

Таким образом, анализ имеющихся исследований демонстрирует недостаточную изученность явлений, связанных с динамическим взаимодействием длинномерного груза со сцепом вагонов. Кроме того, проблемы, связанные с вертикальными колебаниями таких грузов, не нашли отражения в нормативных документах, регламентирующих их транспортировку. Развитие теории транспортировки длинномерных грузов требует создания новых математических и компьютерных моделей, учитывающих перемещение таких грузов относительно вагонов при переходных режимах движения.

#### Список литературы

- 1 **Васильев, С. М.** Совершенствование подвижных турникетно-крепежных устройств с целью установки на современные типы грузовых вагонов / С. М. Васильев, А. А. Железняков, Л. П. Целковикова // *Механика. Исследования и инновации.* – 2019. – Вып. 12. – С. 29–34.
- 2 **Петрачков, С. А.** Компьютерное моделирование длинномерных грузов на сцепе из двух платформ / С. А. Петрачков, М. Г. Гегедеш // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт.* – 2022. – № 2(45). – С. 117–120.
- 3 **Васильев, С. М.** Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны / С. М. Васильев // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт.* – 2006. – № 1–2 (12–13). – С. 30–36.
- 4 Research of the operation of the turnstile support-fastening device during the transportation of a long-dimensional heavy load / J. Musayev [et al.] // *Vibroengineering Procedia.* – 2023. – Vol. 49. – P. 80–85.
- 5 The influence of resistant force equations and coupling system on long train dynamics simulations / N. Bosso [et al.] // *Journal of Rail and Rapid Transit.* – Vol. 236 (1). – P. 35–47.
- 6 **Шатунов, О. В.** Динаміка зчепу вагонів-платформ під час перевезення довгомірного вантажу / О. В. Шатунов, А. О. Швець // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.* – 2020. – № 4 (88). – С. 114–131.
- 7 **Мозгрин, С. В.** Эффективность организации перевозок длинномерных грузов на фитинговых платформах с различной длиной погрузочных площадок / С. В. Мозгрин, Г. Е. Писаревский // *Вестник ВНИИЖТ.* – 2019. – Т. 78 (4). – С. 203–209.
- 8 Mathematical and computer models in estimation of dynamic processes of vehicles / A. Assemkhanuly [et al.] // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.* – 2019. – Vol. 97, no 10. – P. 2803–2820.
- 9 **Чаганова, О. С.** Особенности крепления грузов на сочленённых вагонах-платформах / О. С. Чаганова, Т. И. Быстренкова, Е. В. Меньшова // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко.* – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 143–145.

УДК 629.4.03:621.311

## ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАСХОД ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЗА ПОЕЗДКУ

*А. П. ДЕДИНКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В структуре расходов Белорусской железной дороги доля затрат на энергоресурсы для тяги поездов составляет примерно 16 %. С целью планирования, учета, контроля, а также рационального использования энергоресурсов на тягу поездов важно обеспечить эффективный механизм прогнозирования их расхода. Расчет задания по расходу энергоресурсов на поездку необходим для оценки качества работы локомотивной бригады, а также теплотехнического состояния тягового подвижного состава. Наличие эффективного механизма расчета позволяет реализовывать мероприятия по стимулированию рационального потребления энергоресурсов на тягу поездов среди работников локомотивного хозяйства, а также избегать их перерасхода путем своевременного доведения локомотива или дизель(электро)-поезда до надлежащего теплотехнического состояния. Спецификой данной задачи является то, что, определить некоторые факторы, оказывающие существенное влияние на расход энергоресурсов за поездку, возможно только после непосредственного ее совершения.

К группе эксплуатационных факторов, оказывающих постоянное влияние на расход энергоресурсов за поездку, относят среднее значение коэффициента полезного действия локомотива или дизель(электро)-поезда, его техническое состояние и т. д. К группе переменных факторов относят такие показатели, как перевозочная работа, масса состава, пробег, участковая и техническая скорости движения, осевая нагрузка, время и число стоянок, число осей, количество предупреждений об ограничении скорости движения, величина нагона и т. д. Использование статистических методов оценки влияния эксплуатационных факторов на расход энергоресурсов за поездку предполагает их тщательный предварительный анализ, а также оценку взаимного влияния. Исключение из исследования факторов, имеющих между собой существенную степень влияния, позволяет более точно оценить воздействие остающихся факторов на расход энергоресурсов за поездку.

Для прогнозирования расхода энергоресурсов за поездку выполнены исследования и построены многочисленные регрессионные модели. Во избежание потери точности создаваемых моделей прогнозирования расхода энергоресурсов за поездку определены факторы, имеющие высокую степень взаимной корреляции между собой с целью возможного исключения некоторых из них. Высокой принято считать корреляцию, характеризующуюся коэффициентом  $r \geq 0,75$ . Для этого построены матрицы парных коэффициентов корреляции (корреляционные матрицы), приведенные в таблицах 1–4. Рассмотрены следующие эксплуатационные факторы:

- средняя масса состава  $Q$ , т;
- средняя осевая нагрузка состава поезда  $q_{o(ср)}$ , т/ось;
- средняя техническая скорость движения  $v_T$ , км/ч;
- коэффициент участковой скорости  $k_{уч}$ ;
- количество предупреждений об ограничении скорости  $n_{огр}$ ;
- нагон  $t_{наг}$ , мин.

