

**Постановка задачи.** С помощью математического моделирования исследуется продольная нагруженность неоднородных наливных поездов при различных способах торможения. Рассмотрены различные схемы формирования наливных поездов, состоящие из четырехосных и восьмиосных цистерн с различным уровнем недолива перевозимой жидкости. Оценивается влияние уровня заполнения котла цистерны жидкостью на продольную нагруженность поезда при торможениях. Для решения данной задачи рассматривались поезда, составленные из 30 четырехосных и 30 восьмиосных вагонов-цистерн и одного локомотива ВЛ-8, расположенного в голове поезда. Для оценки продольной нагруженности рассматривались экстренные и полные служебные торможения со скоростями движения 30 км/ч и 60 км/ч на горизонтальном участке пути. При математическом моделировании предполагалось, что в цистерны залит мазут плотностью  $\rho=0,99 \text{ т/м}^3$ . Рассматривались различные варианты удаления уровня свободной поверхности жидкости от верхней внутренней поверхности котла цистерны. Недолив принимался равным  $h=0,4; 0,8; 1,2$  метра. **Научные результаты.** В результате расчетов были получены диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда и тормозные пути для различных схем формирования и разного уровня недолива перевозимой жидкости. Рассмотрены различные торможения предварительно растянутых и сжатых поездов. **Выводы.** Полученные результаты показывают, что при необходимости вождения наливных неоднородных по типу вагонов-цистерн (4-хосные и 8-миосные) поездов их формирование должно производиться с установкой восьмиосных цистерн в первой половине состава.

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

**Введение.** Большой интерес представляет вождение наливных поездов, сформированных из неоднородных по типу цистерн с различным уровнем заполнения котла цистерны жидкостью. Вождение таких поездов может представлять определенные трудности, особенно это касается режимов торможения [1, 2].

**Постановка задачи.** Исследовать продольную нагруженность неоднородных наливных поездов при различных способах торможения с помощью математического моделирования. Рассмотреть различные схемы формирования наливных поездов, состоящие из четырехосных и восьмиосных цистерн с различным уровнем недолива перевозимой жидкости. Оценить также влияние уровня заполнения котла цистерны жидкостью на продольную нагруженность поезда при торможениях.

**Научные результаты.** Оценивая продольную нагруженность поездов при торможении, предполагалось, что вагоны-цистерны оборудованы воздухораспределителями с условным № 483, включенными на средний режим работы и композиционными тормозными колодками, а межвагонные соединения - упруго-фрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ [3]. Исследование торможений растянутых поездов позволило получить наибольшие ударные усилия, а сжатых – оценить усилия квазистатического характера.

Численные значения параметров, характеризующих работу тормозных систем, принимались по результатам опытов, проведенных с поездами в реальных условиях опытного кольца

на станции Щербинка Московской ж.д. учеными ДИИТа и ВНИИЖТа [4].

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. Предполагалось, что подвижная масса на высоте выше верхней «кромки» неподвижной массы «сочленена» с баком посредством «пружины». Определение масс и жесткостей соединяющей «пружины» определялось по методике, изложенной в работе [5]. 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 [6].

Для решения данной задачи рассматривались поезда, составленные из 30 четырехосных и 30 восьмиосных вагонов-цистерн и одного локомотива ВЛ-8, расположенного в голове поезда.

Для оценки продольной нагруженности рассматривались экстренные и полные служебные торможения со скоростями движения 30 км/ч и 60 км/ч на горизонтальном участке пути.

При математическом моделировании предполагалось, что в цистерны залит мазут плотностью  $\rho=0,99 \text{ т/м}^3$ . Рассматривались различные варианты удаления уровня свободной поверхности жидкости от верхней внутренней по-

верхности котла цистерны. Недолив принимался равным  $h = 0,4; 0,8; 1,2$  метра.

Как известно, величина недолива пропорциональна массе жидкости, находящейся в цистерне, и зависит от ее плотности. Ниже, в таблице 1 для рассматриваемых вариантов заполнения котла цистерны мазутом приведены соответствующие массы вагонов-цистерн.

