

имеют чрезмерно большое количество сухого трения, при неизбежных изменениях которого в эксплуатационных условиях и износах трущихся поверхностей надежность работы устройства по возвращению груза в исходное положение снижается. Это приводит к необходимости заведомого завышения угла заострения клиньев, что вызывает существенное увеличение продольных нагрузок жестко передающихся грузу при движении поезда, и снижает эффективность работы устройства. Кроме этого клиновые устройства должны включать в себя сложные и громоздкие узлы со сферическими пятниками, позволяющими компенсировать перекосы длинномерного груза относительно опорных вагонов при вписывании сцепа в кривые участки пути, прохождении горба сортировочной горки и при всех относительных перемещениях вагонов сцепа.

Маятниковые устройства обладают весьма ограниченной возможностью реализации значительных относительных перемещений груза, определяемой практически приемлемой длиной маятниковых подвесок, габаритами и металлоемкостью самих устройств. Для предотвращения постоянного раскачивания груза такие устройства должны включать в себя специальные демпфирующие элементы (гасители колебаний), существенно усложняющие конструкцию опоры.

Колесные устройства обладают достаточной способностью обеспечивать требуемые возвращающие качества, однако их конструкция весьма громоздка и металлоемка. Продольные габариты устройства должны более чем в два раза превышать его ход, а подшипниковые узлы, воспринимающие значительные вертикальные и боковые нагрузки, должны к тому же эффективно обеспечивать демпфирование продольных перемещений, что существенно усложняет конструкцию указанных узлов.

Ползковые устройства можно считать разновидностью колесных, когда верхний опорный элемент выполнен в виде застопоренного колеса. Эти устройства сохраняют в себе недостатки колесных: увеличенные габариты в продольном направлении и ограниченные возможности по обеспечению оптимального демпфирования продольных перемещений.

Секторные устройства вряд ли могут претендовать на широкое распространение, так как трудно представить себе приемлемую конструкцию натурной опоры такого типа, у которой размеры секторов превышают удвоенный ход устройства.

Несомненным достоинством катковых устройств является возможность реализации в них практически любых заранее заданных качеств путем соответствующего подбора форм профилей катков и взаимодействующих с ними опорных поверхностей. При одинаковой величине предельно допускаемых перемещений груза относительно опорных вагонов опоры такого устройства имеют примерно в два раза меньшие габариты в продольном направлении по сравнению со всеми другими видами опор подвижных ТКУ. Катковые устройства не требуют включения в себя дополнительных пятниковых устройств, а демпфирование относительных перемещений груза может быть осуществлено достаточно легко за счет торможения перекатывания катка путем расклинивания между направляющими его торцевых поверхностей или искусственного увеличения трения качения на цилиндрических поверхностях.

Во всех перечисленных схемах в процессе соударения исходное положение груза относительно опорных вагонов восстанавливается за счет действия на него возвращающей силы, функционально зависящей в общем случае от относительных перемещений груза и опорных вагонов.

УДК 629.44

## ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ КРЕПЛЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНАХ

*А. Д. ЖЕЛЕЗНЯКОВ, С. М. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта*

В настоящее время вопрос о критериях эффективности работы подвижных опор по снижению продольных инерционных нагрузок, передаваемых грузу и опорным вагонам, остается нерешенным. Наиболее распространенным подходом является сравнение тех или иных принципиальных схем крепления грузов по величинам продольных сил и ускорений, воспринимаемых ими при ударных взаимодействиях вагонов с другими единицами подвижного состава. Такой подход не может дать объективной картины работы крепежных устройств для их сравнения и оптимизации амортизи-

рующих способностей. Недостаток этой наиболее распространенной системы сравнения схем крепления заключается в том, что она не учитывает ряд других опосредованных показателей работы амортизаторов груза, а именно: силу, передаваемую вагону через автосцепку, ускорения вагонов, повторяемость усилий и ускорений некоторого уровня, передаваемых грузу и вагону при различных условиях его нагружения в эксплуатации. Опыт решения подобных задач показывает, что многообразие показателей работы амортизаторов, их разнородность и сложности в установлении приоритетов требуют разработки критериев или критерия, позволяющего оценить свойства амортизаторов груза с позиций их главного назначения: обеспечения сохранности грузов и вагонов, перевозящих эти грузы. Наиболее целесообразным следует признать критерий, учитывающий экономические ущербы от повреждений и разрушений конструкции вагонов и перевозимых грузов отдельными продольными перегрузками и повреждений усталостного характера элементов вагонов.

