

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ДЛИННОСОСТАВНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Наведено результати теоретичних досліджень поздовжніх зусиль, які виникають у довгоскладових вантажних потягах при гальмуванні. Результати отримані за допомогою комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: поздовжні зусилля, математичне моделювання, гальмування, вантажні поїзди

Приведены результаты теоретических исследований продольной нагруженности длинносоставных грузовых поездов при торможении, полученные с помощью компьютерного моделирования.

Ключевые слова: продольные усилия, математическое моделирование, торможение, грузовые поезда

The description of the developed computer system possibilities and its use to solve problems of motion safety and stability is given.

Keywords: longitudinal forces, mathematical modeling, braking, freight trains

Введение

Как известно, вождение наливных поездов, особенно увеличенной длины, как правило, всегда связано с определенными трудностями. Несмотря на разнообразие и большое количество вопросов, рассмотренных и решенных в области переходных режимов движения наливных поездов, проблема динамики поезда, в частности его продольных колебаний, по-прежнему, остается актуальной, особенно при наиболее опасном режиме вождения – торможении.

Постановка задачи

Оценить продольную нагруженность длинносоставных наливных поездов при торможении с помощью математического моделирования. Сравнить наибольшие продольные силы, возникающие в соединенных поездах, сформированных из вагонов-цистерн или полувагонов. Рассмотреть различные способы управления тормозами головного и вспомогательного локомотивов для различных схем формирования поездов.

Научные результаты

Оценивая продольную нагруженность поездов при торможении, предполагалось, что вагоны оборудованы воздухораспределителями с условным № 483, включенными на средний или грузовой режим работы и композиционными тормозными колодками, а межвагонные соединения - упруго-фрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ [1]. Исследование тормо-

жений растянутых поездов позволило получить наибольшие ударные усилия, а сжатых – оценить усилия квазистатического характера.

Численные значения параметров, характеризующих работу тормозных систем и межвагонных соединений принимались по результатам многолетних, многочисленных опытов, проведенных с поездами в реальных условиях опытного кольца на станции Щербинка Московской ж.д. учеными ДИИТа, ВНИИЖТа в содружестве, в ряде случаев, с другими организациями.

При моделировании переходных режимов движения поездов, в состав которых входят цистерны с неполным наливом, жидкость представлялась одной подвижной относительно бака цистерны массой и массой неподвижной относительно котла цистерны части жидкости [2]. Предполагалось, что подвижная масса на высоте выше верхней «кромки» неподвижной массы «сочленена» с баком посредством «пружины». Определение масс и жесткостей «пружин» определялось по методике, изложенной в работе [4]. В данных исследованиях учитывалось перемещение подвижной части жидкости только в продольном направлении. Оценки наибольших ожидаемых продольных сил в поезде получены по наибольшим расчетным значениям так, как указано в работе [3].

Определим сначала длину и массу поезда, состоящего из одинаковых по типу и массе вагонов-цистерн, для которых уровень наибольших сил не будет превышать допустимый по условиям прочности и устойчивости вагонов от выжимания (2,5 МН).

Для решения данной задачи рассматривались поезда, составленные из 4-осных вагонов-цистерн массой 89 тонн и 2-х локомотивов ВЛ-80т, расположенных в голове поезда. При математическом моделировании предполагалось, что в цистерны залита жидкость плотностью $\rho = 0,81 \text{ т/м}^3$ с уровнем свободной поверхности жидкости, удаленной на 0,35 м от верхней внутренней поверхности котла цистерны. Рассматривалось экстренное торможение со

скорости 20 км/ч на горизонтальном участке пути.

На рис. 1 приведены наибольшие значения растягивающих (+) и сжимающих (-) продольных усилий для поездов различной длины.

Из графиков, изображенных на рис. 1, следует, что в поезде массой 10000 т, состоящего из 109 вагонов-цистерн при экстренном торможении усилия превышают допустимые значения.

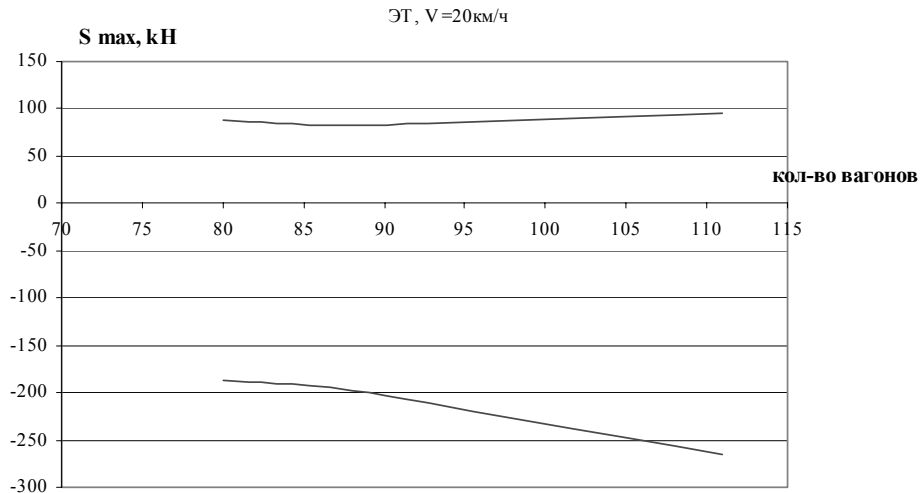


Рис. 1. Зависимость наибольших в поезде продольных сил от количества в нем вагонов-цистерн

Как известно, одним из способов снижения продольной нагруженности в поездах увеличенной длины является постановка вспомогательного локомотива в середину или в хвостовую часть состава.