Таблица 1

**Значения массы (брутто) цистерн при различных вариантах заполнения котла мазутом**

Недолив, м	Масса брутто, т	
	Тип цистерны	
	4-хосные	8-миосные
$h = 0,4$	89,3	198,4
$h = 0,8$	79,7	178,4
$h = 1,2$	68,2	154,5

Рассматривались две схемы формирования наливного поезда. Первая схема - 30 четырехосных цистерн расположены в голове состава затем 30 восьмиосных цистерн., вторая схема - 30 восьмиосных цистерн в голове состава, затем - 30 четырехосных цистерн. Оценивая уровень продольных сил, предполагалось, что во всех цистернах уровень недолива одинаков.

В результате расчетов были получены диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда и тормозные пути.

В качестве примера на рис. 1 и рис. 2 приведены графики распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда при торможении предварительно растянутых поездов. Результаты на рис.1 получены при моделиро-

вании экстренного торможения с начальной скорости 30 км/ч, на рис. 2 - полного служебного торможения с начальной скорости 60 км/ч.

На приведенных рисунках сплошные линии соответствуют первой схеме формирования поезда, маркированные линии - второй схеме формирования. При этом линии 1 и 4 соответствуют случаю, когда уровень свободной поверхности мазута находится на расстоянии  $h = 1,2$  м от внутренней поверхности котла цистерны, линии 2 и 5 - на расстоянии  $h = 0,8$  м, линии 3 и 6 - на расстоянии  $h = 0,4$  м.

Как видно из приведенных рисунков, когда восьмиосные вагоны-цистерны расположены во второй половине состава (I схема формирования), уровень наибольших продольных сил превышает аналогичные величины в поезде, сформированному по II схеме (восьмиосные цистерны находятся в первой половине состава) для всех рассмотренных случаев недолива мазута. При этом, для случая экстренного торможения в поездах сформированных по второй схеме наибольшие сжимающие усилия уменьшились на 23-35 %, а при полном служебном торможении - на 25-17 %. Первые значения соответствуют уровню недолива  $h = 1,2$  м, а вторые - уровню недолива  $h = 0,4$  м.

Из рис. 1 и 2 также следует, что с уменьшением уровня недолива от 1,2 м до 0,4 м уровень наибольших сжимающих сил возрастает. Для первой схемы формирования на 19-25%, а для второй схемы - на 5-35 %. В данном случае первые значения соответствуют экстренному, вторые - полным служебным торможениям.

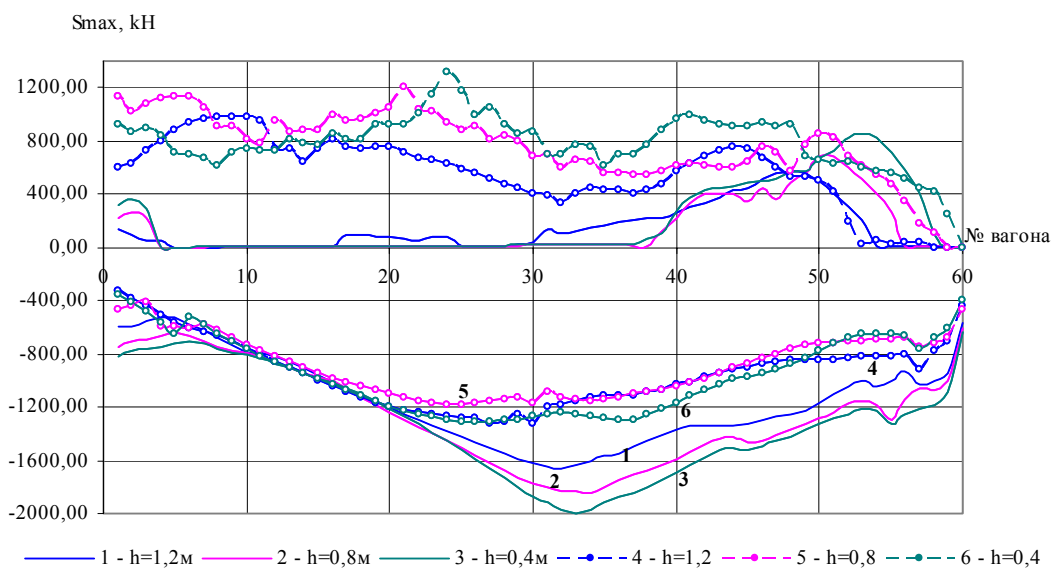


Рис. 1. Распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда при экстренном торможении с начальной скорости 30 км/ч для различных схем формирования

