

УДК 629.4.028.86

А. С. Васильев, А. П. Болдырев, Б. Г. Кеглин, А. М. Гуров

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ, ОСНАЩЕННЫХ ФРИКЦИОННЫМИ ПОГЛОЩАЮЩИМИ АППАРАТАМИ НОВОГО ИСПОЛНЕНИЯ, ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Построено распределение продольных сил, действующих на вагон, оборудованный новыми фрикционными аппаратами, при переходных режимах движения поезда. Исследовано влияние различных амортизаторов на продольную динамику поезда. Определен статистический спектр сил при различных режимах эксплуатации вагона.

Ключевые слова: фрикционные поглощающие аппараты, продольная нагруженность вагона, переходные режимы движения поезда, статистическое распределение, продольные силы.

Наибольшие значения продольных сил, действующих на вагоны со стороны автоцепок, наблюдаются при маневровых соударениях. При выборе рациональных параметров поглощающих аппаратов этот режим формирования динамических нагрузок является основным. Однако при переходных режимах движения поездов меньшие по величине силы повторяются большее число раз. Они также приводят к накоплению повреждений. При выборе параметров поглощающих аппаратов во всех режимах движения силы должны быть наименьшими.

Для оценки эксплуатационных характеристик перспективных фрикционных аппаратов с центральным плунжером в объемном распорном блоке ПМК-РБП-120 (рис. 1 а) и ПМК-РБЭ-120 (рис. 1 б) [1;2], а также с распорным узлом в виде эластомерной вставки АВК-120П (рис. 1 в), АВК-120Э (рис. 1 г) [3;4] была исследована продольная нагруженность вагонов при различных поездных режимах движения.

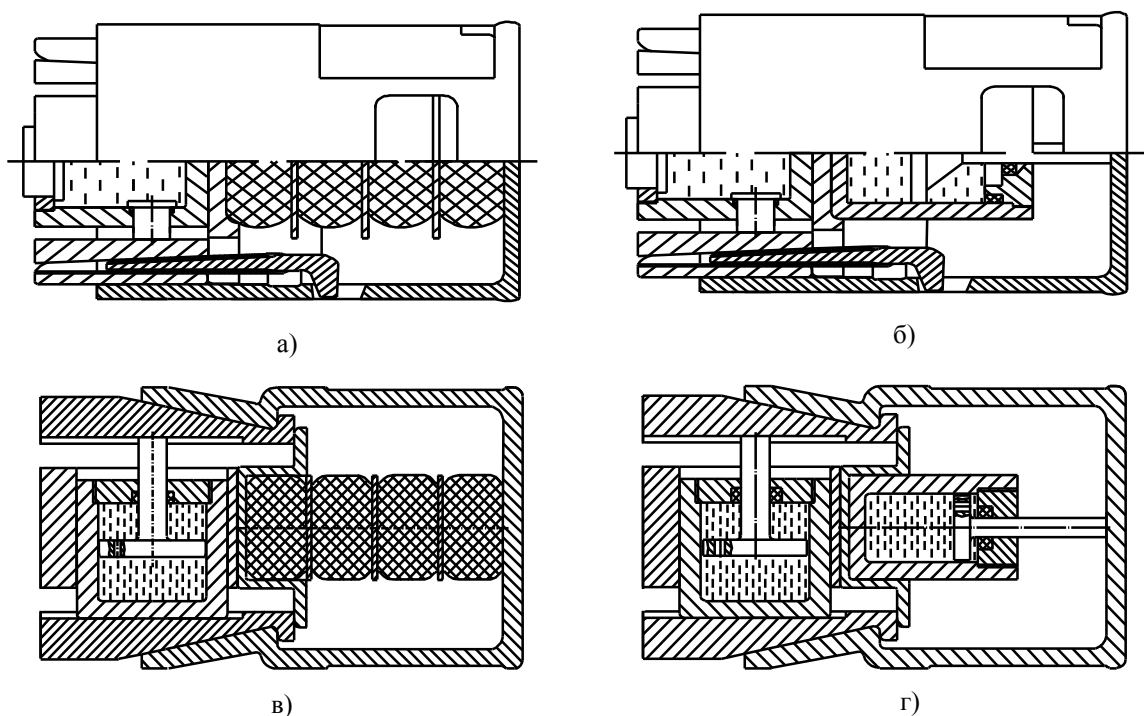


Рис. 1. Фрикционные поглощающие аппараты:
а – ПМК-РБП-120; б – ПМК-РБЭ-120; в – АВК-120П; г – АВК-120Э

Исследуемые перспективные аппараты ПМК-РБП-120, ПМК-РБЭ-120, АВК-120П и АВК-120Э отличаются наличием во фрикционной части упругих распорных устройств вместо клинового распора в серийных фрикционных амортизаторах. Обеспечиваются стабильность работы аппаратов и повышение их эксплуатационных характеристик.