Для решения данной задачи рассматривались соединенные поезда длиной 1390 метров, составленные из 110 четырехосных вагонов-цистерн массой 90 тонн и 2-х локомотивов ВЛ-80т. При математическом моделировании предполагалось, что в цистерны залита карбамидо-аммиачная смесь плотностью $\rho = 1,31 \text{ т/м}^3$ с уровнем свободной поверхности жидкости, удаленной на 1,35 м от верхней внутренней поверхности котла цистерны.

Рассматривались две схемы формирования соединенного поезда. В первой схеме предполагалось, что вспомогательный локомотив расположен в середине состава, во второй — на расстоянии одной трети от хвостовой части поезда. При моделировании торможений на площадке предполагалось, что вспомогательный локомотив управляется либо синхронно с головным локомотивом либо по волне разрядки тормозной магистрали, когда головной локомотив осуществляет требуемые действия, а вспомогательный — с приходом волны снижения

давления в тормозной магистрали производит экстренное или полное служебное торможение. Изучая продольную нагруженность соединенных поездов, рассмотрено два способа соединения тормозной магистрали: сквозная и разобщенная (автономные). Для случая сквозной тормозной магистрали рассмотрены также варианты, когда торможение осуществлялось только головным или только вспомогательным (вторым) локомотивом.

Для оценки наибольших ударных продольных сил моделировались торможения растянутых поездов, при этом полагалось что зазоры в межвагонных соединениях равнялись 65 мм.

Численные эксперименты проводились для различных видов торможений на горизонтальном участке пути — экстренного (ЭТ) и полного служебного (ПСТ) и различных режимов работы воздухораспределителей — среднего или груженого. Начальные скорости движения принимались равными 20 и 80 км/ч.

Для сравнения уровня продольных усилий рассматривались аналогичные режимы торможения поездов, сформированных из полувагонов и двух локомотивов. Так длина полувагона (14 метров) больше длины 4-осной цистерны (12 метров), то их количество было уменьшено

до 94 экипажей, но чтобы массы сравниваемых поездов были одинаковы, масса полувагона принималась 100 тонн.

При моделировании экстренных торможений со скорости 80 км/ч оценивалась также величина тормозного пути.

В качестве примера, на рис. 2 приведены графики распределения наибольших продольных сил по длине поезда, сформированных из 110 вагонов-цистерн при экстренном торможении со скорости 20 км/ч в случае расположения второго локомотива в середине состава.

Результаты, приведенные на рис. 2, соответствуют грузеному режиму работы воздухораспределителей и управлению тормозными средствами по волне разрядки тормозной магистрали. Линиями 1 представлены зависимости, полученные для сквозной тормозной магистрали, а линиями 2 – для автономной тормозной магистрали. Сплошные линии соответствуют значениям продольных сил, полученных при экстренном торможении предварительно растянутых, а точечные линии – предварительно сжатых поездов.

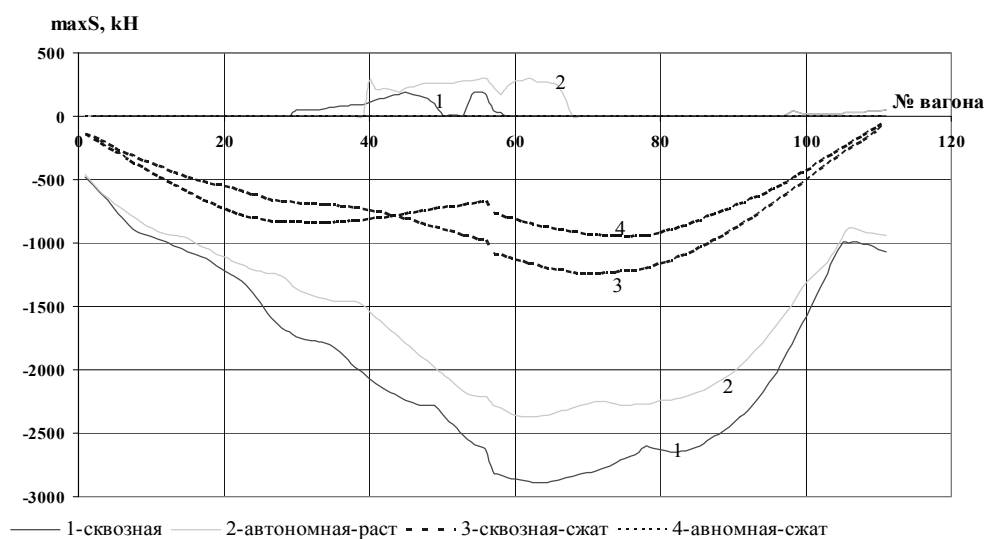


Рис. 2. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда, составленного из цистерн при экстренном торможении головным локомотивом и размещенным в середине состава вторым локомотивом по волне разрядки тормозной магистрали предварительно растянутых (сплошная линия) и сжатых (точечная линия) составов