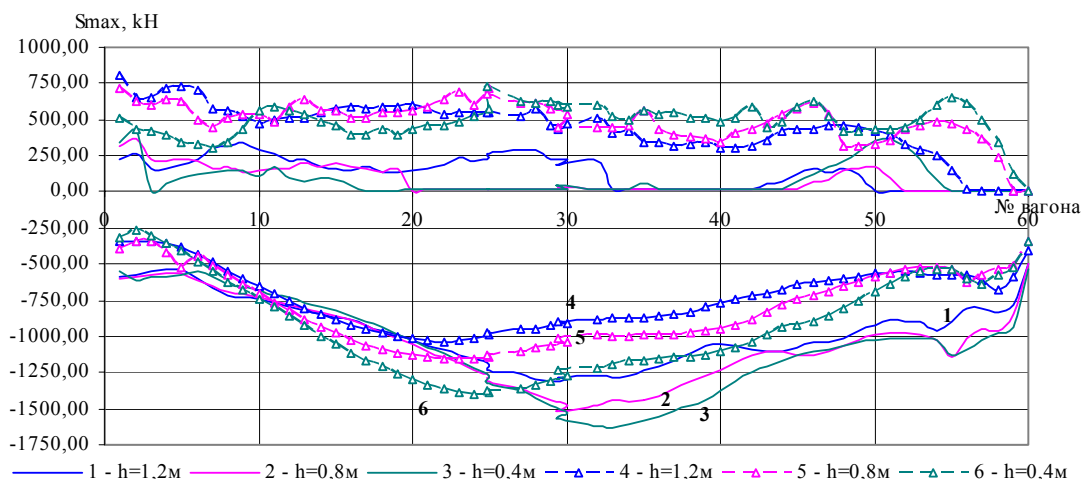


Рис.2. Распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда при полном служебном торможении с начальной скорости 60 км/ч для различных схем формирования.

Следует также отметить, что постановка восьмиосных вагонов-цистерн в первую половину состава вызывает значительный рост растягивающих продольных сил для рассмотренных случаев торможения.

Используя, полученные диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда для различных начальных скоростей движения (30 и 60 км/ч), начального состояния состава (предварительно сжатого или растянутого), а также способов торможения были выбраны наибольшие значения значения сжимающих (-) и растягивающих (+) продольных сил. Эти величины, а также величины тормозных путей приведены в таблице 2.

Из результатов, приведенных, в таблице 2 следует, что при торможении предварительно растянутых поездов уровень наибольших продольных сжимающих сил уменьшается при формировании поезда по второй схеме (постановка восьмиосных цистерн в первую половину состава), но при этом уровень наибольших растягивающих усилий увеличивается почти в 2 раза.

Как и следовало ожидать, уровень наибольших сжимающих и растягивающих усилий оказался меньшим при полном служебном торможении. Для рассмотренных способов торможения с ростом начальной скорости движения эти значения уменьшались и увеличивались тормозные пути. К росту тормозных путей приводит также увеличение уровня заполнения цистерн (уменьшение недолива жидкости), а, следовательно, рост массы поезда.

При торможении и предварительно растянутых и предварительно сжатых поездов, сформированных по первой схеме, уменьшение рас-

стояния между уровнем свободной поверхности жидкости и верхней внутренней поверхности котла цистерны вызывает рост наибольших сжимающих усилий при рассмотренных способах торможения. Это связано с ростом массы вагонов-цистерн (см. табл. 1) и всего поезда в целом.

В случае формирования поезда по второй схеме, наибольшие сжимающие продольные силы не зависят от уровня заполнения цистерн при экстренном торможении как предварительно сжатых, так и предварительно растянутых поездов. При полном служебном торможении уровень недолива не влияет на величины сжимающих сил при торможении сжатых поездов и вызывает рост продольных усилий при уменьшении величины недолива. Следует также отметить, что при формировании поездов по второй схеме возникают растягивающие усилия даже при торможении предварительно сжатых поездов.

Рассмотрим один из способов уменьшения продольной нагруженности неоднородного наливного поезда. Смоделируем экстренное и полное служебное торможения поездов, сформированных по предложенным схемам, но при этом в четырехосных цистернах недолив составил  $h = 0.4$  м (масса 89,3 т), а в восьмиосных -  $h = 1,2$  м (масса 154,5 т). Масса поезда в этом случае составила 7 314 т.

Ниже на рис. 3 и 4 показаны диаграммы распределения максимальных сил вдоль длины поезда при экстренном и полном служебном торможениях, предварительно растянутых поездов с начальной скорости 30 км/ч.



