

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН С РАЗНЫМ УРОВНЕМ НЕДОЛИВА

Розглянуто рух поїзда, складеного з вагонів-цистерн із різним рівнем недоливу. Аналіз отриманих результатів розрахунків показав, що, якщо в складі поїзда є вагони-цистерни зі значним рівнем недоливу, допустима швидкість руху поїзда істотно знижується.

Рассмотрено движение поезда, составленного из вагонов-цистерн с различным уровнем недолива. Анализ полученных результатов расчетов показал, что, если в составе поезда есть вагоны-цистерны со значительным уровнем недолива, допустимая скорость движения поезда существенно снижается.

Motion of a train composed of tank cars with various tank incomplete filling level is considered. The analysis of results obtained has shown that if there are tank cars with high incomplete filling in the train, the permissible speed of motion is reduced essentially.

Опыт эксплуатации грузового подвижного состава железных дорог показывает, что вероятность аварийных ситуаций существенно повышается, если в составе поезда наряду с загруженными вагонами находятся порожние и частично загруженные вагоны. Поэтому важно определить те факторы, которые являются критическими для поездов, в состав которых включены неоднородные по массе и типам вагоны. Для оценки безопасности движения поезда с вагонами различной загрузки необходимо рассматривать как минимум три соединенных между собой вагона.

В статье с использованием методов математического моделирования рассмотрено движение по прямолинейному участку пути с постоянной скоростью трехвагонного сцепа грузовых вагонов-цистерн. Расчетная оценка динамических показателей вагонов сцепа проводилась путем решения нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих динамическую модель его пространственных колебаний. Движение поезда моделировалось с учётом действия внешних возмущений, связанных с геометрическим несовершенством рельсовой колеи (просадки, стыки, неравномерный износ). Возмущения, имеющие случайный характер, подавались под колёса вагона с транспортным запаздыванием, которое зависит от расстояния между колёсными парами и скорости движения поезда. Для достоверной оценки динамических качеств вагона в соответствии с требованиями Норм [1] определялись величины, являющиеся основными показателями его качества хода: горизонтальные и вертикальные ускорения кузова ($\ddot{u}_Г, \ddot{u}_В$); рамные силы в долях нагрузки на ось ($k_{ДГ}$); коэффициент верти-

кальной динамики ($k_{ДВ}$); коэффициент устойчивости колесной пары от схода с рельсов ($k_{УС}$). Предельные значения показателей ходовых динамических качеств грузовых вагонов для нагруженного (числитель) и порожнего (знаменатель) состояния приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

**Предельные значения динамических показателей
грузовых вагонов**

$\ddot{u}_Г, g$	$\ddot{u}_В, g$	$k_{ДГ}$	$k_{ДВ}$	$k_{УС}$
0,45/0,55	0,65/0,75	0,38/0,40	0,85/0,90	1,4

Рассмотрено движение сцепа вагонов-цистерн, содержащих в своем составе вагоны с различным уровнем загрузки котла цистерны бензином, в том числе порожние и полностью загруженные.

Анализ полученных данных показал, что значения динамических показателей отдельных единиц подвижного состава, движущихся в одном сцепе равномерной загрузки (либо все вагоны груженные, либо все порожние), близки и практически не зависят от месторасположения вагона в составе поезда. При этом динамика сцепа, состоящего из порожних вагонов-цистерн, хуже, чем динамика полностью нагруженного сцепа. Так, движение сцепа порожних вагонов-цистерн с высокими скоростями оказывается невозможным. При этом от скорости к скорости снижается значение коэффициента запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов, и при скорости движения 80 км/ч его значение оказывается ниже допустимого (см. рис. 1). Увеличение скорости движения до 90 км/ч приводит к нарушению безопасного

движения и по значениям $k_{дг}$ (см. рис. 2), а при скорости движения 125 км/ч один из вагонов сцепа сходит с рельсов.