Как следует из приведенного рисунка, разобщение тормозных магистралей первого и второго составов при рассмотренном способе управления тормозами, снижает уровень наибольших ударных продольных сил на 13 %, а наибольших сил квазистатического характера – на 24 %. Квазистатическими продольными силами будем считать силы, действующие в междвагонных соединениях более 2 секунд [5]. При включении воздухораспределителей на грузеный режим работы значения наибольших продольных усилий для сквозной тормозной магистрали превышает допустимый.

При торможении предварительно сжатых поездов разобщение тормозных магистралей позволяет получить усилия в междвагонных соединениях, не превышающие опасного значения – 1000 кН с позиции выжимания загруженного вагона.

На рис. 3 изображены графики распределения максимальных продольных сил по длине поезда, составленных из 110 вагонов-цистерн при экстренном торможении только вторым локомотивом, расположенным в середине состава предварительно растянутого (сплошная линия) и сжатого (пунктирная линия) поездов. Полученные результаты соответствуют движению поездов со сквозной тормозной магистралью и воздухораспределителями, включенными на грузеный режим работы.

Из рис. 3 следует, что при экстренном торможении только вторым локомотивом, расположенного в середине состава, уровень наибольших ударных и квазистатических продольных сил не превышает допустимый. Следует отметить, что при торможении предварительно сжатых поездов уровень растягивающих усилий в первой половине состава значительно

превышает аналогичные величины, полученные в предварительно растянутых поездах. Это связано с особенностями торможения наливных

поездов, в которых подвижная часть жидкости способствует более резкому проявлению зазоров.

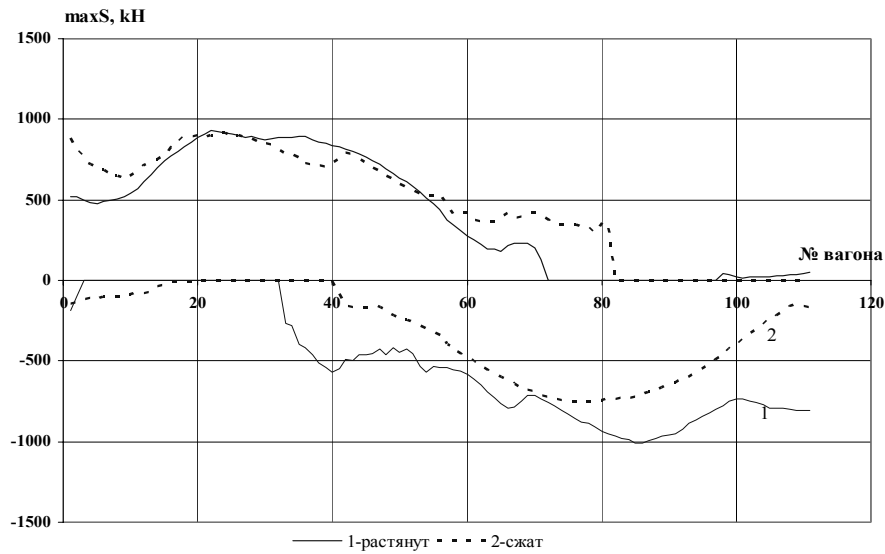


Рис. 3. Распределение максимальных значений продольных сил по длине предварительно растянутого и сжатого поездов, сформированных из цистерн при экстренном торможении со скорости 20 км/ч только вторым локомотивом (сквозная тормозная магистраль)

Зависимости максимальных продольных усилий от номера экипажа при экстренном торможении со скорости 20 км/ч предварительно сжатого поезда, состоящего из 110 вагонов-цистерн и расположении вспомогательного локомотива в середине состава при различных способах управления тормозными средствами приведены на рис. 4. Кривая 1 соответствует варианту, когда головной локомотив осуществляет экстренное торможение, а вспомога-

тельный производит аналогичные действия только с приходом волны снижения давления в тормозной магистрали; кривая 2 – синхронному управлению тормозами головным и вспомогательным локомотивами; кривая 3 – торможению только вторым локомотивом. При моделировании торможений предполагалось, что воздухораспределители включены на грузе при сквозной тормозной магистрали.

