

П. Н. Бутин

**НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ЛЕСОВОЗНЫХ ВАГОНОВ-СЦЕПОВ НА УДАРНЫЕ НАГРУЗКИ\***

Совершенствование существующего подвижного состава и создание его новых типов, отвечающих сложным условиям работы лесотранспорта, невозможно без изучения динамики состава, особенно продольной, получившей в лесовозных вагонах-сцепках явно выраженный специфический характер, обусловленный особенностями перевозимых грузов.

В условиях неустановившихся режимов движения лесовозного подвижного состава в передаче продольных усилий между полусцепами участвует и груз (пакет хлыстов), чего не наблюдается ни в одном из прочих видов грузового состава. С первых дней вывозки леса в хлыстах вопрос о передаче продольных усилий между полусцепами стал одним из главных и не решен окончательно до настоящего времени.

Теоретическое изучение вопросов продольной динамики лесовозных вагонов-сцепов составляет достаточно сложную и далеко еще не решенную задачу, а поэтому экспериментальные исследования в этом направлении имеют важное значение не только с точки зрения получения конкретных результатов, но они еще и обогащают теорию новыми данными. Из весьма значительного количества теоретических работ по данному вопросу наибольший интерес представляют исследования В. И. Мельникова [1], Л. С. Матвеевко [2], Н. А. Гайдара [3].

Обширные исследования продольной динамики подвижного состава общего пользования (МПС), выполненные Л. Н. Никольским [4] и С. В. Вершинским [5], говорят о том, что наибольшие продольные усилия, ускорения и смещения груза достигаются при ударных нагрузках вагонов.

Испытания вагонов-сцепов на ударные нагрузки с помощью локомотива трудоемки и не позволяют достичь поставленной цели из-за невозможности выполнения заданного режима движения. Поэтому нами для проведения подобных экспериментов был разработан и построен специальный стенд, описание которого и методика проведения испытаний изложены в работах [6] и [7]. Ниже приводятся только основные результаты исследований, полученные путем математической обработки опытных данных.

Опыты проводились при неподвижных и подвижных кониках вагонов-сцепов ЦНИИМЭ, загруженных хлыстами общим весом 15,6 т.

В первом случае ударная нагрузка от одного полусцепы к другому передавалась через пакет хлыстов, внутренние ударно-сцепные при-

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук В. И. Мельникова.

боры были отключены. Усилия в головном ударно-сцепном приборе измерялись динамометром, действующие на коники полусцепов — тензоупорами, а силы взаимодействия между пакетом хлыстов и кониками — тензотягами. Характер изменения измеряемых величин в функции времени при  $v=3$  км/ч представлен на рис. 1, а и в зависимости от скорости соударения — на рис. 1, б. Динамические усилия в ударно-сцепном приборе (на рис. 1 кривая 1) определяются из рассмотрения двух последовательных стадий удара: упругой и жесткой. При первой стадии удара нагрузки не превышают усилий, необходимых на сжатие

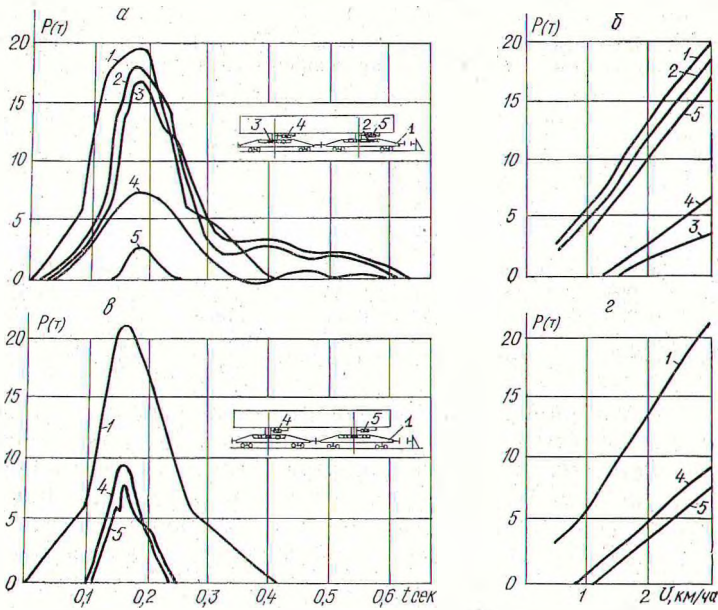


Рис. 1. Характер изменения продольных усилий в некоторых элементах вагона-сцепы с неподвижными кониками в зависимости от времени при  $v=3$  км/ч, (а, б) и скорости соударения (в, г):