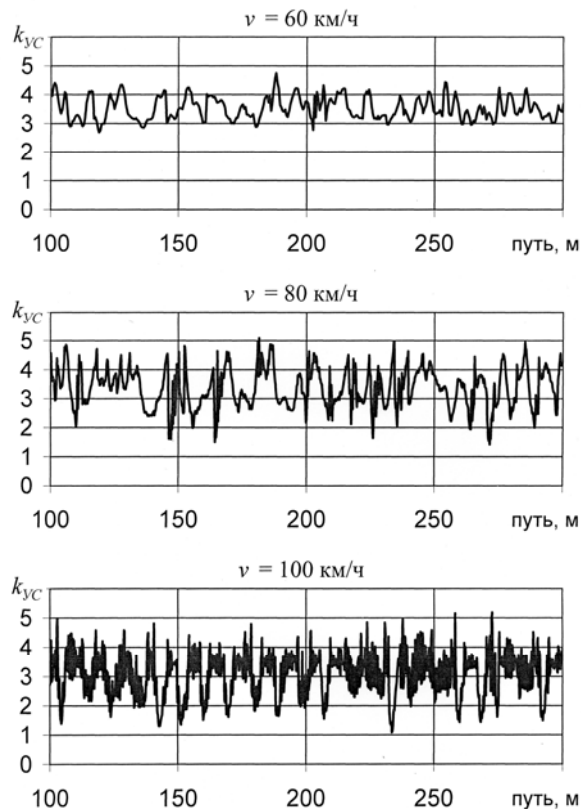


Рис. 1. Коэффициент запаса устойчивости от схода для сцепа порожних вагонов

Для груженого сцепа динамические показатели его движения находятся на границе безопасных значений при скорости движения до 120 км/ч. Для сравнения с динамикой порожнего сцепа (см. рис. 1, 2) на рис. 3 приведены осциллограммы изменения в процессе движения некоторых динамических показателей для сцепа полностью загруженных вагонов-цистерн при его движении со скоростью 100 км/ч. Как видно из приведенных осциллограмм, движение со скоростью 100 км/ч для порожнего сцепа небезопасно, тогда как для груженого сцепа такая скорость является допустимой.

В статье рассмотрено три уровня недолива жидкого груза в котле цистерны: 0,22 м; 0,5 м и 1 м. При этом при формировании сцепа из вагонов-цистерн уровень заполнения каждого из вагонов-цистерн в сцепе был произвольным.

Предварительный анализ полученных результатов показал, что уровень заполнения цистерны жидким грузом является существенным фактором поведения соответствующего вагона в сцепе. Для сцепов, сформированных из вагонов разной загрузки, показатели качества хода отдельного вагона определяются степенью