ЭТ сжатого, сквозная магистраль

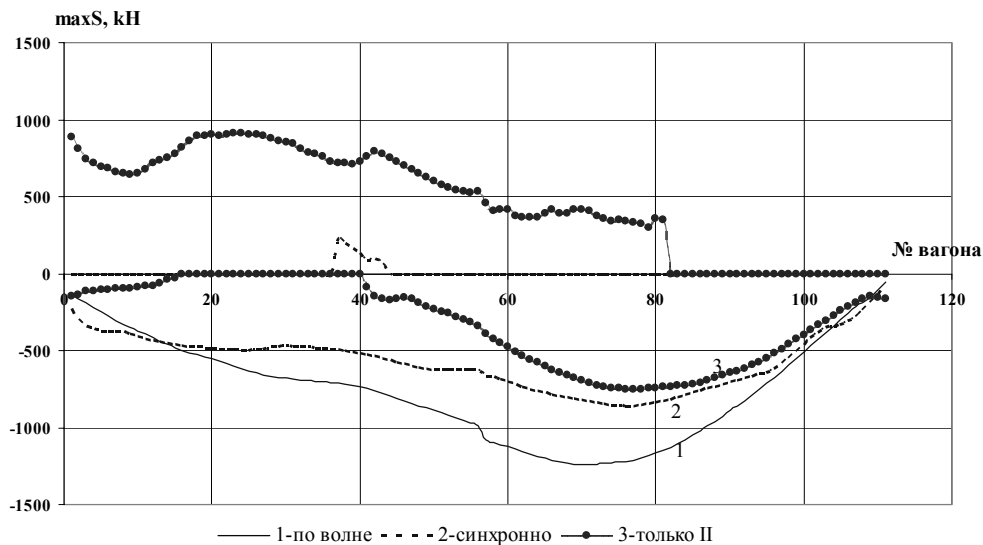


Рис. 4. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при экстренном торможении предварительно сжатых поездов, сформированных из цистерн при различных способах управления тормозами

На рис. 5 приведены зависимости наибольших значений продольных сил, полученных при торможении предварительно растянутых поездов, составленных из вагонов-цистерн, от

места расположения вспомогательного локомотива для различных способов управления тормозами.

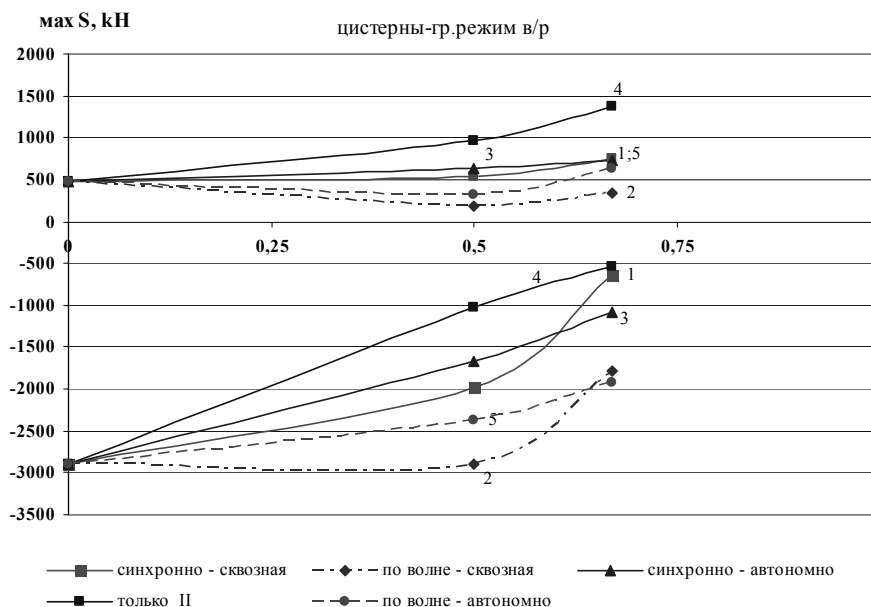


Рис. 5. Зависимость наибольших продольных усилий в зависимости от способа управления тормозами и типа тормозной магистрали

На рис. 5 линии 1 и 3 – соответствуют синхронному способу управления тормозами, линии 2 и 5 – управлению тормозами по волне разрядки тормозной магистрали, линии 3 – торможению только вторым (вспомогательным) локомотивом. Линии 3 и 5 – соответствуют разобщенной (автономной) тормозной магистрали, остальные линии – сквозной. По горизонтальной оси условно показано место расположения локомотивов:

- «0» – головной локомотив (торможение только головным локомотивом);
- «0,5» – вспомогательный локомотив расположен в середине состава;
- «0,67» – вспомогательный локомотив расположен на расстоянии 1/3 от хвостовой части поезда.

Как следует из приведенных зависимостей, наименьший уровень продольных сжимающих усилий получен при торможении только из вспомогательного локомотива, но при этом возникают наибольшие растягивающие усилия. Размещения вспомогательного локомотива на расстоянии 1/3 от хвостовой части поезда уменьшает уровень продольных усилий ударного характера.

На рис. 6 изображены распределения максимальных значений продольных сил по длине

поезда при экстренном торможении со скорости 20 км/ч. Результаты, приведенные на данном рисунке, соответствуют синхронному способу управления тормозами для случая сквозной тормозной магистрали и грузеному режиму работы воздухораспределителей. Линии 1 соответствуют варианту формирования поезда только из полувагонов, линии 2 – только из цистерн. Сплошные линии соответствуют торможениям предварительно растянутых поездов, а пунктирные – сжатых.