Линии 1 на этих рисунках соответствуют распределениям максимальных продольных сил вдоль длины поезда для первой схемы формирования, когда восьмиосные цистерны расположены во второй половине состава, Линии 2 – аналогичные величины, полученные в поездах, сформированных по второй схеме.

Как следует из приведенных графиков, различный уровень заполнения цистерн разного типа (4-осных и 8-миосных) привело к тому, что неоднородность по массе стала меньше выраженной, но даже в этом случае II схема формирования является более рациональной. Так, в этом случае, уровень наибольших растягивающих продольных сил снизился на 33 % по сравнению с поездом аналогичной массой, в котором недолив во всех вагонах равнялся  $h = 0.8 \text{ м}$ , уровень же наибольших сжимающих сил остался того же порядка.

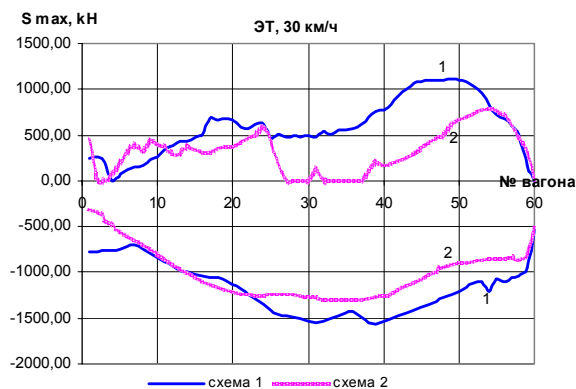


Рис. 3. Распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда при экстренном торможении с начальной скорости 30 км/ч для различных схем формирования с разным уровнем заполнения цистерн

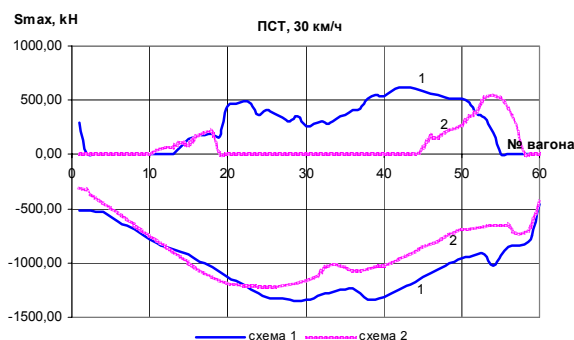


Рис. 4. Распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда при полном служебном торможении с начальной скорости 30 км/ч для различных схем формирования с разным уровнем заполнения цистерн

При формировании неоднородного поезда по схеме I - различный недолив мазута в цистернах разного типа позволил снизить уровень

наибольших сжимающих сил на 15 %, но при этом уровень наибольших растягивающих сил увеличился на 35%.

При этом уровень наибольших продольных сжимающих усилий, полученный при различных способах торможения, практически не зависит от схемы формирования и оказался практически одинаков. Это связано с тем, что неоднородность по массе цистерн стала меньше, что и привело к уменьшению наибольших сжимающих сил в поезде, сформированному по схеме I и к уменьшению наибольших растягивающих усилий в поезде, сформированному по схеме II.

**Выводы.** Полученные результаты показывают, что при необходимости вождения наливных неоднородных по типу вагонов-цистерн (4-хосные и 8-миосные) поездов их формирование должно производиться с установкой восьмиосных цистерн в первой половине состава.

В случае, когда по условиям эксплуатации в первой половине состава оказались четырехосные цистерны, то снижение продольной нагрузки такого поезда может быть достигнуто путем использования прямодействующего тормоза локомотива для выбора зазоров межвагонных соединений перед началом пневматического торможения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребенюк, П. Т. Динамика торможения грузовых поездов [текст] / П. Т. Гребенюк // Вестник ВНИИЖТа, № 1. 2002. - С. 23-27.
2. Черкашин, Ю. М. Безопасность движения железнодорожного подвижного состава [Текст] / Ю. М. Черкашин. - М. : Интекст, 2010. - 176 с.
3. Блохин, Е. П. программно-вычислительный комплекс для исследования продольной нагрузки наливных поездов [Текст] / Е. П. Блохин, Н. Я. Гаркави, Л. В. Урсуляк, К. И. Железнов, Я. Н. Романюк // Вісник ДІТУ. - Вип. 30. - Д., 2009. - С. 36-48.
4. Блохин Е.П. Торможение поездов разной длины при воздухораспределителе № 483. [Текст] / Е. П. Блохин, В.Г.Иноземцев, ВОВОКрылов, Е.Л.Стамблер, Л.В.Урсуляк // Эксплуатация автотормозов на подвижном составе железных дорог СССР - Сб. науч. "ВНИИЖТа"-М.:"Транспорт, 19870- С."123-134.
5. Рыжов, А. В. Исследование нагруженности восьмиосных цистерн при соударениях. [Текст] / Ю. М. Черкашин, Н. Я. Гаркави // Вестник ВНИИЖТ. - № 6, 1982. - С.37-40.
6. Блохин, Е. П. О вождении и длинносоставных поездов [Текст] / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк,