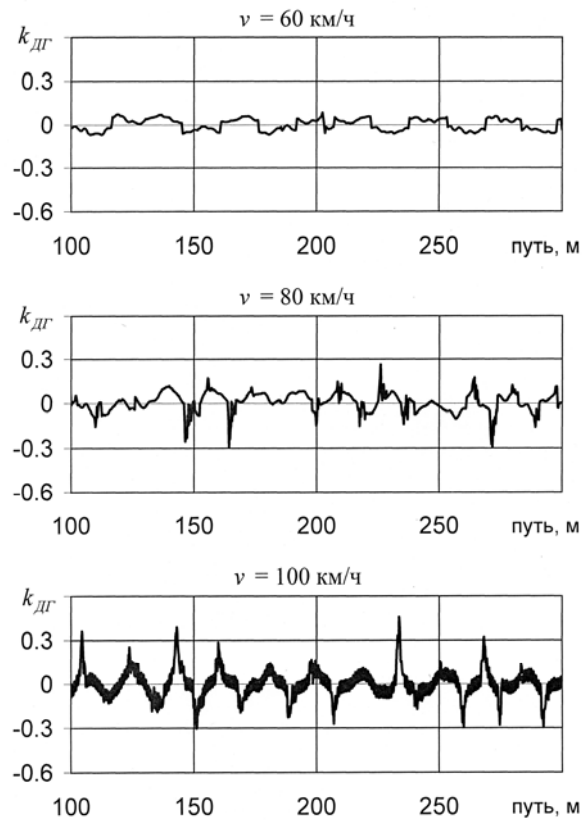


Рис. 2. Рамная сила в долях нагрузки на ось сцепа порожних вагонов

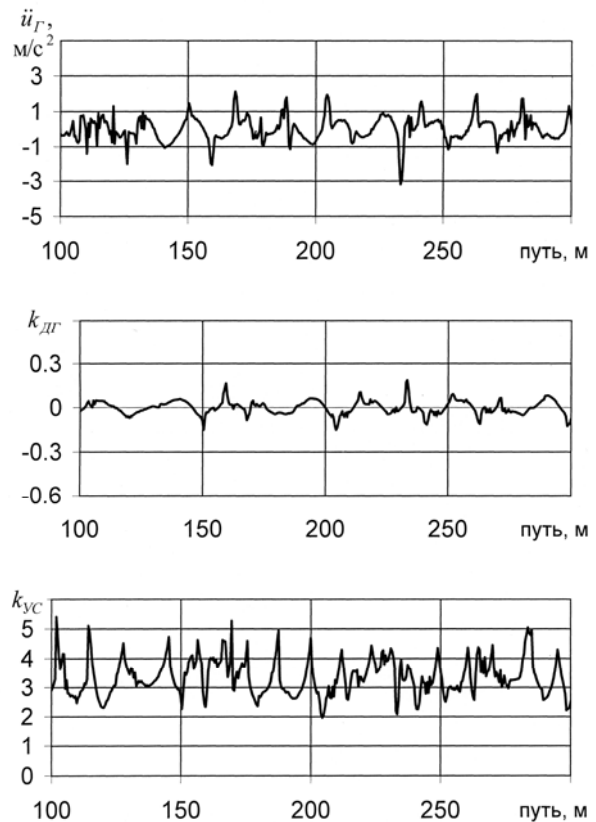


Рис. 3. Динамические показатели сцепа груженых вагонов

загруженности, а в целом динамические показатели сцепа определяются наличием в нем вагонов-цистерн с большим недоливом независимо от их месторасположения в сцепе. Для более детальной оценки рассмотрены два варианта загрузки сцепов вагонов-цистерн жидким грузом. Первый вариант соответствует случаю, когда недолив жидкого груза в первом по ходу движения вагоне составляет 0,22 м, во втором вагоне – 0,5 м и в третьем вагоне – 1 м. Во втором варианте вагон-цистерна с максимальным недоливом (1 м) расположен между двумя вагонами-цистернами с недоливом 0,22 м. Для оценки динамических характеристик вагонов-цистерн, движущихся в составе сцепов описанных конфигураций, построены графики изменения ряда параметров в зависимости от скорости движения и уровня заполнения вагона-цистерны жидким грузом. В качестве иллюстрации на рис. 4 для сцепа первого варианта загрузки приведены зависимости изменения от скорости движения максимальных значений $\ddot{u}_Г$, $k_{ДГ}$, $k_{ДВ}$ и $k_{УС}$ для всех трех вагонов рассмотренного сцепа при его движении по прямолинейному участку пути. Цифры 1, 2 и 3 обозначают номер вагона в сцепе, что в свою очередь является показателем уровня недолива 0,22 м; 0,5 м и 1 м соответственно. Из приведенных графиков видно, что динамические характеристики вагона, имеющего максимальный уровень недолива (1 м), значительно хуже, чем динамические характеристики первого вагона сцепа, в котором уровень недолива составляет 0,22 м, и второго вагона с уровнем недолива 0,5 м. При этом от скорости к скорости снижается значение коэффициента запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов, и уже при скорости движения 70 км/час его значение оказывается ниже допустимого. Такая же скорость движения приводит к нарушению условий безопасности и по поперечным горизонтальным ускорениям кузова и по значениям рамных сил. Дальнейшее повышение скорости движения приводит к сходу вагона с рельсов. В качестве иллюстрации на рис. 5 приведены осциллограммы изменения в процессе движения горизонтальных ускорений кузовов вагонов-цистерн для первого, второго и третьего вагонов рассматриваемого сцепа соответственно при его движении со скоростью 70 км/час. Как видно из этих результатов, интенсивность колебаний в третьем вагоне сцепа значительно выше, чем в первом вагоне, где уровень недолива составляет всего 0,22 м.

