытым акционерным обществом «Тверской вагоностроительный завод» при постройке пассажирских вагонов для Египетских национальных железных дорог и двухэтажных пассажирских вагонов, что позволило исключить термические деформации крыш вагонов, вызванных солнечной радиацией.

Список литературы

1 Проведение испытаний по имитации облучения избыточной солнечной радиацией крыши кузова вагона модели 61-4514 и ремонтных нагрузок : отчет о работе. – Тверь : ЗАО НО «ТИВ», 2019.

2 Сорокина, Е. В. Результаты испытаний вагона модели 61-4514 на путях Египетской национальной железной дороги при опытном пробеге / Е. В. Сорокина, К. П. Гурьянов, В. А. Грибин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 1 (58). – С. 81–86. – ISSN 1818-5509.

References

1 Conducting tests to simulate exposure to excess solar radiation of the roof of the car body of model 61-4514 and repair loads : report on the work. – Tver : ZAO NO "TIV", 2019.

2 Sorokina, E. V. Results of testing the car of model 61-4514 on the tracks of the Egyptian National Railway during a test run / E. V. Sorokina, K. P. Guryanov, V. A. Gribin // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2022. – No. 1 (58). – P. 81–86. – ISSN 1818-5509.

3 Испытания кузова на прочность и устойчивость от воздействия нормативных ремонтных нагрузок при облучении солнечной радиацией крыши / С. Д. Коршунов, Д. И. Гончаров, Д. В. Красивов [и др.] // Сборник научных трудов VIII Всероссийской конференции научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития вагоностроения». – Курск, 2019. – С. 72–75. – ISBN 978-5-907270-40-4.

4 **Гурьянов, К. П.** Предварительные результаты испытаний опытного пробега вагона модели 61-4514.01 на путях Египетской национальной железной дороги / К. П. Гурьянов, Е. В. Сорокина, В. А. Грибин // Сборник научных трудов X международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте». – Республика Беларусь, Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 45–47.

5 **Сорокина, Е. В.** Исследование влияния избыточной солнечной радиации и боковой ветровой нагрузки на оценку прочности кузова двухэтажного вагона / Е. В. Сорокина, А. П. Болдырев, Ф. Ю. Лозбинев // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 7 (19). – С. 77–85. – DOI 10.30987/2782-5957-2023-7-77-85.

6 Обоснование прочности несущей конструкции кузова вагона с учетом критических напряжений в гофрах / Е. В. Сорокина, С. Д. Коршунов, Д. И. Гончаров, А. С. Жуков // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 10 (22). – С. 55–61. – ISSN 2782-5957.

7 Методы расчетов на прочность кузовов железнодорожного подвижного состава / Н. П. Бардов, С. Д. Коршунов, Д. И. Гончаров, Е. В. Сорокина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (66). – С. 6–9. – ISSN 1818-5509.

8 Исследование несущей способности пассажирских вагонов при статических и динамических нагрузках / С. Д. Коршунов, А. А. Смирнов, Д. А. Ромашов, Е. В. Сорокина // Материалы XIII международной научно-практической конференции, посвященной году качества «Проблемы безопасности на транспорте». – Республика Беларусь, Гомель : БелГУТ, 2024. – Ч. 1. – С. 99–100.

9 **Сорокина, Е. В.** Методика расчета критических напряжений гофров для учета влияния избыточной солнечной радиации на деформацию кузова вагона / Е. В. Сорокина, С. Д. Коршунов // Материалы XVII международной

3 Tests of the body for strength and resistance to the impact of standard repair loads when exposed to solar radiation of the roof / S. D. Korshunov, D. I. Goncharov, D. V. Krasivov [et al.] // Collection of scientific papers of the VIII All-Russian scientific and practical conference "Problems and Prospects for the Development of Carriage Building". – Kursk, 2019. – P. 72–75. – ISBN 978-5-907270-40-4.

4 **Guryanov, K. P.** Preliminary test results of the trial run of the car model 61-4514.01 on the tracks of the Egyptian National Railway. K. P. Guryanov, S. V. Sorokina, V. A. Gribin // Collection of scientific papers of the X International scientific and practical conference "Problems of transport safety". – Republic of Belarus, Gomel : BelSUT, 2020. – P. 45–47.

5 **Sorokina, E. V.** Study of the influence of excess solar radiation and lateral wind load on the assessment of the strength of the body of a double-decker car / E. V. Sorokina, A. P. Boldyrev, F. Yu. Lozbinev // Transport engineering. – 2023. – No. 7 (19). – P. 77–85. – DOI 10.30987/2782-5957-2023-7-77-85.

6 Justification of the strength of the supporting structure of the car body taking into account critical stresses in the corrugations / E. V. Sorokina, S. D. Korshunov, D. I. Goncharov, A. S. Zhukov // Transport engineering. – 2023. – No. 10 (22). – P. 55–61. – ISSN 2782-5957.

7 Methods of strength calculations of railway rolling stock bodies / N. P. Bardov, S. D. Korshunov, D. I. Goncharov, E. V. Sorokina // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2024. – No. 1 (66). – P. 6–9. – ISSN 1818-5509.

8 Study of the bearing capacity of passenger cars under static and dynamic loads / S. D. Korshunov, A. A. Smirnov, D. A. Romashov, E. V. Sorokina // Proceedings of the XIII International scientific and practical conference dedicated to the Year of Quality "Problems of transport safety". – Republic of Belarus, Gomel : BelSUT, 2024. – Part. 1. – P. 99–100.

9 **Sorokina, E. V.** Methodology of calculating the critical stresses of corrugations to take into account the effect of excessive solar radiation on the deformation of the wagon body / E. V. Sorokina, S. D. Korshunov // Proceedings of the

научно-практической конференции «Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты». – Санкт-Петербург, 2023. – С. 258–263.

XVII International scientific and practical conference "Rolling stock of the 21st century : ideas, requirements, projects". – Saint Petersburg, 2023. – P. 258–263.

E. V. Sorokina

IMPROVEMENT OF THE PASSENGER CARRIAGE FOR THE EGYPTIAN NATIONAL RAILWAYS BASED ON THE STUDY OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS

Abstract. The article discusses the problems of deformation of the roof of passenger car bodies from the effects of excessive solar radiation and the influence of external factors on the strength and stability of the metal structure of the car body. The results of full-scale modeling of the temperature effect on the roof of the wagon body of model 61-4514 with the application of repair loads are presented in the research paper, as well as the dependence of the change in microdeformations (stresses) of the car roof depending on the values of the temperature effect and the combination of test repair loads. The calculation of critical stresses for different cross-sections of the corrugations is carried out. Five different variants of cross-sections are studied, and the most favorable variant in terms of stability is selected. Measures to ensure the stability of car body sheathing are given.

Keywords: metal structure of the body, passenger car, mechanical loads, thermal effects, roof of the car.

For citation: Sorokina, E. V. Improvement of the passenger carriage for the Egyptian National Railways based on the study of the influence of external factors / E. V. Sorokina // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 2. – P. 145–153. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_145.

Сведения об авторах

Сорокина Елена Викторовна
Акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения», отдел кузовов и компонентов железнодорожной техники, главный специалист, e-mail: sorokina.e@tiv.ru

Information about the authors

Sorokina Elena Viktorovna
Joint Stock Company Scientific Organization “Tver Institute of Carriage Engineering”, Department of bodies and components of railway equipment, Chief Specialist, e-mail: sorokina.e@tiv.ru