Алгоритм автоматизированного контроля смещения общего центра тяжести груза в вагоне при перевозке железнодорожным транспортом

Т. А. ВИНОКУРОВА, А. Б. ГАЛУШКИН, А. А. РАХМИЛЕВИЧ

Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи» (АО «НИИАС»), Москва, 109029, Россия

Аннотация. Предложен алгоритм автоматизированного контроля смещения общего центра тяжести груза относительно поперечной и/или продольной плоскостей симметрии вагона в пути следования при перевозке железнодорожным транспортом и принятия решения о наличии коммерческих неисправностей по результатам поколесного взвешивания вагонов в движении весовыми устройствами (весами), входящими в состав технических средств систем, осуществляющих автоматизированный коммерческий осмотр поездов и вагонов. Приведены примеры расчета.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; перевозка грузов; автоматизированный контроль размещения и крепления грузов; алгоритм

Введение. Одним из стратегических направлений научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») до 2025 г. является переход к передовым цифровым, аппаратно-программным, интеллектуальным производственным технологиям [1]. Одна из таких технологий, обеспечивающая безопасность движения и сохранность груза в процессе его перевозки, — это технология автоматизированного коммерческого осмотра вагонов в поездах [2], которая на сегодня обеспечивается двумя системами: Автоматизированной системой коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКОПВ) [3, 4] и Интегрированным постом автоматизированного приема и диагностики состава на сортировочной станции (ППСС). Создание цифровой интеллектуальной технологии коммерческого осмотра возможно посредством перехода от автоматизированных систем обнаружения коммерческих неисправностей (как это происходит сейчас) к системам их автоматического распознавания и принятия решений о необходимости отцепки вагонов для устранения этих неисправностей. Одной из коммерческих неисправностей, влияющих на безопасность движения и сохранность перевозимого груза, которую необходимо в соответствии с действующей технологией коммерческого осмотра поездов и вагонов контролировать в процессе перевозки на пунктах коммерческого осмотра (ПКО), является превышение

в процессе перевозки нормативных максимально допускаемых значений смещения общего центра тяжести груза относительно поперечной и продольной плоскостей симметрии вагона. В настоящее время в системе ППСС реализован и проходит проверку в условиях подконтрольной эксплуатации разработанный авторами алгоритм определения смещения общего центра тяжести груза по результатам поколесного взвешивания вагона в движении весовыми устройствами (весами) без учета погрешности измерений. Результаты подконтрольной эксплуатации указывают на необходимость развития алгоритма в части учета погрешности измерений, а также обработки данных измерений для обеспечения автоматизированного принятия решения о наличии коммерческой неисправности.

В данной статье авторы предлагают алгоритм автоматизированного контроля смещения общего центра тяжести груза в вагоне и принятия решения о наличии коммерческих неисправностей по результатам поколесного взвешивания вагона в движении весами, входящими в состав АСКОПВ или ППСС, с погрешностью, установленной при сертификации весов. Искомые значения смещений вычисляют с учетом погрешности определения величин параметров, используемых при расчете. Дополнительно для случаев, когда по результатам расчетов невозможно принять однозначное решение о наличии коммерческой неисправности, предложен алгоритм статистического моделирования нагрузок от колес тележек на рельс.

Исходные данные. Исходными данными для автоматизированного контроля смещения общего центра тяжести груза относительно поперечной и/или продольной плоскостей симметрии вагона, являются:

- результаты поколесного взвешивания вагона в движении — измерения нагрузок от колес (рис. 1);
- относительная погрешность измерения нагрузок аппаратурой весов, ε , %;
- масса тары вагона, T , кг. Значение массы тары вагона принимают согласно данным о вагоне в Автоматизированном банке данных парка грузовых

■ E-mail: t.vinokurova@vnias.ru (Т. А. Винокурова)

вагонов ОАО «РЖД» (АБДПВ РЖД) [5]. При отсутствии сведений о вагоне в АБДПВ РЖД значение принимают по данным о массе тары вагона, указанной в натурном листе поезда (ТГНЛ) согласно [6].

Алгоритм обработки исходных данных. По результатам поколесного взвешивания вагона определим разность нагрузок от тележек вагона ΔQ_T , разность нагрузок по сторонам вагона ΔQ_C и массу груза в вагоне $Q_{гр.ф}$.

Для нагрузок $R1, R2$, кг, соответственно от первой, второй тележек имеем

$$R1 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad R2 = P_5 + P_6 + P_7 + P_8, \quad (1)$$

где P_i — нагрузки от колес, кг; для первой тележки $i = 1, 2, 3, 4$, для второй — $i = 5, 6, 7, 8$.