Для сравнительной оценки крепежных устройств различного вида предлагается некоторый обобщенный технико-экономический критерий (ОТЭК), учитывающий следующие виды ущерба, наносимого системе «Опорные вагоны – длинномерный груз»: от повреждающего действия разовых продольных нагрузок значительной величины; от усталостных повреждений вагонов; от повреждающего действия на груз отдельных перегрузок. ОТЭК формируется с учетом выводов, полученных в работах Л. Н. Никольского и Б. Г. Кеглина, и специфики рассматриваемой динамической системы.

Анализ результатов эксплуатации показывает, что большая доля ущерба от повреждения грузовых вагонов связана с действием отдельных усилий значительной величины (перегрузок), возникающих при роспуске вагонов с сортировочных горок. Повреждающее действие таких разовых перегрузок на конструкцию вагона начинается с некоторых пороговых сил  $P_n$ . Обычно величина  $P_n$ , зависящая от типа вагона, рода груза и характера его закрепления, находится в пределах 1,8 – 2,2 МН.

Считаем, что при реализации на ударно-тяговых приборах силы, равной или превышающей значения  $P_n$ , крепежное устройство исчерпывает свои амортизирующие возможности, и элементы вагонов вступают в разрушающее их взаимодействие с грузом. Тогда ущерб, определяемый разовыми перегрузками,

$$U_{пв} = \alpha_{пв} I_{пв} = \alpha_{пв} \sum_{i=1}^l (P_i - P_n)^2 n_i \sigma_0 (P_i - P_n),$$

где  $\alpha_{пв}$  – коэффициент пропорциональности;  $\sigma_0$  – единичная функция Хевисайда.

Ущерб от усталостных повреждений элементов конструкции вагона может быть оценен с помощью частного критерия относительной усталостной повреждаемости. Ущерб оценивается с учетом того, что для вагона в целом справедлива кривая усталости, аналогичная кривым усталости для его отдельных деталей и узлов. Общая усталостная повреждаемость вагона находится линейным суммированием повреждаемостей от сил некоторых уровней.

С учетом этого ущерб от усталостной повреждаемости может быть определен из зависимости

$$U_y = \alpha_y I_y = \alpha_y \sum_{i=1}^l P_i^m n_i,$$

где  $\alpha_y$  – коэффициент пропорциональности;  $P_i$  – продольная сила, передаваемая вагону через ударно-тяговые приборы при загрузке  $i$ -го уровня, соответствующего скорости взаимодействия (удара)  $V_i$ ;  $n_i$  – число нагружений  $i$ -го уровня, под  $n_i$  понимается математическое ожидание проявления соответствующего значения  $P_i$ ;  $m$  – параметр кривой усталости, принимаем  $m = 5$ .

Для длинномерных и крупногабаритных грузов, перевозимых как на отдельных вагонах, так и на их сцепках с использованием крепежных устройств различных видов (турникетных опор, подвижных опор гравитационного типа) существенной является доля ущерба, наносимого грузу отдельными перегрузками при ударе. Механизм разрушения и возникновения повреждений у грузов такого рода, чаще всего железобетонных строительных конструкций, при действии динамических нагрузок может быть различен. Он определяется совокупностью прочностных, инерционных, упругих и демпфирующих параметров груза, способом его укладки и закрепления на вагоне или на сцепе вагонов, направлением, величиной, местом приложения и повторяемостью ударных нагрузок. Поэтому в принципе для каждого конкретного случая должны существовать свои критерии, характеризующие

повреждаемость и ущерб от нее для данного груза. Однако выявить такие критерии и пользоваться ими применительно к весьма обширной номенклатуре крупногабаритных и длинномерных грузов и различным условиям перевозки практически невозможно.