а, б — для вагонов-сцепов без внутренней связи между полусцепами; в, г — для вагонов-сцепов с жесткой вставкой между полусцепами; 1 — 5 — соответственно динамические продольные усилия в ударно-сцепном приборе (1), тензоупорах (2, 3), тензотягах (4, 5).

пружинного аппарата ударно-сцепного прибора и растут прямо пропорционально скорости соударения. На второй стадии удара, когда пружинный аппарат полностью исчерпает себя, жесткость системы увеличивается и сила удара растет быстрее, но несколько нелинейно, ибо воспринимающий удар пакет хлыстов не является идеально упругим и чем больше скорость соударения, тем больше количество энергии безвозвратно рассеивается. Усилия, действующие на коник со стороны удара (кривая 2), меньше усилий в ударно-сцепном приборе, действующих на величину сил трения, которые возникают при движении коников вдоль продольной оси вагона-сцепы. Опытное значение статического коэффициента трения в этом случае оказалось равным 0,12. Величина инерционных сил, передающихся на груз\* (кривая 5), представляет собой разницу между усилиями в ударно-сцепном приборе и суммарных сил трения между грузом и кониками. Среднее значение суммарного статического коэффициента трения пакета хлыстов по коникам со-

ставило величину порядка  $0,47 \pm 0,07$ . Усилия, действующие на задний коник (кривые 3 и 4), значительно меньше аналогичных усилий, воспринимаемых передним коником.

При испытании вагонов-сцепов с неподвижными кониками и жесткой вставкой (работающей только на сжатие) между полусцепами ударные нагрузки от одного полусцепа к другому передаются как через эту вставку, так и через груз (см. рис. 1, в). В этом случае продольные усилия, возникающие в различных элементах вагона-сцепа, практически растут пропорционально скорости соударения. Это вызвано тем, что

Таблица 1

Зависимость коэффициента восстановления  $K_B$  и продолжительности соударения  $\tau = \tau_1 + \tau_2$  от скорости соударения

Скорость соударения, км/ч	Вагон-сцеп без жесткой вставки между полусцепами				Вагон-сцеп с жесткой вставкой между полусцепами			
	$\tau_1$ , сек	$\tau_2$ , сек	$K_B$	$\tau$ , сек	$\tau_1$ , сек	$\tau_2$ , сек	$K_B$	$\tau$ , сек
1,0	0,255	0,305	0,84	0,56	0,240	0,270	0,88	0,51
1,5	0,220	0,290	0,76	0,51	0,225	0,255	0,81	0,48
2,0	0,200	0,270	0,74	0,47	0,185	0,245	0,76	0,43
2,5	0,185	0,250	0,73	0,435	0,180	0,240	0,75	0,42
3,0	0,170	0,235	0,72	0,405	0,170	0,230	0,74	0,40

основная часть ударной нагрузки от первого полусцепа ко второму передается через жесткую вставку, деформация которой линейна силе удара. На стадии жесткого удара общая жесткость вагона-сцепа со вставкой больше, чем без вставки, и усилия в ударно-сцепном приборе в первом случае (кривая 1, рис. 1, г.) несколько больше, чем во втором (кривая 1, рис. 1, б). Наоборот, силы, действующие на груз, значительно меньше в сцепках с жесткой вставкой, чем без нее. Силы смещения груза по второму конику (кривая 4, рис. 1, г) больше сил смещения груза по первому конику (кривая 5). Это объясняется тем, что ввиду оказавшихся меньших зазоров в тентозяге 4 усилия от ударно-сцепного прибора передаются через жесткую вставку сначала на задний коник, а затем через груз и на передний коник.

