

простой вагона под грузовой операцией (X_{16}); средний простой вагона на одной технической станции (X_{17}).

Для крытых платформ, полувагонов, цистерн и прочих вагонов фактор X_9 рассматривался конкретно для грузов, которые характерны при погрузке в данный тип вагона.

В ходе анализа для формирования модели общего парка грузовых вагонов были оставлены следующие факторы: грузооборот железной дороги (X_1); пассажирооборот (X_2); средняя техническая скорость (X_3); оборот вагона (X_4); статическая нагрузка на вагон (X_5).

Выполненные исследования позволяют получить модели оптимальной сложности следующего вида:

– для общего рабочего парка

$$Y_{\text{общ}} = 1179,1e^{(0,0435X_2 + 0,0464X_3 - 0,002X_1 - 0,147X_4)};$$

– для вагонов рабочего парка крытых вагонов

$$Y_{\text{крп}} = 225,59X_6^{0,197}X_{10}^{0,777}X_5^{0,36};$$

– для вагонов рабочего парка платформ

$$Y_{\text{плп}} = 2114,3X_9^{-0,993}X_2^{0,0185}X_1^{1,0028};$$

– для вагонов рабочего парка полувагонов

$$Y_{\text{пвв}} = 2480,64e^{(-0,3402X_2 + 0,81802X_4 - 0,1046X_3 + 0,4244X_5)};$$

– для вагонов рабочего парка цистерн

$$Y_{\text{цине}} = 8245 - 0,3139X_{11} - 1724,2X_3 + 230,93X_6;$$

– для прочих вагонов рабочего парка

$$Y_{\text{прочих}} = 199974X_{10}^{-0,35793}X_1^{-0,6439}X_5^{-0,5709}.$$

По полученным моделям оптимальной сложности были рассчитаны значения рабочего парка грузовых вагонов для периода с 1993 по 2001 гг. Сравнение расчетных значений по полученной модели N_p и фактических N_ϕ показали высокую сходимость этих величин. Из изложенного следует вывод о целесообразности применения полученных моделей для прогнозирования рабочего парка грузовых вагонов.

УДК 629.4.027.2.625.033

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ

В. И. СЕНЬКО, И. Ф. ПАСТУХОВ, М. И. ПАСТУХОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Анализ технического состояния боковых рам тележек модели 18-100 грузовых вагонов показал, что наибольшее количество трещин в эксплуатации образуется в зоне наружного угла буксового проема и в зоне горизонтального пояса под опорой на буксу. Частость появления трещин в них от общего количества повреждений по раме составляет соответственно 0,32 и 0,4. Частость повреждений рамы во внутреннем углу буксового проема – 0,15 и в нижнем углу рессорного проема – 0,04. На остальные зоны рамы приходится 0,09 повреждений.

Для оценки соответствия распределения повреждений по зонам рамы ее напряженному состоянию выполнен ее расчет на прочность на осевую нагрузку $P_0 = 230,5$ кН (23,5 тс). Расчет выполнен на оба режима нагружения: первый (I) и третий (III). При I режиме нагружения учитывалась продольная сила инерции, передающаяся от тележки, вертикальная от массы брутто вагона и 50-процентная верти-

кальная добавка от продольной силы инерции кузова. При этом инерционные массы тележки и кузова определены, согласно «Норм...», исходя из замедления вагона 3,5g. Продольная сила удара в авто-сцепку в этом случае принята равной 3,5 МН (350 тс). Величины расчетных сил на раму составили: продольная – 89,3 кН (8,93 тс), вертикальная статическая от массы брутто вагона (93,98 т) – 216,58 кН (21,65 тс) и вертикальная составляющая сил инерции при соударении вагонов на сортировочной горке – 223,1 кН (22,31 тс). Суммарная вертикальная составляющая при 50-процентной доли инерционной силы равна 328 кН (32,8 тс). По III режиму нагружения на раму передаются статическая сила $P_{ст} = 21,65$ тс, динамическая $P_d = 11,23$ тс, вертикальная составляющая боковых сил $P_b = 3,85$ тс и вертикальная составляющая сил инерции при торможении $P_n = 1,258$ тс. Инерционная сила при торможении определена исходя из замедления 0,2g.

Расчет рамы выполнен методом конечных элементов. В силу симметрии конструкции и действующей нагрузки расчетная схема рамы принята для $1/2$ ее части.