Из графиков, изображенных на рис. 6, следует, что в поезде, состоящего из полувагонов, при экстренном торможении предварительно растянутого поезда значения наибольших продольных сжимающих усилий незначительно превышают аналогичные величины в поезде такой же длины, но сформированного из цистерн, уровень же наибольших растягивающих сил больше оказался в наливном поезде. При торможении предварительно сжатых поездов наибольшие значения сжимающих сил квазистатического характера оказываются больше в поездах сформированных только из цистерн.

Эта тенденция сохраняется и для других способов управления тормозами независимо от способа соединения тормозной магистрали и режима работы воздухораспределителей.

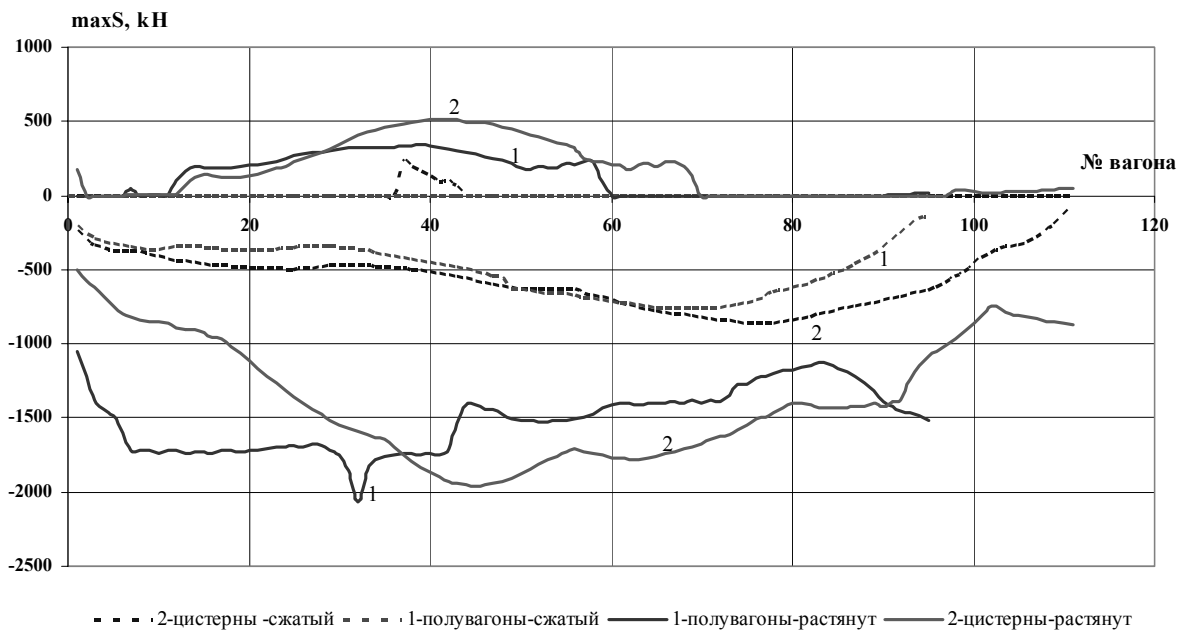


Рис. 6. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при экстренном торможении поездов, составленных из цистерн (линия - 2) или полувагонов (линия - 1) при синхронном способе управления тормозами и сквозной тормозной магистралью. Сплошные линии соответствуют торможению предварительно растянутых, а пунктирные – сжатых поездов

В табл. 1 приведены значения наибольших сжимающих и растягивающих сил в кН для ЭТ и ПСТ со скорости 20 км/ч и величины тормозных путей в метрах для ЭТ со скорости 80 км/ч для поездов, составленных из вагонов-цистерн, а в табл. 2 – для поездов, сформированных из полувагонов.

Как следует из результатов численных экспериментов, приведенных в табл. 1 и 2, при экстренном торможении уровень наибольших сжимающих сил ударного характера, когда зазоры в межвагонных соединениях оказывают существенное влияние на переходной процесс, в поездах, составленных из полувагонов, как правило, превышает аналогичные величины в наливных поездах. Это различие более существенно для грузевого режима работы воздухо-распределителей от 5 до 22 % для различных способов управления тормозами. Для случая, когда воздухо-распределители были включены на средний режим работы, наибольшие значения сжимающих сил в наливных поездах оказались меньше на 3...12,5 %, чем в поездах из полувагонов. Следует отметить, что различие между уровнем наибольших сжимающих сил

ударного характера в наливных и сухогрузных поездах уменьшается с увеличением длины тормозной магистрали. Например, при торможении только вторым локомотивом или при синхронном способе торможения двумя локомотивами для случая разобщенной тормозной магистрали, когда ее длина равняется половине длины поезда, это различие может достигать 35 %.

При торможении же только головным локомотивом (в этом случае длина тормозной магистрали равна длине поезда) различие между наибольшими сжимающими усилиями не превышает 5 %.

Следовательно, с увеличением длины поезда различие между наибольшими значениями продольных сил, возникающих в поездах, составленных из полувагонов, и наливных поездах уменьшается. Этот факт подтверждается проведенными ниже численными экспериментами.