При рассмотрении факторов, влияющих на повреждаемость, справедливо полагать, что причиной повреждаемости груза является чрезмерный рост и динамическое изменение напряжений, возникающих в нем при соударениях вагонов. Рассматривая длинномерный груз как балку, закрепленную на двух опорах, и определяя коэффициенты динамического напряжения как отношение разницы максимальных напряжений при динамических нагружениях и напряжений в тех же сечениях от собственного веса груза к напряжениям от собственного веса, обнаруживаем, что положительное влияние на напряженное состояние балки (длинномерного груза) оказывает снижение продольной силы реакции каждой из опор  $N_I$  и  $N_{II}$  и их суммы ( $N_I + N_{II}$ ). С учетом изложенного в качестве критериев сравнительной оценки возможной повреждаемости длинномерного груза в общем случае могут быть приняты две величины: максимальное значение продольной силы, передающейся грузу одной из опор  $N_{\max}$ , и максимальное значение силы инерции, сообщаемой грузу при соударении и равной  $(N_I + N_{II})_{\max}$ . Можно считать, что первая из этих величин оказывает влияние на местную прочность груза в зонах его контакта с опорами, а вторая – на его общую прочность и напряженное состояние в зонах, удаленных от опор.

Используя описанную модель и принимая, что повреждения груза и ущерб пропорциональны, в первом приближении, значениям коэффициентов динамического изменения напряжений в сечениях длинномерного груза, свяжем ущерб от повреждений груза с величиной наибольшей за удар силы, передаваемой грузу через опоры, и с величиной наибольшего за удар ускорения груза, получим:

$$U_{\text{пр}} = \alpha_{\text{пр}1} I_{\text{пр}1} + \alpha_{\text{пр}2} I_{\text{пр}2} = \\ = \alpha_{\text{пр}1} \sum_{i=1}^l (N_{\text{г}i} - N_{\text{гн}}) \eta_i \sigma_0 (N_{\text{г}i} - N_{\text{гн}}) + \alpha_{\text{пр}2} \sum_{i=1}^l (j_{\text{г}i} - j_{\text{гн}}) \eta_i \sigma_0 (j_{\text{г}i} - j_{\text{гн}}),$$

где  $\alpha_{\text{пр}1}, \alpha_{\text{пр}2}$  – коэффициенты пропорциональности;  $N_{\text{г}i}$  – продольная сила, передаваемая грузу одной из опор при загрузке  $i$ -го уровня;  $N_{\text{гн}}$  – пороговая сила повреждающего действия для груза;  $j_{\text{г}i}$  – ускорение груза при загрузке  $i$ -го уровня;  $j_{\text{гн}}$  – пороговые ускорения.

В качестве пороговой силы принимается нормативная величина продольной инерционной силы, порогового ускорения – нормативное ускорение груза во время удара.

Обобщенный критерий, учитывающий ущерб от совокупности всех упомянутых выше видов повреждаемости за определенный срок эксплуатации крепежных устройств, имеет вид

$$I = I_y + \gamma_{\text{пв}} I_{\text{пв}} + \gamma_{\text{пр}1} I_{\text{пр}1} + \gamma_{\text{пр}2} I_{\text{пр}2},$$

где  $\gamma_{\text{пв}}, \gamma_{\text{пр}1}, \gamma_{\text{пр}2}$  – коэффициенты, учитывающие долю в общем ущербе от повреждений различной физической природы и размерность величин; при перевозке длинномерного груза (железобетонной строительной конструкции) на сцепе двух железнодорожных платформ для приближенных расчетов можно принять  $\gamma_{\text{пв}} = 500(\text{МН})^3$ ;  $\gamma_{\text{пр}1} = 10(\text{МН})^4$ ;  $\gamma_{\text{пр}2} = 1,0(\text{МН})^5 (\text{с}^2/\text{М})$ .

Уточненные значения приведенных коэффициентов могут быть получены только по результатам обследования структуры повреждений крупногабаритных и длинномерных грузов при перевозках. В настоящее время вследствие отсутствия достаточного статистического материала сделать это не представляется возможным. Однако учитывая, что принятый обобщенный критерий используется для сравнительной оценки крепежных устройств различных видов при одинаковых эксплуатационных условиях, полученные значения коэффициентов, входящих в выражение для определения ОТЭК, следует считать достоверными.

Число нагружений  $i$ -го уровня  $m_i$  может быть принято, исходя из распределения вероятностей проявления скоростей соударения  $V_i$ .

Для сравнения крепежных устройств с помощью ОТЭК используем относительный коэффициент эффективности

$$K_{\text{э}} = I_{\text{эт}} / I_{\text{ср}},$$

где  $I_{\text{эт}}, I_{\text{ср}}$  – значения ОТЭК соответственно для эталонного и сравниваемого крепежных устройств.