Представленные амортизаторы имеют схожий принцип работы. Под действием усилия, передаваемого от автосцепки, их распорные устройства сжимаются при движении по наклонным стенкам корпуса. Возникает распорное усилие между фрикционными пластинами, которое увеличивается по мере нарастания хода аппаратов. Это усилие определяет высокую силу трения на поверхностях трения. Восстановление аппаратов в исходное состояние происходит за счет упругой силы, действующей со стороны возвратно-подпорных устройств.

Расчетная модель поезда представлена на рис. 2. Рассматривались, в частности, пуск поезда, а также различные режимы торможения.

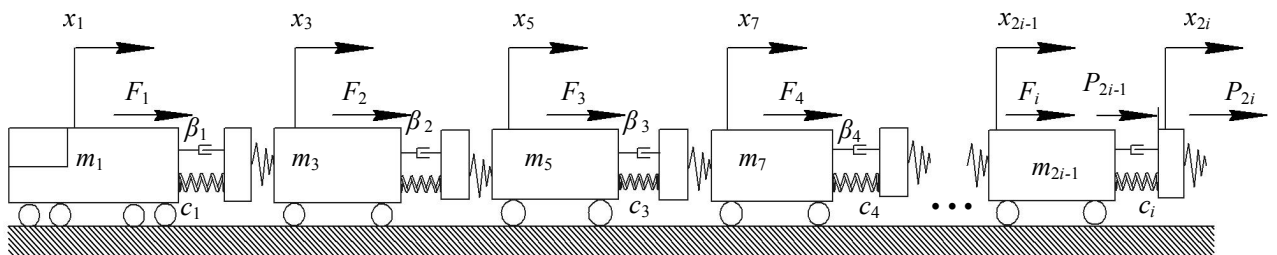


Рис. 2. Расчетная схема поезда

Система дифференциальных уравнений движения имеет вид

$$\begin{cases} M_0 \ddot{x}_0 - P_{b0} - F_{c0} = F_0^t; \\ m_0 \ddot{x}_{p0} + P_{b0} - P_{a0} = 0; \\ m_a \ddot{x}_a + P_{a0} - P_{a1} = 0; \\ M_i \ddot{X}_i + P_{bi} - P_{ai+1} - F_{ci} = 0; \\ m_i \ddot{x}_{pi} + P_{ai} - P_{bi} - F_{ci} = 0, \end{cases}$$

где M_0 , m_0 – массы расчетной модели локомотива; M_i , m_i – массы расчетных моделей вагонов; m_a – промежуточная масса; P_{ai} – силы в межвагонных связях (определяются типом поглощающего аппарата); P_{bi} – силы, возникающие при деформации вагонов; F_0^t – сила тяги локомотива; F_{ci} – общая сила сопротивления движению.

При вычислении сил в межвагонных связях P_{ai} для различных фрикционных поглощающих аппаратов использовались ранее разработанные расчетные модели [1;2;5-9].

Эффективность работы поглощающих аппаратов АВК-120П, АВК-120Э, ПМК-РБП-120, ПМК-РБЭ-120 при переходных режимах движения поезда оценивалась в сравнении с серийными поглощающими аппаратами ПМК-110, ПМКП-110 и ПМКЭ-110. Для расчетных ситуаций – пуск поезда, различные режимы торможения – анализировались распределения максимальных сил по длине состава. При этом исследовались короткие (31 вагон), средние (65 вагонов) и длинные (116 вагонов) составы. Рассматривались как однородные поезда, вагоны которых оснащены однотипными аппаратами, так и неоднородные составы, в которых аппаратами АВК-120П, АВК-120Э, ПМК-РБП-120, ПМК-РБЭ-120 оснащались несколько вагонов (остальные вагоны состава оснащались аппаратами ПМК-110).

Расчеты проводились с использованием программного комплекса Train, позволяющего моделировать различные режимы эксплуатации железнодорожных транспортных средств.