Рассмотрим соударения локомотива с полувагоном или с цистерной, а также торможения поездов различной длины, составленных только из полувагонов или вагонов-цистерн.

Таблица 1

Наибольшие значения растягивающих и сжимающих продольных сил в кН в поездах, составленных из цистерн, при различных режимах торможения и разных режимах работы воздухораспределителей

Расположение вспомогат. локомотива				1/2			1/3 от хвоста		
тип ма-гис	способ управления тормозами	состоя-ние состава	режим в/р	ЭТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН	ЭТ, $V_0 = 80$ км/ч тормоз. путь	ПСТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН	ЭТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН	ЭТ, $V_0 = 80$ м/ч тормоз. путь	ПСТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН
С К В О З Н А Я	I и II синхронно	сжат	гр	-820		-800	<u>+490</u> -470		<u>+520</u> -460
			ср	<u>+100</u> -660		-640	<u>+370</u> -360		<u>+440</u> -380
		раст	гр	<u>+530</u> -1970	593	<u>+390</u> -1630	<u>+750</u> -640	538	<u>+490</u> -640
			ср	<u>+430</u> -1670	675	<u>+340</u> -1463	<u>+600</u> -575	665	<u>+400</u> -630
	только II	сжат	гр	<u>+940</u> -790		<u>+900</u> -600	<u>+1900</u> -450		<u>+1800</u> -350
			ср	<u>+720</u> -620		<u>+635</u> -450	<u>+1580</u> -360		<u>+1450</u> -270
		раст	гр	<u>+970</u> -1030	618	<u>+740</u> -980	<u>+1380</u> -530	592	<u>+1670</u> -450
			ср	<u>+720</u> -870	696	<u>+630</u> -900	<u>+980</u> -580	720	<u>+1350</u> -500
	только I	сжат	гр	-1280		-1180	-1245		-1150
			ср	-970		-890	-940		-870
		раст	гр	<u>+480</u> -2890	700	<u>+750</u> -2300	<u>+530</u> -2850	700	<u>+850</u> -2315
			ср	<u>+850</u> -2375	830	<u>+730</u> -2025	<u>+840</u> -2325		<u>+570</u> -1990
I, затем II по волне	сжат	гр	-1240		-930	-760		<u>+250</u> -605	
		ср	-980		-710	-560		<u>+270</u> -460	
	раст	гр	<u>+190</u> -2900	627	<u>+300</u> -2325	<u>+340</u> -1790	575	<u>+425</u> -1440	
		ср	<u>+300</u> -2280	710	<u>+430</u> -1950	<u>+390</u> -1550	700	<u>+830</u> -1275	
А В Т О М О Н Н А Я	I и II синхронно	сжат	гр	<u>+240</u> -620		<u>+250</u> -540	<u>+890</u> -670	590	<u>+1010</u> -520
			ср	<u>+240</u> -480	557	<u>+200</u> -400	<u>+650</u> -540		<u>+800</u> -410
		раст	гр	<u>+630</u> -1670	684	<u>+440</u> -1440	<u>+725</u> -1075		<u>+660</u> -820
			ср	<u>+450</u> -1375		<u>+370</u> -1270	<u>+600</u> -900	722	<u>+650</u> -650
	I, затем II по волне	сжат	гр	-950		-725	<u>+520</u> -980		<u>+650</u> -660
			ср	<u>+120</u> -740		-575	<u>+450</u> -740		<u>+620</u> -550
		раст	гр	<u>+330</u> -2375	588	<u>+240</u> -2210	<u>+640</u> -1920	613	<u>+950</u> -1270
			ср	<u>+425</u> -2025	714	<u>+360</u> -1875	<u>+850</u> -1530	740	<u>+920</u> -1130

Таблица 2

Наибольшие значения растягивающих и сжимающих продольных сил в кН в поездах, составленных из полувагонов, при различных режимах торможения и разных режимах работы воздухораспределителей