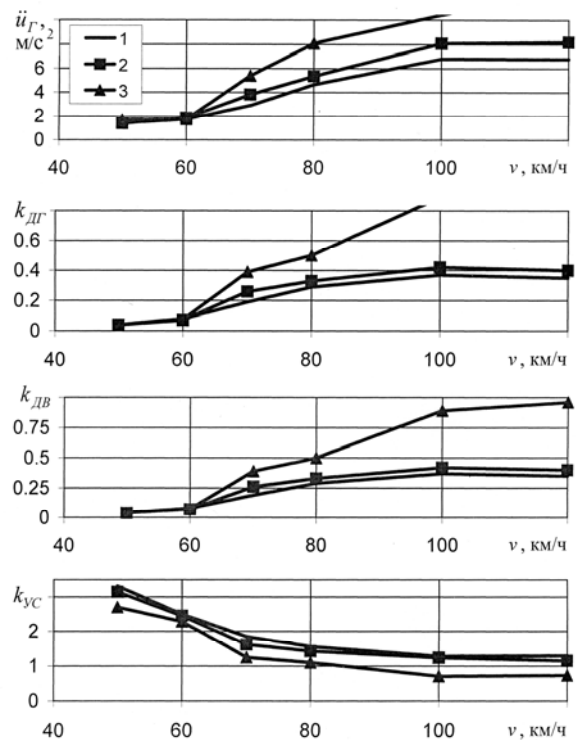


Рис. 4. Динамические показатели сцепа вагонов-цистерн с разным уровнем недолива

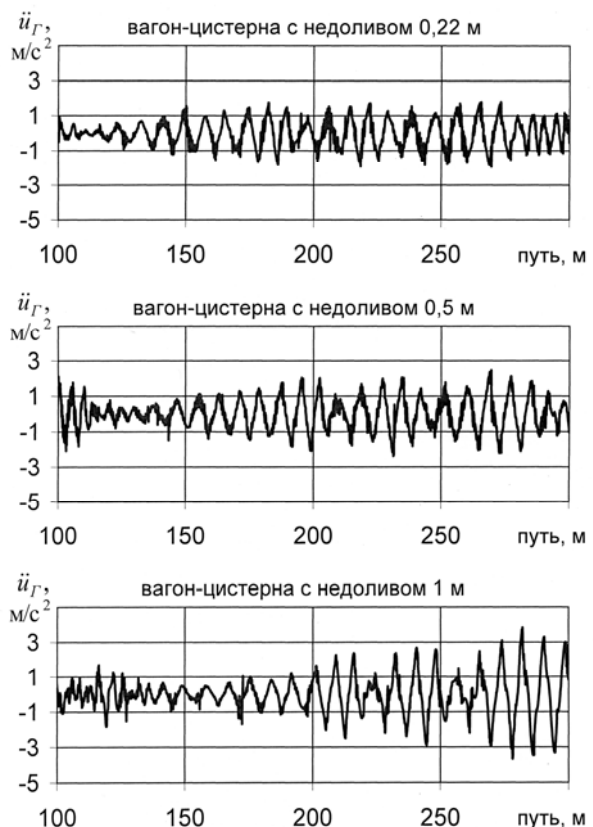


Рис. 5. Осциллограммы горизонтальных ускорений кузовов вагонов-цистерн с разным уровнем недолива при скорости 70 км/ч

Далее рассматривалось движение сцепа вагонов-цистерн по второму варианту загрузки. Результаты, характеризующие динамические качества вагонов-цистерн, установленных в сцепе, приведены на рис. 6. Обозначения здесь такие же, как и на рис. 4. Как видно из рисунков, кривые, соответствующие движению вагона-цистерны с недоливом 1 м (линия 2), лежат обособленно от аналогичных кривых, характеризующих динамику вагонов сцепа с недоливом 0,22 м. Приведенные графики показывают, что при движении сцепа вагонов-цистерн определяющими с точки зрения безопасности движения являются вагоны-цистерны с максимальным недоливом жидкого груза. Так, для первого и третьего вагонов сцепа (недолив 0,22 м) результаты оценки динамических характеристик оказываются достаточно близкими, и допускаемая скорость их движения могла бы составлять 90 км/час. При этом динамические показатели вагона-цистерны, находящегося в конце сцепа, чуть лучше показателей первого по ходу движения вагона сцепа с таким же недоливом. Для среднего вагона-цистерны этого же сцепа, имеющего уровень недолива жидкого груза 1 м, допустимая скорость движения не может превышать 65 км/час. В подтверждение вышесказанного на рис. 7...9 приведены осциллограммы изменения в процессе движения некоторых динамических показателей для первого, второго и третьего вагонов рассматриваемого сцепа соответственно при его движении со скоростью 70 км/час. Как видно из этих результатов, динамические показатели качества хода второго вагона сцепа превышают соответствующие нормативные значения по всем приведенным характеристикам.

Таким образом, безопасность движения сцепа вагонов-цистерн по прямолинейному участку пути определяется по большей части уровнем заполнения цистерны жидким грузом. Для сцепов, сформированных из вагонов разной загрузки, показатели качества хода отдельного вагона определяются степенью его загрузки, а в целом динамические показатели сцепа определяются наличием в нем вагонов-цистерн с большим недоливом независимо от их месторасположения в сцепе.