В рассмотренных случаях схемы лесовозных вагонов-сцепов являются упругими системами, а поэтому продолжительность первого периода удара  $\tau_1$  всегда меньше продолжительности второго периода удара  $\tau_2$  (табл. 1), т. е. всегда  $\tau_1 > \tau_2$ , значит и коэффициент восстановления  $K_B$  при ударе вагона-сцепа в упор, жесткость которого равна 4200 т/см, меньше 1.

Из табл. 1 следует, что коэффициент восстановления и продолжительность соударения зависят от скорости набегания вагона-сцепа на упор. С увеличением скорости соударения коэффициент восстановления уменьшается, т. е. количество непоглощенной энергии в системе по отношению к энергии, затраченной на сжатие упругих элементов и преодоление сил внутреннего и внешнего трения, уменьшается. Вероятно, при больших скоростях соударения значительно большая часть энергии рассеивается ввиду упругих несовершенств материала и трения в системе. Этим же объясняется тот факт, что для вагонов-сцепов с жесткой вставкой как обладающих большей жесткостью на стадии неупругого удара  $K_B$  при прочих одинаковых условиях больше, чем для вагонов-сцепов без вставки между полусцепами.

В случае открытых заглушек коников, имеющих место в нормальных условиях эксплуатации вагонов-сцепов ЦНИИМЭ-АВЗ, последние могут перемещаться вдоль осей хребтовых балок полусцепов и занимать любое положение в границах допустимых перемещений (рис. 2, 3 и 4). Однако особенно интересны случаи, когда перед соударением коники занимают среднее положение к возможному перемещению, упираются в передние ограничители балок полусцепов (рис. 3) и предельное заднее положение (рис. 4).

При наезде вагона-сцепы, коники которого находятся в среднем положении к возможным перемещениям, на упор (см. рис. 2) коники

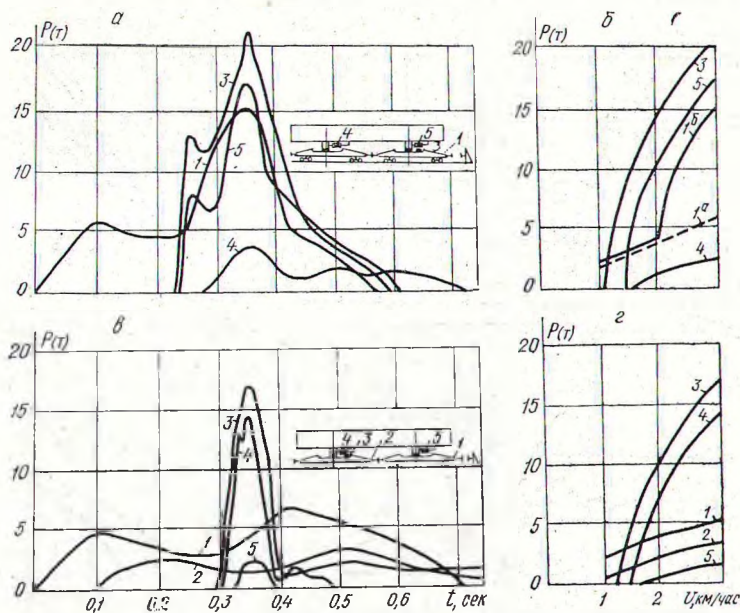


Рис. 2. Изменение продольных усилий в некоторых элементах нагруженного хлыстами вагона-сцепы ЦНИИМЭ-АВЗ, у которого коники перед соударением находятся в среднем положении, в функции времени при  $v=3$  км/ч (а, б) и функции скорости соударения (в, г):

а, б — первым ударяется об ограничитель полусцепы передний коник; в, г — первым ударяется об ограничитель полусцепы задний коник; 1—5 — соответственно динамические продольные оси в 1-м и во 2-м ударно-сцепных приборах (1, 2), тензоупорах (3), тензотягах (4, 5).