Расположение вспомогаг. локомотива			1/2			1/3 от хвоста			
тип ма-ги-страи	способ управления тормозами	состояние состава	режим в/р	ЭГ, $V_0=20$ км/ч max S, кН	ЭГ, $V_0=80$ км/ч тормоз. путь, м	ПСТ, $V_0=20$ км/ч max S, кН	ЭГ, $V_0=20$ км/ч max S, кН	ЭГ, $V_0=80$ км/ч тормоз. путь, м	ПСТ, $V_0=20$ км/ч max S, кН
СКВОЗНАЯ	I и II синхронно	сжат	гр	-720		-650	$\frac{+510}{-370}$		$\frac{+620}{-260}$
			ср	-610		-520	$\frac{+420}{-320}$		$\frac{+600}{-260}$
		растянут	гр	$\frac{+320}{-2070}$	575	$\frac{+310}{-1500}$	$\frac{+460}{-763}$	575	$\frac{+550}{-650}$
			ср	$\frac{+390}{-1850}$	710	$\frac{+350}{-1375}$	$\frac{+380}{-730}$	705	$\frac{+480}{-570}$
	только II	сжат	гр	$\frac{+1100}{-540}$	601	$\frac{+780}{-600}$	$\frac{+1700}{-310}$		$\frac{+1550}{-260}$
			ср	$\frac{+990}{-420}$	737	$\frac{+810}{-510}$	$\frac{+1430}{-270}$	761	$\frac{+1330}{-250}$
		растянут	гр	$\frac{+680}{-1250}$	600	$\frac{+750}{-1020}$	$\frac{+1200}{-750}$	622	$\frac{+1470}{-570}$
			ср	$\frac{+550}{-1150}$	734	$\frac{+650}{-940}$	$\frac{+870}{-690}$	761	$\frac{+1170}{-500}$
	только I	сжат	гр	-1110		-1040	-1100		-1040
			ср	-850		-820	-830		-820
		растянут	гр	-3020	704	-2090	-2950	705	-2075
			ср	$\frac{+120}{-2400}$	840	-1840	-2375	841	-1840
I, затем II по волне	сжат	гр	-1060		-740	-785		$\frac{+380}{-665}$	
		ср	-830		-610	-610		$\frac{+370}{-510}$	
	растянут	гр	$\frac{+620}{-3090}$	610	$\frac{+170}{-2150}$	$\frac{+500}{-2150}$	610	$\frac{+550}{-1410}$	
		ср	$\frac{+710}{-2340}$	748	$\frac{+470}{-1790}$	$\frac{+630}{-1660}$	744	$\frac{+660}{-1050}$	
АВТОНОМНАЯ	I и II синхронно	сжат	гр	$\frac{+290}{-540}$		$\frac{+250}{-510}$	$\frac{+770}{-540}$		$\frac{+840}{-490}$
			ср	$\frac{+200}{-420}$		$\frac{+200}{-400}$	$\frac{+700}{-460}$		$\frac{+680}{-440}$
		растянут	гр	$\frac{+570}{-1880}$	606	$\frac{+420}{-1440}$	$\frac{+650}{-1080}$	617	$\frac{+720}{-770}$
			ср	$\frac{+500}{-1590}$	740	$\frac{+550}{-1330}$	$\frac{+550}{-950}$	753	$\frac{+600}{-680}$
	I, затем II по волне	сжат	гр	-850		-710	$\frac{+550}{-920}$		$\frac{+610}{-630}$
			ср	-650		-550	$\frac{+480}{-740}$		$\frac{+670}{-520}$
		растянут	гр	$\frac{+530}{-2400}$	625	$\frac{+350}{-2100}$	$\frac{+1100}{-2150}$	644	$\frac{+1000}{-1470}$
			ср	$\frac{+1130}{-2000}$	760	$\frac{+840}{-1800}$	$\frac{+880}{-1840}$	780	$\frac{+1150}{-1250}$

На рис. 7, в качестве примера, приведены осциллограммы продольных сил, полученные при соударении локомотива ВЛ-80т и цистерны массой 90 тонн, заполненной карбамидо-аммиачной смесью плотность $\rho = 1,31 \text{ тс/м}^3$ с недоливом 1,35 метров (линия 1) и локомотива и полувагона массой 90 тонн при скорости 4 км/ч.

Как следует из приведенного рисунка, уровень сил при соударении локомотива и полувагона значительно выше, чем при соударении с той же скоростью такого же локомотива и цистерны. Сравнение аналогичных величин при других скоростях соударения для рассматриваемых вариантов соударения приведены в табл. 3.

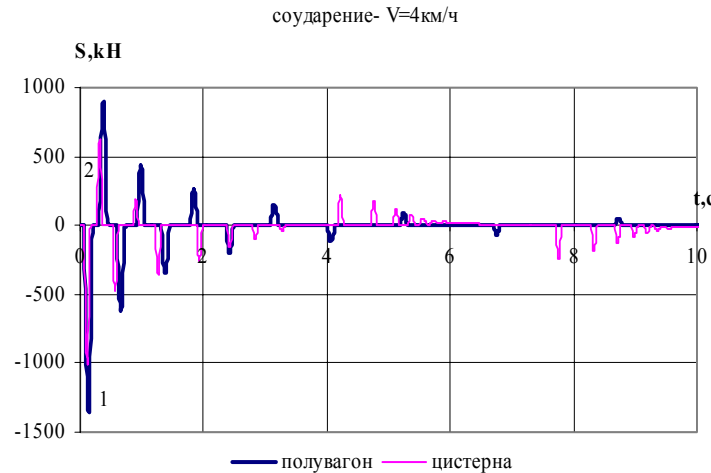


Рис. 7. Осциллограмма продольных сил при соударении локомотива с полувагоном (линия 1) и локомотива с цистерной (линия 2)

Из результатов, приведенных в табл. 4, следует, что в поездах длиной 800 и 1000 метров, составленных только из полувагонов наибольшие значения ударных сжимающих сил превышают аналогичные величины в наливных поездах соответственно на 22...35 % и 7...17 %. Меньшие значения процентов соответствуют грузеному режиму работы воздухораспределителей, большие – среднему режиму.