С использованием полученных расчетных данных можно оценить допускаемые скорости движения для поездов, составленных из вагонов-цистерн, в которых имеются как цистерны с разным уровнем недолива, так и полностью загруженные или порожние вагоны-цистерны.

С целью обобщения полученных результатов на рис. 10 для всех рассмотренных вариантов загрузки вагонов-цистерн в сцепах показаны допускаемые по критериям безопасности скорости движения поезда.

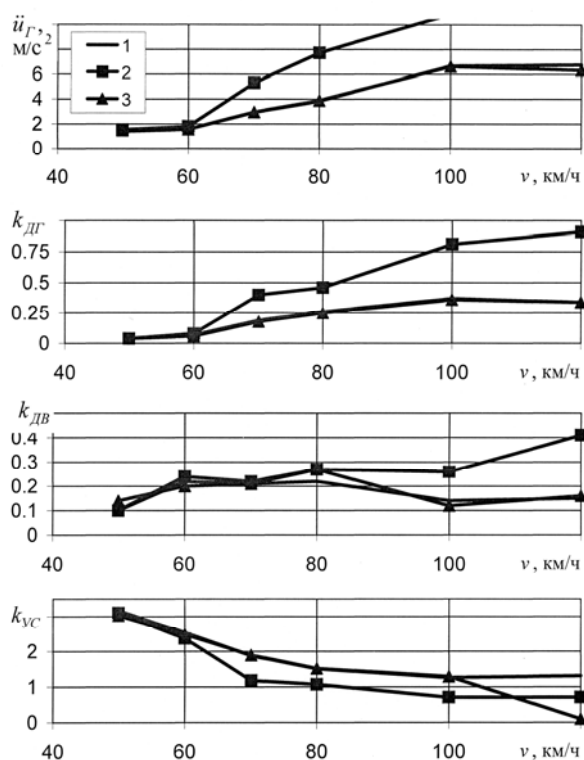


Рис. 6. Динамические показатели сцепа вагонов-цистерн с разным уровнем недолива

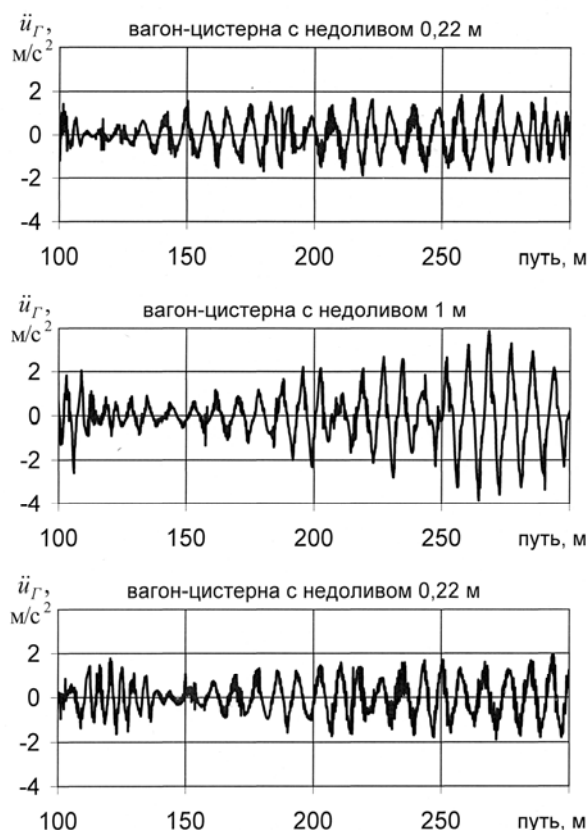


Рис. 7. Осциллограммы горизонтальных ускорений кузовов вагонов-цистерн с разным уровнем недолива при скорости 70 км/ч

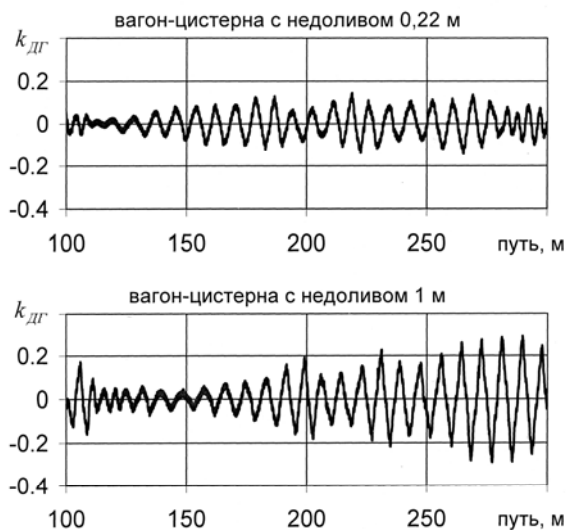


Рис. 8. Осциллограммы рамной силы в долях нагрузки на ось для вагонов-цистерн с разным уровнем недолива при скорости 70 км/ч