**Таблица 1 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия 2ТЭ10У(М))**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,37374	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,24868	0,77749	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,44052	0,05303	-0,03594	1	–	–	–
$k_{уч}$	0,10539	0,05804	0,01283	-0,08235	1	–	–
$n_{огр}$	-0,03340	0,02379	0,01469	0,09159	0,01378	1	–
$t_{наг}$	–	–	–	–	–	–	1

**Таблица 2 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия 2М62К, 2М62УК)**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,34355	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,17011	0,54850	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,02334	-0,27211	-0,26094	1	–	–	–
$k_{уч}$	-0,02906	0,14565	-0,06003	0,22866	1	–	–
$n_{огр}$	-0,00030	-0,03841	-0,04224	0,02112	0,00213	1	–
$t_{наг}$	–	–	–	–	–	–	1

**Таблица 3 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия ТЭП70)**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,40821	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,14787	0,08431	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,35216	0,09031	0,19100	1	–	–	–
$k_{уч}$	0,01113	0,00444	-0,02465	-0,07007	1	–	–
$n_{огр}$	-0,03949	0,04711	0,03943	0,16179	-0,01625	1	–
$t_{наг}$	-0,07140	0,04760	0,07621	0,22745	-0,16813	0,11410	1

**Таблица 4 – Значения парных коэффициентов взаимной корреляции факторов (серия ДР1А)**

Коэффициент	$e$	$Q$	$q_{o(ср)}$	$v_T$	$k_{уч}$	$n_{огр}$	$t_{наг}$
$e$	1	–	–	–	–	–	–
$Q$	-0,11066	1	–	–	–	–	–
$q_{o(ср)}$	-0,10919	0,99997	1	–	–	–	–
$v_T$	-0,54826	-0,04907	-0,05016	1	–	–	–
$k_{уч}$	0,25167	-0,12214	-0,12164	-0,25245	1	–	–
$n_{огр}$	-0,05195	-0,03615	-0,03598	0,09065	-0,02813	1	–
$t_{наг}$	0,01548	-0,02096	-0,02096	0,10988	-0,05660	0,02598	1

Как видно из таблиц 1–4, в рассматриваемом перечне эксплуатационных факторов наибольшую степень корреляции с функцией отклика (удельным расходом дизельного топлива за поездку) имеют факторы:  $Q$  (масса состава, т),  $q_{o(ср)}$  (осевая нагрузка, т/ось),  $v_t$  (техническая скорость движения, км/ч). Между собой в наибольшей степени коррелированы факторы: масса состава и осевая нагрузка (в грузовом и пригородном движениях). Во всех видах движения статистически мала связь между удельным расходом дизельного топлива и коэффициентом участковой скорости  $k_{уч}$ , количеством предупреждений об ограничении скорости движения  $n_{огр}$ .

Следует отметить, что при построении, к примеру, регрессионных моделей расхода топлива на полученных данных, приемлемым будет включение в них всех рассматриваемых эксплуатационных факторов ввиду невысокой степени взаимной корреляции между ними практически во всех рассматриваемых случаях. Полученные данные возможно использовать как для прогнозирования расхода дизельного топлива и электрической энергии для подразделений локомотивного хозяйства, так и для заданий по расходу энергоресурсов на поездку локомотивной бригаде.

УДК 629.4.015:004.94

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИГА ВАГОНОВ, РАЗМЕЩЕННЫХ НА СТАЦИОННЫХ ПУТЯХ

*О. В. ДЕМЬЯНЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для закрепления подвижного состава на станционных путях используются тормозные башмаки [1, 2], потребное количество которых, определенное в соответствии с Методическими рекомендациями по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками [3], в некоторых случаях оказывается завышенным, также возможны случаи ухода вагонов при недостаточном их закреплении. Белорусским государственным университетом транспорта были проведены эксперименты по определению силы, необходимой для сдвига железнодорожных составов при разных погодных условиях. В некоторых случаях сила, необходимая для сдвига одного и того же состава при одинаковом количестве тормозных башмаков, отличалась в несколько раз.

Результаты исследований, выполненных на основе разработки аналитических и одномерных компьютерных моделей, не позволили объяснить причину значительного разброса значений сдвигающих сил. В программном комплексе MSC.ADAMS была разработана модель железнодорожного состава, включающего вагоны различного типа (хопперы, полувагоны и цистерны) с разным уровнем загрузки, соединенные упругими связями. Анализ влияния параметров модели на динамику железнодорожного состава при его сдвиге показал, что коэффициенты жесткости поглощающих аппаратов автосцепки, а также величины зазоров в межвагонных соединениях не оказывают значительного влияния на силу, необходимую для сдвига состава. Величины сдвиговых сил, определенные по результатам моделирования, в зависимости от типа разработанной модели и ее параметров могут иметь незначительные отклонения как в меньшую, так и в большую сторону по сравнению со значениями, установленными аналитическим расчетом [4].

Для определения причин появления значительных отличий сдвигающих сил выполнен анализ динамики сдвигаемого при малых скоростях подвижного состава в среде программного комплекса MSC.ADAMS, для чего разработана упрощенная модель железнодорожного вагона, в которой кузов взаимодействует с двумя тележками через цилиндрические шарниры. В работе [5] установлено, что поворот кузова вокруг вертикальной оси может приводить к значительному увеличению сил трения при значении коэффициента трения между колесами и рельсами, соответствующему малой влажности (коэффициент трения  $f = 0,3$ ).

В данной работе выполнено моделирование сдвига вагона в случае разных погодных условий, при которых коэффициент трения может быть уменьшен до 0,1. При приложении силы, линия действия которой смещена в поперечном направлении по отношению к продольной оси вагона на 200 и 400 мм, были получены зависимости сдвигающей силы от значений коэффициента трения (рисунок 1). Установлено, что величина поперечного смещения линии действия сдвиговой силы практически не влияет на максимальное значение данной силы, при котором происходит остановка вагона после начала движения. При уменьшении коэффициента трения от 0,3 до 0,1 значение сдвигающей силы уменьшается в два раза.