Нагрузки по сторонам $S1$ и $S2$, кг, определим как

$$S1 = P_1 + P_3 + P_5 + P_7, \quad S2 = P_2 + P_4 + P_6 + P_8. \quad (2)$$

Тогда, для ΔQ_T , ΔQ_C и $Q_{гр.ф}$ имеем

$$\Delta Q_T = |R1 - R2|, \quad \Delta Q_C = |S1 - S2|, \quad (3)$$

$$Q_{гр.ф} = Q_{бр} - T, \quad (4)$$

где масса брутто вагона $Q_{бр} = R1 + R2$, кг.

Для учета погрешности измерения ε введем обозначение $\alpha(x)$ — абсолютную погрешность определения значения переменной.

Для нагрузок $R1, R2, S1, S2$ согласно [7] на основании выражений (1) и (2) имеем

$$\alpha(R1) = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)\varepsilon, \quad \alpha(R2) = (P_5 + P_6 + P_7 + P_8)\varepsilon. \quad (5)$$

$$\alpha(S1) = (P_1 + P_3 + P_5 + P_7)\varepsilon, \quad \alpha(S2) = (P_2 + P_4 + P_6 + P_8)\varepsilon. \quad (6)$$

Для ΔQ_T , Q_C , $Q_{гр.ф}$ и $Q_{бр}$ на основании формул (3)–(6) получим

$$\alpha(\Delta Q_T) = \alpha(R1) + \alpha(R2), \quad \alpha(\Delta Q_C) = \alpha(S1) + \alpha(S2), \quad (7)$$

$$\alpha(Q_{гр.ф}) = \alpha(Q_{бр}) = \alpha(R1) + \alpha(R2). \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) видно, что

$$\alpha(Q_{гр.ф}) = \alpha(Q_{бр}) = \alpha(\Delta Q_C) = \alpha(\Delta Q_T). \quad (9)$$

Алгоритм контроля смещения общего центра тяжести груза в вагоне. Для контроля смещения общего центра тяжести груза относительно поперечной плоскости симметрии вагона $l_{сф}$ (далее — продольное смещение общего центра тяжести груза в вагоне) рассчитаем его фактическое значение как

$$l_{сф} = \frac{\Delta Q_T l_B}{2Q_{гр.ф}}, \text{ мм}, \quad (10)$$

где l_B — длина базы вагона, для которого в [8, 9] установлены нормативные максимально допускаемые значения продольного смещения общего центра тяжести груза в вагоне, мм.

Рис. 1. Графическое пояснение к исходным данным, определяемым аппаратурой весов ППСС или АСКОПВ:
 $P_1 \dots P_8$ — нагрузки от колес; $R1, R2$ — нагрузки от первой и второй тележек; $S1, S2$ — нагрузки по сторонам; S — расстояние от точки измерения нагрузок от колеса до продольной плоскости симметрии вагона; l_B — длина базы вагона
 Fig. 1. Graphic explanation to the baseline data determined by the scale equipment of IRPC or ATCCIS: $P_1 \dots P_8$ — loads of wheels; $R1, R2$ — loads of the first and second bogies; $S1, S2$ — side loads; S — distance from the point of the wheel loads measurement to the car symmetry longitudinal plane; l_B — bogie center distance

С учетом погрешностей выполним минимаксную оценку величины $l_{сф}$. Имеем $l_{сф} = l_{сф}^{\min} \dots l_{сф}^{\max}$, при этом с учетом разброса величин ΔQ_T и $Q_{гр.ф}$ на основании формулы (10) получим

$$l_{сф}^{\min} = \frac{\max[0, \Delta Q_T - \alpha(\Delta Q_T)]}{2[Q_{гр.ф} + \alpha(Q_{гр.ф})]} l_B, \quad (11)$$

$$l_{сф}^{\max} = \frac{\Delta Q_T + \alpha(\Delta Q_T)}{2[Q_{гр.ф} - \alpha(Q_{гр.ф})]} l_B. \quad (12)$$

Нормативные максимально допускаемые продольные смещения общего центра тяжести груза в вагоне $l_{с доп}$ установлены Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах (ТУ ЦМ-943) [8] и приложением 3 «Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах» к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [9] для фиксированных значений общей массы груза в вагоне $Q_{гр}$ (табл. 1).