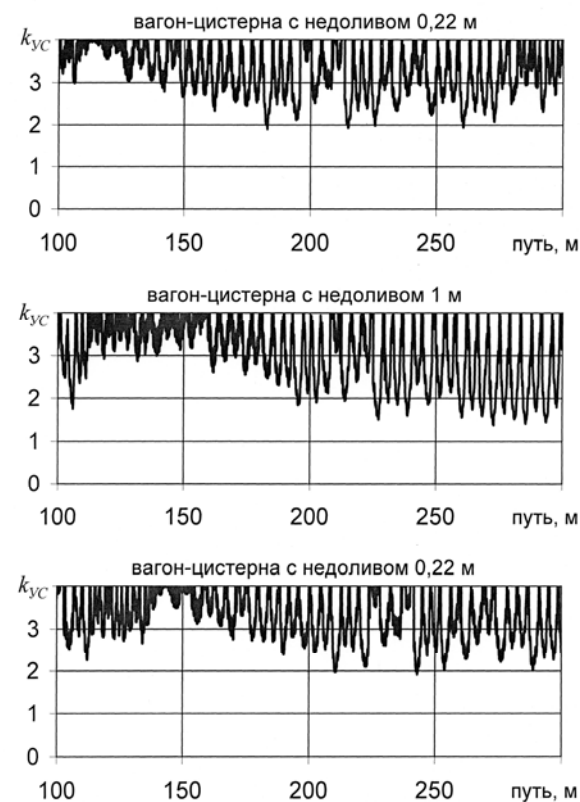


Рис. 9. Осциллограммы коэффициентов запаса устойчивости от схода при скорости 70 км/ч

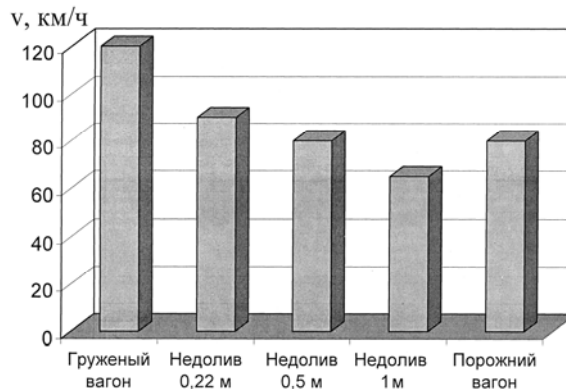


Рис. 10. Допускаемые скорости движения сцепа вагонов-цистерн при наличии вагонов разной загрузки

Проведенные исследования динамических качеств вагонов-цистерн, движущихся в сцепе, показали, что при движении поезда, состоящего из полностью груженных вагонов, допустимая скорость на прямолинейных участках пути может достигать 120 км/час. В случае, когда в поезде имеются вагоны с недоливом 0,22 м, допустимая скорость движения сцепа вагонов-цистерн с уровнем недолива 0,5 м приводит к дальнейшему снижению допустимой скорости движения. При наличии в поезде вагонов-цистерн с недоливом 1 м допустимая скорость движения не может превышать 65 км/час. Для поезда, в котором имеются как порожние, так и полностью заполненные вагоны-цистерны, скорость движения по прямолинейным участкам пути не должна превышать 80 км/час.

Таким образом, наличие в поезде вагонов-цистерн разной загрузки приводит к значительному снижению допустимых скоростей движения. При этом вагоны-цистерны с большим уровнем недолива (порядка 1 м) оказывают на изменение допустимой скорости движения даже большее влияние, чем наличие в составе поезда порожних вагонов-цистерн. Это связано с интенсивными колебаниями жидкости, имеющей большую площадь свободной поверхности, в котле цистерны. Поэтому при определении допустимых скоростей движения поездов, составленных из вагонов-цистерн с различным уровнем заполнения котлов цистерны жидким грузом, необходимо принимать во внимание колебания жидкости и оценивать их влияние на безопасность движения поезда в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Поступила в редколлегию 17.07.2008.