Таблица 3

Наибольшие значения продольных сжимающих и растягивающих сил при различных скоростях соударения локомотива с полувагоном или с цистерной

Скорость соударения V , км/ч	Продольные силы S , кН	
	Локомотива с полувагоном	Локомотива с цистерной
4	+900/ -1350	+630/ -1010
8	+2000/ -3070	+1270/ -1990
10	+2940/ -3950	+1720/ -2850

В табл. 4 приведены наибольшие значения продольных сил при экстренном торможении со скорости 20 км/ч в поездах длиной 800 и 1000 метров, сформированных только из полувагонов или только из цистерн при различных режимах работы воздухораспределителей. По-

езд длиной 800 метров был составлен из 52 полувагонов массой 100 тонн или из 60 цистерн массой 90 тонн, заполненных карбамидо-аммиачной смесью плотность $\rho = 1,31 \text{ тс/м}^3$ с недоливом 1,35 метров. Поезд длиной 1000 метров – из 67 полувагонов или из 78 цистерн.

Таблица 4

Наибольшие значения продольных сжимающих и растягивающих сил в кН при экстренном торможении со скорости 20 км/ч предварительно растянутых поездов различной длины

Длина поезда	800 метров		1000 метров	
	полувагоны	цистерны	полувагоны	цистерны
гр	-1940	$\frac{+200}{-1590}$	$\frac{+500}{-2160}$	$\frac{+240}{-2020}$
ср	-1725	$\frac{+370}{-1280}$	$\frac{+300}{-1930}$	$\frac{+630}{-1650}$

Приведенные результаты соударений и торможений поездов разной длины подтверждают тот факт, что с увеличением длины тормозной магистрали различие между наибольшими значениями сжимающих продольных сил, возникающих в поездах, составленных из полуваго-

нов, и наливных поездах при различных способах торможения уменьшается.

При торможении предварительно сжатых поездов (см. табл. 1 и 2) наибольшие значения сжимающих сил квазистатического характера в наливных поездах превышают аналогичные величины в поездах, составленных только из полувагонов, при различных способах управления тормозами в среднем на 15 %. При торможении сжатых поездов только вторым локомотивом наибольшие значения растягивающих усилий, которые в данном случае носят ударный характер, оказались меньше в наливных поездах на 20 % для груженого режима и на 30 % для среднего режима работы воздухораспределителей.

Тормозные пути при экстренном торможении сухогрузных и наливных поездов при различных режимах торможения отличаются не более чем на 8,5 %.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Наименьший уровень продольных сил в поезде получается при размещении второго локомотива на расстоянии 1/3 длины поезда от хвоста и синхронном способе управления тормозами. Этот вариант можно рекомендовать в эксплуатации как на среднем, так и на груженом режимах работы воздухораспределителей.

Для вариантов размещения вспомогательного локомотива в середине состава наименьшие продольные силы получаются с автономными тормозными магистралями каждой его частей и синхронном способе управления. В случае сквозной магистрали наибольшие продольные силы значительно больше, чем с автономными. Если же управлять тормозами со сквозной магистралью только из второго локомотива, расположенного в середине поезда, то сжимающие силы будут минимальными. Однако при этом возникают значительные растягивающие силы.

Наибольший уровень сил в поезде получен при экстренном торможении как предварительно растянутых, так и сжатых поездов при управлении тормозами по волне разрядки тормозной магистрали. При размещении вспомогательного локомотива в середине состава уровень сил оказался такого же порядка, как при торможении только головным локомотивом. Сжимающие продольные силы, возникающие при экстренном торможении предварительно сжатых поездов могут быть опасны с позиции устойчивости вагона от выжимания, т.к. они носят квазистатический характер (действуют в

течение 1,5...2 секунд) и превышают допустимое значения 1000 кН для полностью загруженных вагонов [5]. Разобшение тормозной магистрали для случая, когда вспомогательный локомотив производит экстренное торможение с приходом волны снижения давления в магистрали, позволило снизить уровень наибольших усилий.

Выводы

Полученные результаты показывают, что при необходимости вождения наливных поездов массой свыше 10 тыс. тонн их формирование должно производиться с установкой локомотивов в голове и на расстоянии 1/3 длины от хвоста поезда.

Поезда должны быть оснащены системой синхронного торможения с резервной системой по тормозной волне.

В случае, когда по условиям эксплуатации вспомогательный локомотив оказывается в середине поезда, управление тормозами должно осуществляться с этого локомотива по радиокomандам машиниста головного локомотива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блохин, Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) [Текст] / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
2. Программно-вычислительный комплекс для исследования продольной нагруженности наливных поездов [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 36-48.
3. О вождении длинносоставных поездов [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 48-56.
4. Рыжов, А. В. Исследование нагруженности восьмиосных цистерн при соударениях [Текст] / А. В. Рыжов, Ю. М. Черкашин, Н. Я. Гаркави // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 6. – С. 37-40.
5. Вершинский, С. В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении поезда [Текст] / С. В. Вершинский // Труды ВНИИЖТа. – 1970. – Вып. 425. – С. 4-38.

Поступила в редколлегию 12.01.2011.

Принята к печати 25.01.2011.