с грузом смещаются в сторону движения системы, если сила удара превышает силы трения движения коников по хребтовым балкам полусцепов. При этом наблюдается явление встречного удара, заключающееся в том, что при ударе рассматриваемой системы в упор в ударно-сцепном приборе возникают усилия, необходимые для сдвига груза с кониками, и последний начинает движение в сторону удара, а полусцепы отходят в обратную сторону, в результате чего и происходит соударение коников с ограничителями на рамах полусцепов. Так как масса груза значительно больше массы полусцепов, то происходит повторный удар вагона-сцепы в упор (см. рис. 2 а, в). На практике невозможно точно сцентрировать оба коника в границах возможных перемещений, поэтому о балку ударяется только первый коник (см. рис. 2 а, б) или толь-

ко второй (см. рис. 2 *в, г*). В первом случае усилия в ударно-сцепном приборе сначала растут медленно (кривая 1, *а*, рис. 2, *б*), при повторном ударе — значительно быстрее (кривая 1, *б*), ибо доля массы груза, участвующая при повторном ударе, несравнимо больше, чем при первом соударении.

Благодаря тому что при ударе об ограничитель полусцепла задним коником (см. рис. 2, *в, г*) в работе участвуют и внутренние ударно-сцепные приборы, за счет чего увеличивается общее количество поглощаемой энергии, продольные усилия в отдельных элементах вагона-сцепла при прочих одинаковых условиях существенно меньше, чем при ударе об ограничитель балки полусцепла первым коником.

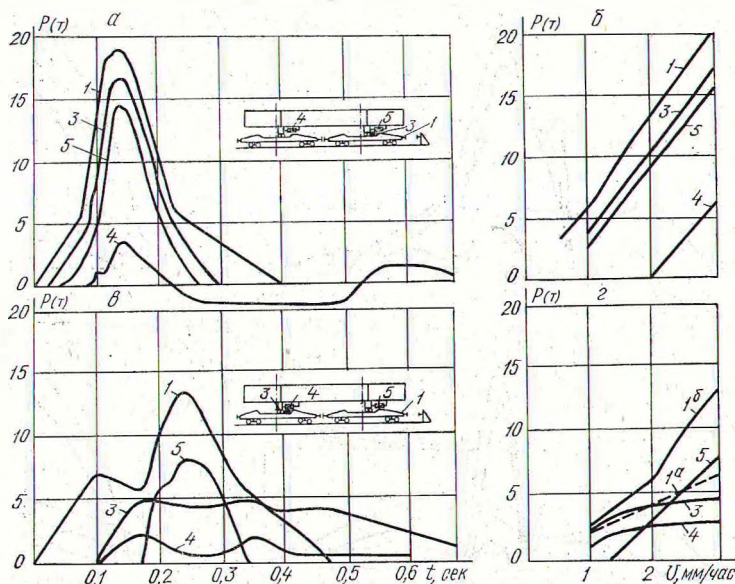


Рис. 3. Изменение продольных усилий в некоторых элементах вагона-сцепла ЦНИИМЭ-АВЗ, у которого перед соударением только передний коник упирается в ограничитель балки первого полусцепла (*а, б*) или только задний коник упирается в ограничитель балки второго полусцепла (*в, г*), в функции времени при  $v=3$  км/ч (*а, в*) и скорости соударения (*б, г*); 1, 3, 4, 5, — соответственно продольные усилия в ударно-сцепном приборе (1), тензопоре (3), тензотягах (4, 5).

В условиях эксплуатации обычно коники находятся в соприкосновении только с одним из ограничителей балок полусцеплов (рис. 3) вследствие неточного центрирования их и возможного смещения груза относительно коников. Когда первый коник упирается в ограничитель балки полусцепла (см. рис. 3, *а*), то ударные нагрузки, воспринимаемые ударно-сцепным прибором, передаются через часть хребтовой балки, упор 3 и груз от первого полусцепла ко второму полусцеплу, а внутренние ударно-сцепные приборы из работы выключены. Здесь, как и в рассмотренном выше случае (см. рис. 1, *а, в*), усилия передаются через груз, поэтому характер изменения продольных нагрузок в обеих схемах примерно тождествен. Несколько большие усилия, характерные для схемы вагона-сцепла с неподвижными кониками, в сравнении со схемой вагона-сцепла, изображенной на рис. 3, *а, б*, объясняются тем, что

во втором случае благодаря возможному перемещению коников с грузом в ударе участвует меньшая масса груза, чем в первом случае.