Я. М. РОМАНЮК (ПКТБ АСУ УЗ)

## ОЦІНКА ПОЗДОВЖНЬОГО НАВАНТАЖЕНОСТЯ НАЛИВНИХ НЕОДНОРІДНИХ ПОЇЗДІВ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ГАЛЬМУВАННЯ

**Постановка задачі.** За допомогою математичного моделювання досліджується поздовжня навантаженість неоднорідних наливних поїздів при різних способах гальмування. Розглянуто різні схеми формування наливних поїздів, що складаються з чотиривісних і восьмивісних цистерн з різним рівнем недоливу перевезеної рідини. Оцінюється вплив рівня заповнення котла цистерни рідиною на поздовжню навантаженість поїзда при гальмуваннях. Для вирішення даної задачі розглядалися поїзди, складені з 30 чотиривісних і 30 восьмивісних вагонів-цистерн і одного локомотива ВЛ-8, розташованого в голові поїзда. Для оцінки поздовжньої навантаженості розглядалися екстрені і повні службові гальмування зі швидкостей двіжження 30 км/год і 60 км/год на горизонтальній ділянці шляху. При математичному моделюванні передбачалося, що в цистерни залитий мазут щільністю  $\rho = 0,99$  т/м<sup>3</sup>. Розглядалися різні варіанти видалення рівня вільної поверхні рідини від верхньої внутрішньої поверхні котла цистерни. Недолив приймався рівним 0,4; 0,8; 1,2 метра. **Наукові результати.** В результаті розрахунків були отримані діаграми розподілу максимальних поздовжніх сил уздовж довжини поїзда і гальмівні шляхи для різних схем формування і різного рівня недоливу перевезеної рідини. Розглянуто різні гальмування попередньо розтягнутих і стиснутих поїздів. **Висновки.** Отримані результати показують, що при необхідності водіння наливних неоднорідних за типом вагонів-цистерн (4-хвісні і 8-мивісні) поїздів їх формування повинно проводитися з встановленням восьмивісних цистерн в першій половині складу.

*Ключеві слова:* поздовжні зусилля, математичне моделювання, гальмування, наливні поїзди

Y. ROMANYUK

## EVALUATION LATERALLY LOADED LIQUID OF INHOMOGENEOUS TRAINS AT VARIOUS MODE OF BRAKING

**Problem statement.** By means of mathematical modelling it is investigated longitudinal forces of non-uniform bulk trains at various ways of braking. Various schemes of formation of the bulk trains, consisting of four-axised and eight-axised tanks with various level of incomplete filling of transported liquid are considered. It is estimated the influence of level of filling of a copper of the tank by liquid on longitudinal forces of trains at braking. For the decision of the given problem the trains made from 30 four-axised and 30 eight-axised cars-tanks and one locomotive VL-8, located in the head of a train were considered. For the estimation of longitudinal forces emergency and full service braking at speeds of movement 30 km/h and 60 km/h on a horizontal site of a way were considered. At mathematical modelling it was supposed that tanks were filled by black oil in density  $\rho = 0,99$  t/m<sup>3</sup>. Various variants of removal of the level free surface of liquid from the top internal surface of a copper of the tank were considered. The incomplete filling was accepted equal 0,4; 0,8; 1,2 metres. **Scientific results.** As a result of calculations diagrams of distribution of the maximum longitudinal forces along the length of a train and brake ways for various schemes of formation and different level of incomplete filling of transported liquid have been received. Various braking of preliminary stretched and compressed trains are considered. **Conclusions.** The received results show that in need of driving the bulk non-uniform as cars-tanks (4- axised and 8- axised) trains their formation should be made with installation of eight-axised tanks in the first half of the structure.

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