На рис. 3 изображено распределение максимальных растягивающих сил по длине состава при трогании с места однородного длинного осаженного поезда массой 10000 т. Для коротких составов при пуске меньшие силы возникают при оснащении вагонов аппаратами ПМК-110, имеющими самую низкую начальную затяжку. Для средних и длинных составов, оснащенных перспективными фрикционными аппаратами, характерно снижение значений продольных растягивающих усилий до 30% по сравнению с серийными аппаратами.

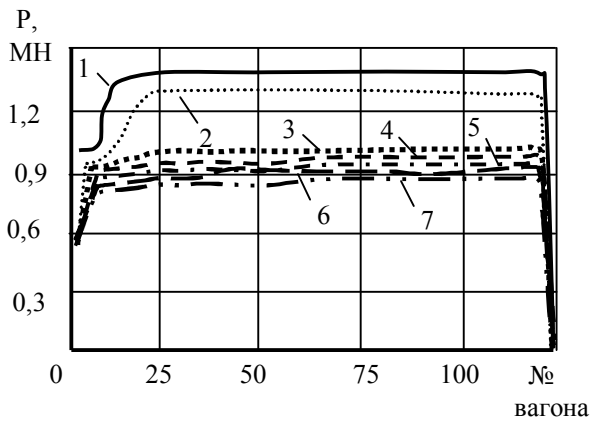


Рис. 3. Распределение продольных сил при пуске в ход однородного состава массой 10000 т: 1 – ПМК-110; 2 – ПМКП-110; 3 – ПМКЭ-110; 4 – АВК-120П; 5 – АВК-120Э; 6 – ПМК-РБП-120; 7 – ПМК-РБЭ-120

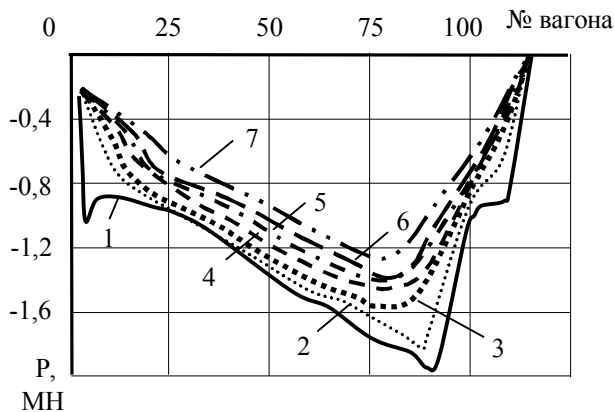


Рис. 4. Распределение продольных сил при экстренном торможении однородного состава массой 10000 т со скорости 22,5 км/ч: 1 – ПМК-110; 2 – ПМКП-110; 3 – ПМКЭ-110; 4 – АВК-120П; 5 – АВК-120Э; 6 – ПМК-РБП-120; 7 – ПМК-РБЭ-120

Результаты исследований неоднородных поездов показали, что в сечениях состава, где размещены перспективные фрикционные амортизаторы, наблюдается снижение сил на 20-25%. При этом в некоторых расчетных ситуациях на соседних вагонах наблюдается небольшое повышение продольных нагрузок (3-5%). Однако на общий уровень максимальных сил включение перспективных аппаратов не оказывает значительного влияния.

На рис. 4 приведено распределение максимальных сжимающих сил для ситуации экстренного торможения со скорости 22,5 км/ч однородного длинного состава. Так же как и для пуска поезда в ход, снижение уровня сил (15-25%) достигается для средних и длинных составов.

Результаты исследования поездных режимов для неоднородных поездов показали, что значительное снижение сил на вагонах, оборудованных перспективными поглощающими аппаратами, наблюдается только для длинных составов. Для коротких и средних составов при экстренном торможении включение перспективных аппаратов существенно не влияет на уровень сил.

В большинстве расчетных ситуаций переходных режимов движения поезда применение аппаратов АВК-120П, АВК-120Э, ПМК-РБП-120, ПМК-РБЭ-120 приводит к снижению продольных нагрузок, причем изменение продольных сил во времени носит монотонный характер, что также снижает усталостную повреждаемость

железнодорожных экипажей. Это позволяет рекомендовать данные аппараты к широкому внедрению на железнодорожном подвижном составе.

На основе результатов исследования продольной нагруженности вагонов, оснащенных различными фрикционными поглощающими аппаратами, было рассчитано статистическое распределение продольных сил, действующих на подвижной состав через автосцепку. Это распределение позволяет оценить надежность и долговечность элементов вагона, рассчитать программу проведения испытаний на износ и усталость, определить оптимальные параметры амортизаторов удара и решить ряд других задач.