Если один из коников с грузом упирается в ограничитель балки заднего полусцепца (см. рис. 3, в, г), то при ударе значительная часть энергии безвозвратно поглощается последовательно соединенными ударно-сцепными приборами и силами трения при движении первого полусцепца относительно коника с грузом, а поэтому и ударные продольные усилия достигают сравнительно небольших величин. До тех пор, пока первый коник не ударится в ограничитель балки полусцепца, все продольные нагрузки растут медленно (кривые 1 а, 3 и 4) и передаются на второй коник (кривые 3 и 4). Когда большая часть их воспринимается пер-

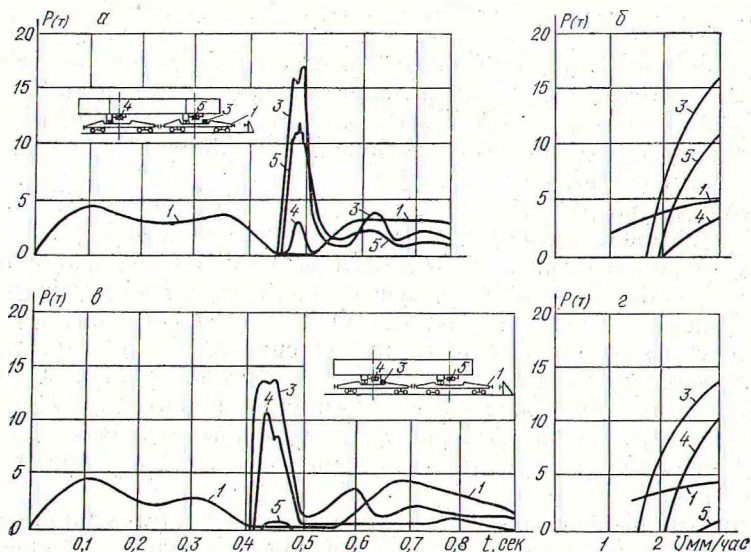


Рис. 4. Характер изменения продольных усилий в некоторых элементах вагона-сцепца ЦНИИМЭ при ударе в упор, когда коники с грузом находятся в крайнем заднем положении в зависимости от времени при  $v=3$  км/ч (а, в) и скорости соударения (б, г):

а, б — передний коник ударяется в ограничитель балки первого полусцепца; в, г — задний коник ударяется в ограничитель балки второго полусцепца; 1, 3, 4, 5 — соответственно продольные усилия в первом ударно-сцепном приборе (1), тензоупоре (3), тензотягах (4, 5).

вым коником (кривая 5), приведенная масса груза возрастает, что и влечет более интенсивный рост усилий в ударно-сцепном приборе 1 (кривая 1 б, рис. 3, г) и в тензотяге 5 (кривая 5).

В практике работы вагонов-сцепцов ЦНИИМЭ нередки случаи, когда подвижные коники с грузом оказываются в крайнем заднем положении по отношению к направлению предстоящего удара (рис. 4).

В этом случае в ударе участвует незначительная часть массы груза вследствие незначительных сил трения между кониками и полусцепцами, а поэтому усилия в ударно-сцепных приборах по величине сравнительно малы и растут они медленнее, чем скорость соударения (кривая 1, рис. 4 б, г), так как с увеличением скорости удара величина приведенной массы груза уменьшается. При силе удара, превышающей силы трения коников по опорным плитам полусцепцов, коники с грузом начинают двигаться. За время движения в ударно-сцепном приборе уси-

лия, достигнув своего максимального значения, уменьшаются, что свидетельствует об откатке системы в обратном направлении. При полной нагрузке ударно-сцепного прибора (кривая 1, рис. 4 а, в) в результате встречного движения происходит соударение одного из коников с ограничителем балки полусцепов, чем и обусловлено появление импульсных нагрузок, действующих на конструкцию подвижного состава и груз (кривые 3, 4, 5). Если сначала ударяется передний коник, то возникающие при этом усилия в тензоупоре и тензотягах несколько больше, чем при ударе заднего коника об ограничитель балки полусцепа, ибо жесткость системы в первом случае больше, чем во втором.