Нормативное максимально допускаемое продольное смещение общего центра тяжести груза в вагоне $l_{с доп}$ для массы груза $Q_{гр}$ (если ее значение не приведено в табл. 1) определяют методом линейной интерполяции:

$$l_{с доп} = l_{c1} - \frac{l_{c1} - l_{c2}}{Q_{гр2} - Q_{гр1}} (Q_{гр} - Q_{гр1}), \quad (13)$$

где $Q_{гр1}, Q_{гр2}$ — граничные значения интервала, в котором находится $Q_{гр}$: $Q_{гр1} < Q_{гр} < Q_{гр2}$; l_{c1} и l_{c2} — табличные значения допускаемого продольного смещения, мм, соответствующие значениям $Q_{гр1}$ и $Q_{гр2}$. Вид сообщения, для которого берут значения l_{c1} и l_{c2} [8, 9]

Таблица 1
Нормативные максимально допускаемые продольные смещения
общего центра тяжести груза в вагоне [8, 9]

Table 1
Regulatory maximum allowable longitudinal displacements
of the load total center of gravity in the car [8, 9]

Общая масса груза в вагоне $Q_{гр}$, т	l_c , мм	
	ТУ ЦМ-943	Приложение 3 к СМГС: «В пути следования»
≤10,0	3000	3000
15,0	2480	2480
20,0	2230	2160
25,0	2070	1730
30,0	1970	1440
35,0	1890	1235
40,0	1840	1080
45,0	1800	960
50,0	1700	865
55,0	1330	785
60,0	860	720
62,0	690	630
67,0	300	260
70,0	110	60
>70,0	100	0

Рис. 2. Варианты отношений между значениями $l_{сф}$ и $l_{с/доп}$
Fig. 2. Options of ratio between values $l_{сф}$ and $l_{с/доп}$

из табл. 1, можно определить по данным о вагоне в ТГНЛ следующим образом: если в ТГНЛ графа «Выходная пограничная станция» по вагону заполнена, то берут значения из столбца «Приложение 3 к СМГС: „В пути следования“»; в остальных случаях из столбца «ТУ ЦМ-943».

Для величины $l_{с/доп}$ имеем диапазон значений $l_{с/доп} = l_{с/доп}^{\min} \dots l_{с/доп}^{\max}$, где $l_{с/доп}^{\min}$ и $l_{с/доп}^{\max}$ определяют по формуле (13) соответственно для массы груза

$$Q_{гр} = Q_{гр.ф} + \alpha(Q_{гр.ф}) \text{ и } Q_{гр} = Q_{гр.ф} - \alpha(Q_{гр.ф}).$$

Возможные варианты отношений между $l_{сф}$ и $l_{с/доп}$ с учетом погрешностей их определения приведены на рис. 2:

- если $l_{сф}^{\max} \leq l_{с/доп}^{\min}$ (вариант 1, см. рис. 2) и $\Delta Q_{т} + \alpha(\Delta Q_{т}) \leq \Delta Q_{т/доп}$ ($\Delta Q_{т/доп} = 10$ т), то продольное смещение общего центра тяжести груза в вагоне не превышает допускаемого, то есть коммерческая неисправность отсутствует;

- если $l_{сф}^{\min} > l_{с/доп}^{\max}$ (вариант 6, см. рис. 2) или $\Delta Q_{т} - \alpha(\Delta Q_{т}) > \Delta Q_{т/доп}$, то продольное смещение общего центра тяжести груза в вагоне превышает допускаемое, то есть требуется отцепка вагона для устранения коммерческой неисправности;

- в остальных случаях (варианты 2–5, см. рис. 2) для принятия решения о наличии продольного смещения проводят статистическое моделирование нагрузок от колес тележек на рельс по приведенному ниже алгоритму.

Для контроля смещения общего центра тяжести груза относительно продольной плоскости симметрии вагона $b_{сф}$ (далее — поперечное смещение общего центра тяжести груза в вагоне) рассчитаем его фактическое значение как

$$b_{сф} = \frac{\Delta Q_c S}{Q_{гр.ф}}, \text{ мм}, \quad (14)$$

где S — расстояние от точки измерения нагрузок от колеса до продольной плоскости симметрии вагона, мм (см. рис. 1).

С учетом погрешностей выполним минимаксную оценку величины $b_{сф}$. Имеем $b_{сф} = b_{сф}^{\min} \dots b_{сф}^{\max}$, при этом

$$b_{сф}^{\min} = \frac{\max[0, \Delta Q_c - \alpha(\Delta Q_c)]}{[Q_{гр.ф} + \alpha(Q_{гр.ф})]} S, \quad (15)$$

$$b_{сф}^{\max} = \frac{\Delta Q_c + \alpha(\Delta Q_c)}{[Q_{гр.ф} - \alpha(Q_{гр.ф})]} S. \quad (16)$$

Нормативные максимально допускаемые поперечные смещения общего центра тяжести груза в вагоне b_c установлены для некоторых значений общей массы груза в вагоне $Q_{гр}$ и высоты расположения общего центра тяжести вагона с грузом над уровнем головки рельса (УГР) $H_{цт}^{\circ}$ в [8, 9] (табл. 2).