Спектр продольных сил, действующих на грузовой вагон, оснащенный перспективными фрикционными поглощающими аппаратами ПМК-РБП-120, ПМК-РБЭ-120, АВК-120П, АВК-120Э, определялся согласно методике расчета, приведенной в работе [9].

Данная методика предусматривает следующие особенности:

1. При прохождении сортировочных горок каждый вагон (набегающий и ударяемый) нагружается дважды.
2. События (различные режимы движения и маневровые соударения) не являются зависимыми, поэтому вероятность возникновения рассматриваемой ситуации является произведением вероятностей: $p = p_1 p_2 \dots p_i$.

Для построения статистического распределения продольных сил были рассмотрены все режимы эксплуатации грузового вагона. В качестве основной расчетной ситуации при маневровых операциях было принято соударение одиночных вагонов. Вагоны предполагались оборудованными поглощающими аппаратами ПМК-РБП-120, ПМК-РБЭ-120, АВК-120П, АВК-120Э (накатываемый вагон) и ПМК-110 (неподвижный вагон). В ходе математического моделирования регистрировались экстремумы растягивающих и сжимающих сил за режим.

Результаты расчетов показали, что перспективные фрикционные аппараты эффективнее работают при маневровых соударениях по сравнению с серийными. Большая часть возникших сил попала в интервал 0,5-1,5 МН. Характерно снижение вероятности возникновения сил свыше 1,5 МН.

Для переходных режимов движения поезда рассматривались пуск в ход и различные виды торможения с учетом их вероятности при различных массах поездов [9].

Результаты расчетов показали, что также наблюдается снижение вероятности возникновения сил свыше 1 МН для перспективных поглощающих аппаратов.

На рис. 5 представлено объединенное статистическое распределение глобальных сжимающих экстремумов для маневровых операций и поездных режимов.

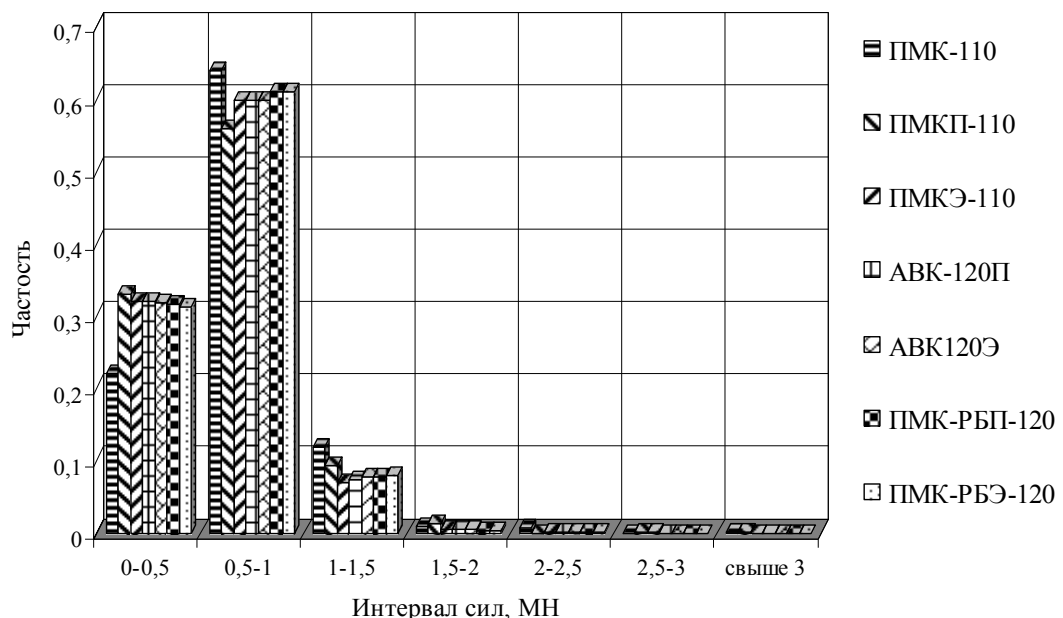


Рис. 5. Статистическое распределение экстремумов сжимающих сил

Анализ статистических распределений продольных сил отражает снижение вероятности возникновения критических сил. Полученный спектр можно рекомендовать для оценки нагруженности элементов вагонов, оснащенных перспективными поглощающими аппаратами.

Также в ходе исследования была оценена вероятность параметрического отказа аппаратов, которая определялась суммой вероятностей возникновения продольных сжимающих сил свыше предельной нагрузки. В таблице приведены результаты расчетов вероятностей параметрического отказа перспективных и серийных фрикционных поглощающих аппаратов.