### В ы в о д ы

1. Принципиальная схема лесовозного подвижного состава при движении с заданной скоростью определяет величину и характер изменения продольных усилий в отдельных элементах сцепа. Величина скорости движения, несомненно, в свою очередь обуславливает также влияние на величину продольных усилий.

2. Вагоны-сцепы ЦНИИМЭ с точки зрения вопросов продольной динамики представляют достаточно сложную систему, в которой груз может перемещаться как относительно коников, так и вместе с ними. Наличие подвижных коников существенно влияет на величину и характер изменения продольных усилий. Особенно опасны встречные удары коников с грузом об ограничители полусцепов. С точки зрения некоторого улучшения динамических качеств вагонов-сцепов ЦНИИМЭ интересно изучить возможность применения самоцентрирующих коников, т. е. подпружиненных. Прочность основных узлов вагона-сцепы ЦНИИМЭ вполне достаточна, ибо при ударах интенсивностью 20—21 т неисправностей не было.

3. Максимальные продольные усилия в головном ударно-сцепном приборе возникают в сцепах с дышлами. Они несколько меньше в сцепах без дышел и вагонах-сцепы ЦНИИМЭ, когда передний коник перед соударением упирается в ограничитель балки первого полусцепа.

4. Наибольшие инерционные силы, действующие на груз, возникают в вагонах-сцепы ЦНИИМЭ при расположении коников перед соударением в центральном положении, затем в вагонах-сцепы, у которых продольные нагрузки от одного полусцепа к другому передаются только через груз (сцепы без дышел).

Наименьшее воздействие от ударных нагрузок испытывает груз на сцепы с неподвижными кониками и жесткой вставкой между полусцепы (сцепы с дышлами).

5. В случае закрепления пакета хлыстов относительно продольной рамы вагона-сцепы можно полагать, что масса его и масса самих полусцепов составляют единое целое и полностью участвуют в создании ударных нагрузок, последние достигают значительных величин и почти линейно зависят от скорости соударения. Если же груз имеет возможность перемещаться вдоль хребтовых балок полусцепов, что имеет место в отдельных случаях в вагонах-сцепы ЦНИИМЭ, то он незначительно влияет на величину продольных усилий в ударно-сцепном приборе, так как только часть массы груза принимает участие в ударе.

6. При ударе интенсивностью около 6 т, что соответствует скорости при маневровых работах порядка 2,5—3 км/ч (ПТЭ допускают скорость соударения при маневрах до 3 км/ч), инерционные силы, дей-

ствующие на груз во всех рассмотренных схемах вагона-сцепы, превышают силы трения его по коникам, а поэтому возможен сдвиг пакета хлыстов по коникам.

7. В отношении динамических качеств лучшими в сравнении с существующими схемами подвижного состава являются вагоны-сцепы с неподвижными кониками и жесткой связью (дышлом) между полусцепами. Для внедрения их в производство необходимо дополнительно изучить вопросы вписывания подобного состава в кривые малого радиуса.

#### Литература

- [1] В. И. Мельников. Основные вопросы динамики лесовозного подвижного состава. Йошкар-Ола, 1966. [2] Л. С. Матвеевко. Усилия в подвижном составе узкоколейных железных дорог при маневровых соударениях. Тр. ЦНИИМЭ, 64, 1965. [3] Н. А. Гайдар. К определению величины ударных нагрузок при соударениях лесовозных вагонов. Сб. работ аспирантов, вып. I. Львов, 1962. [4] Л. Н. Никольский. Исследование напряженного состояния вагона при ударных нагружениях. «Техника железных дорог», 1946, № 8—9. [5] С. В. Вершинский. Продольная динамика в грузовых поездах. Тр. ВНИИЖТ, 1943, 1957. [6] П. Н. Бутин. Испытание лесовозных вагонов на ударные нагрузки. Сб. НТО по обмену производственным и научным опытом. М., 1967. [7] П. Н. Бутин. О методике испытаний лесовозных вагонов-сцепов на ударные нагрузки. Сб. тр. Московск. политехн. ин-та, вып. 2, № 58, 1968.