Анализ результатов расчета рамы на вертикальные нагрузки по III режиму нагружения и расчетов при одновременном действии продольных и вертикальных нагрузок по I режиму нагружения показал, что наиболее характерными сечениями рамы, определяющими ее эксплуатационную надежность, являются сечения по наружному и внутреннему углам буксового проема, в зоне горизонтального пояса под опорой на буксу, по верхнему наклонному поясу и в нижнем углу рессорного проема. Зависимость напряжений в них от вертикальной нагрузки представлена на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, величины напряжений в наружном углу буксового проема практически не зависят от вертикальной нагрузки и чрезвычайно малы (менее 5 МПа). Тем не менее в этом сечении в эксплуатации возникает до 32 % трещин от всех их по раме. Невелики напряжения и в горизонтальном опорном поясе рамы (53 МПа при допускаемых по III режиму 130 МПа), а появление трещин в нем в эксплуатации наибольшее – 40 % от всех остальных зон.

Анализ результатов расчета рамы на продольную и вертикальные нагрузки по I режиму нагружения показал, что наибольшие напряжения в раме возникают в наружном углу буксового проема (зависимость 1) и в горизонтальном наклонном поясе (5), в которых при продольной нагрузке 30 кН напряжения соответственно равны 114,1 и 125 МПа, при нагрузке 46 кН – они достигают допускаемых значений для углеродистой стали 20Л – 183 МПа, а при расчетной продольной нагрузке 89,3 кН, возникающей при соударении вагонов на сортировочной горке, – 342,7 МПа (рисунок 2).

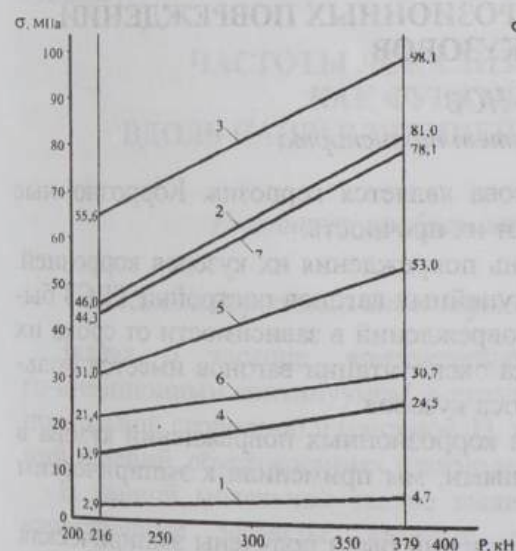


Рисунок 1 – Зависимость напряжений в раме тележки модели 18-100 от вертикальной нагрузки: 1 – в наружном углу буксового проема; 2 – во внутреннем углу буксового проема; 3 – в нижнем углу рессорного проема; 4 – в верхнем углу рессорного проема; 5 – в горизонтальном поясе под опорой на буксу; 6 – в верхнем поясе рессорного проема; 7 – в верхнем наклонном поясе, примыкающем к буксовому проему

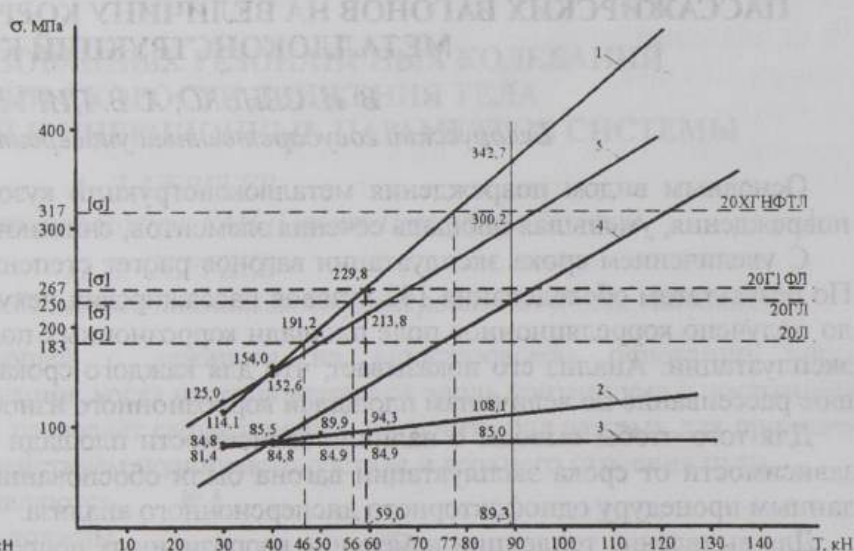


Рисунок 2 – Зависимость напряжений в раме тележки модели 18-100 от продольной силы Т при постоянной вертикальной силе 328 кН:

1 – в наружном углу буксового проема; 2 – во внутреннем углу буксового проема; 3 – в нижнем углу рессорного проема; 4 – в наружном углу буксового проема (экспериментальные данные ВНИИЖТа); 5 – в горизонтальном поясе под опорой на буксу

Для сравнения для зоны 1 рамы (линия 1) нанесена экспериментальная зависимость (4), полученная во ВНИИЖТе при роспуске вагонов на сортировочной горке. Из нее следует, что расхожде-

ние между расчетными и эксплуатационными значениями напряжений в среднем составляют 25 %. Это свидетельствует о том, что заложенная в «Нормы...» методика определения инерционной силы от продольной силы удара, равной 3,5 МН, завышена. Экспериментально установлено, что продольная инерционная сила на раму находится в среднем на уровне 25 – 50 кН, а расчетным путем она составляет 89,3 кН, т.е. на 78 % больше.

На рисунке 2 на графике $\sigma = f(T)$ нанесены значения допускаемых напряжений для различных марок сталей: 20Л; 20ГЛ; 20Г1ФЛ и 20 ХГНФЛ. Из графиков следует, что предельная продольная сила, при которой напряжения в наружном буксовом углу рамы достигают допускаемых значений, равна: для стали 20Л – 46 кН (по экспериментальным данным – 75 кН); для стали 20ГЛ – 56 кН; для стали 20Г1ФЛ – 59 кН и для стали 20ХГНФЛ – 77 кН. Из этого сравнения следует, что для наиболее опасных зон рамы самым эффективным способом повышения их эксплуатационной надежности является переход на низколегированные стали повышенной прочности. Однако одного этого мероприятия недостаточно. Например, в нижнем углу рессорного проема рост продольной нагрузки при постоянной вертикальной не приводит к росту напряжений. И несмотря на то, что напряжения в нем значительно ниже допускаемых ($85 < 183$ МПа, для стали 20Л по I режиму) повреждения в этой зоне в эксплуатации встречаются. Это говорит о том, что в данном сечении разрушающими нагрузками являются не продольные ударные (квазистатические), а вертикальные динамические, возникающие в процессе движения по магистральным путям. Но поскольку от них возникают максимальные напряжения ниже допускаемых ($98,1 < 130$, для стали 20Л по III режиму), то дополняющий фактор для разрушения – появление на поверхности или внутри сечения (но не глубже 5 мм от поверхности) литейных дефектов. Литейные дефекты, являющиеся концентратором напряжений, становятся очагами зарождения усталостных трещин и источником разрушения деталей.

Однако в эксплуатации до 70 % всех повреждений приходится на наружный угол буксового проема и горизонтальный пояс под опорой на буксу, что является следствием замыкания зазоров в буксовом проеме при регулировочных торможениях на сортировочных горках.

УДК 629.45.004

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ НА ВЕЛИЧИНУ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ

В. И. СЕНЬКО, А. В. ПИГУНОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Основным видом повреждения металлоконструкции кузова является коррозия. Коррозионные повреждения, уменьшая площадь сечения элементов, снижают их прочность.

С увеличением срока эксплуатации вагонов растет степень повреждения их кузовов коррозией. По результатам обследования 142 кузовов пассажирских некупейных вагонов постройки ТВСЗ было получено корреляционное поле площади коррозионных повреждений в зависимости от срока их эксплуатации. Анализ его показывает, что для каждого срока эксплуатации вагонов имеется большое рассеивание по величинам площадей коррозионного износа кузовов.

Для того чтобы выводы о наличии зависимости площади коррозионных повреждений кузова в зависимости от срока эксплуатации вагона были обоснованными, мы применили к эмпирическим данным процедуру однофакторного дисперсионного анализа.

Для выявления тенденции изменения коррозионных повреждений были получены эмпирическая и регрессионные зависимости средней площади коррозионного износа кузова в целом от срока эксплуатации вагона, а также настила пола, торцовых и боковых стен.

Анализ графика эмпирической кусочно-линейной зависимости для кузова в целом показывает, что при сроке эксплуатации более 18 лет наблюдается существенное увеличение степени повреждения кузова коррозией, а после 26 лет эксплуатации имеет место резкий скачок в ухудшении технического состояния элементов кузовов вагонов. Практически после этого периода эксплуатации вагон нельзя использовать для перевозки пассажиров без проведения восстановительного ремонта.

Отсюда следует, что после 20 лет эксплуатации идет интенсивное повреждение кузова вагона коррозией. В такой ситуации нельзя говорить ни о каком комфорте для пассажиров, несмотря на то, что несущая способность кузова еще может быть обеспечена.