Таблица

Результаты расчетов продольной нагруженности вагонов

Тип поглощающего аппарата	Вероятность параметрического отказа	
	$P > 2,5 \text{ МН}$	$P > 3,5 \text{ МН}$
ПМК-110	0,00232	0,00061
ПМКП-110	0,00172	0,00034
ПМКЭ-110	0,00096	0,00019
ПМК-РБП-120	0,00072	0,00014
ПМК-РБЭ-120	0,00068	0,00013
АВК-120П	0,00079	0,00016
АВК-120Э	0,00069	0,00015

Результаты расчетов показали, что вероятность параметрического отказа у перспективных фрикционных амортизаторов существенно ниже, чем у серийных поглощающих аппаратов ПМК-110 и ПМКП-110. Для аппарата ПМК-РБП-120 вероятность параметрического отказа при превышении предельной нагрузки 2,5 и 3,5 МН меньше на 58 и 59% соответственно, чем для аппарата ПМКП-110; для аппарата АВК-120П – на 54 и 53%. В сравнении с аппаратом ПМКЭ-110 класса Т2 вероятность параметрического отказа амортизатора ПМК-РБП-120 ниже на 25 и 26%, а для амортизатора АВК-120П – на 18 и 16%. Использование перспективных фрикционных амортизаторов удара снижает вероятность параметрического отказа и в большинстве случаев приводит к снижению продольных нагрузок.

Выводы по результатам исследований:

- 1) результаты исследования продольной нагруженности вагонов, оснащенных перспективными аппаратами, при различных поездных режимах движения показали, что в большинстве расчетных ситуаций применение перспективных аппаратов приводит к снижению продольных нагрузок в сравнении с серийными амортизаторами;
- 2) расчеты статистического распределения продольных нагрузок, действующих на вагон, показали, что перспективные фрикционные аппараты по сравнению с серийными работают эффективнее как при маневровых соударениях, так и при переходных режимах движения поезда;
- 3) снижение вероятности параметрического отказа для перспективных фрикционных амортизаторов по сравнению с различными серийными аппаратами достигает 60%;
- 4) полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют рекомендовать данные аппараты к широкому внедрению на железнодорожном подвижном составе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, А. С. Разработка фрикционных амортизаторов с объёмным распорным блоком / А. С. Васильев, А. П. Болдырев // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2011. – №2. – С. 25-30.
2. Васильев, А. С. Исследование работы поглощающих аппаратов с объёмными распорными блоками / А. С. Васильев, Э. А. Фатьков // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2013. – №1. – С. 57-62.
3. Пат. 2486090 РФ, МПК8 F16F11/00, F16F 9/14, B61G11/14 Фрикционно-полимерный поглощающий аппарат автосцепки/ Алдюхов В. А., Болдырев А. П., Васильев А. С., Гуров А. М., Кеглин Б. Г., Шлющенко А. П. - Оpubл. 27.06.13, Бюл. № 18.
4. Пат. 120935 РФ, МПК8 F16F11/00, F16F 9/14, B61G11/14. Фрикционно-эластомерный поглощающий аппарат автосцепки/ Алдюхов В. А., Болдырев А. П., Васильев А. С., Гуров А. М., Кеглин Б. Г., Шлющенко А. П. - Оpubл. 10.10.12, Бюл. № 28.

5. Васильев, А. С. Разработка и исследование фрикционного амортизатора удара с упругим распорным узлом / А. С. Васильев, Б. Г. Кеглин, А. П. Болдырев, А. П. Шлющенко // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та.– 2012. – №1. – С. 25-31.
6. Васильев, А. С. Исследование характеристик фрикционно-эластомерного амортизатора удара и расчёт напряжённо-деформированного состояния его узлов /А. С. Васильев// Вестн. Брян. гос. техн. ун-та.– 2013. - №2. – С. 33-41.
7. Болдырев, А. П. Расчет и проектирование амортизаторов удара подвижного состава /А. П. Болдырев, Б. Г. Кеглин. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 199 с.
8. Никольский, Л. Н. Амортизаторы удара подвижного состава / Л. Н. Никольский, Б. Г. Кеглин. – М.: Машиностроение, 1986. – 144 с.
9. Болдырев, А. П. Научные основы совершенствования поглощающих аппаратов автосцепки: дис.... д-ра техн. наук / А. П. Болдырев. – Брянск, 2006.– 360 с.

Материал поступил в редколлегию 11.02.14.