В отличие от продольного смещения даже при точном значении $Q_{гр.ф}$ мы не можем определить точное значение поперечного смещения, так как данные о высоте общего центра тяжести вагона с грузом не содержатся ни в одном документе, сопровождающем груз в пути следования.

Обозначим через $b_{с/доп}^{H_{цт}^{\circ}}(Q_{гр})$ допускаемое поперечное смещение общего центра тяжести груза в вагоне массой $Q_{гр}$ при максимальном для этого груза по табл. 2 значении высоты общего центра тяжести вагона с грузом над УГР ($H_{цт}^{\circ, \max}$); через $b_{с/доп}^{H_{цт}^{\circ, \min}}(Q_{гр})$ —

то же при минимальном для груза $Q_{гр}$ по табл. 2 значении $H_{ит.мин}^{\circ}$.

Если значение $Q_{гр}$ не приведено в табл. 2, то значения $b_{с/доп}^{H_{макс}}(Q_{гр})$ и $b_{с/доп}^{H_{мин}}(Q_{гр})$ определим методом линейной интерполяции на интервале $(Q_{гр1}, Q_{гр2})$, в котором находится $Q_{гр}$ ($Q_{гр1} < Q_{гр} < Q_{гр2}$):

$$b_{с/доп}^{H_{макс}}(Q_{гр}) = b_{с1}^{H_{макс}} - \frac{b_{с1}^{H_{макс}} - b_{с2}^{H_{макс}}}{Q_{гр2} - Q_{гр1}}(Q_{гр} - Q_{гр1}), \quad (17)$$

$$b_{с/доп}^{H_{мин}}(Q_{гр}) = b_{с1}^{H_{мин}} - \frac{b_{с1}^{H_{мин}} - b_{с2}^{H_{мин}}}{Q_{гр2} - Q_{гр1}}(Q_{гр} - Q_{гр1}), \quad (18)$$

где $b_{с1}^{H_{макс}}$ и $b_{с2}^{H_{макс}}$ — табличные значения допускаемого поперечного смещения, соответствующие $Q_{гр1}$ и $Q_{гр2}$ при максимальных величинах $H_{ит.макс}^{\circ}$; $b_{с1}^{H_{мин}}$ и $b_{с2}^{H_{мин}}$ — то же при минимальных величинах $H_{ит.мин}^{\circ}$.

С учетом погрешности определения значения $Q_{гр.ф}$ для $b_{с/доп}$ имеем диапазон значений $b_{с/доп} = b_{с/доп}^{мин} \dots b_{с/доп}^{макс}$, где

$$b_{с/доп}^{мин} = \min \left[b_{с/доп}^{H_{макс}}(Q_{гр.ф} + \alpha(Q_{гр.ф})), b_{с/доп}^{H_{макс}}(Q_{гр.ф} - \alpha(Q_{гр.ф})) \right], \quad (19)$$

$$b_{с/доп}^{макс} = \max \left[b_{с/доп}^{H_{мин}}(Q_{гр.ф} + \alpha(Q_{гр.ф})), b_{с/доп}^{H_{мин}}(Q_{гр.ф} - \alpha(Q_{гр.ф})) \right]. \quad (20)$$

Возможные варианты отношений между $b_{сф}$ и $b_{с/доп}$ с учетом погрешностей их определения аналогичны вариантам отношений между $l_{сф}$ и $l_{с/доп}$, приведенным на рис. 2:

- если $b_{сф}^{макс} \leq b_{с/доп}^{мин}$, то поперечное смещение общего центра тяжести груза в вагоне не превышает допустимого, то есть коммерческая неисправность отсутствует;

- если $b_{сф}^{мин} > b_{с/доп}^{макс}$, то имеет место безусловное превышение допускаемого поперечного смещения общего центра тяжести груза в вагоне, то есть требуется отцепка вагона для устранения коммерческой неисправности;

- в остальных случаях для принятия решения о наличии поперечного смещения проводят статистическое моделирование нагрузок от колес тележек на рельс по приведенному ниже алгоритму.

Алгоритм статистического моделирования нагрузок от колес тележек на рельс. Положим, что вероятность отклонения истинного значения от измеренного удовлетворяет нормальному распределению с параметрами, равными для i -го колеса

$$a_i = P_i, \sigma_i = \alpha(P_i), \quad (21)$$

где a , σ — математическое ожидание и средне-квадратическое отклонение распределения соответственно.

Таблица 2

Нормативные максимально допускаемые поперечные смещения общего центра тяжести груза в вагоне [8, 9]

Table 2

Regulatory maximum allowable transversal displacements of the load total center of gravity in the car [8, 9]

Общая масса груза в вагоне $Q_{гр}$, Т	Высота общего центра тяжести вагона с грузом над УГР $H_{ит}^{\circ}$, мм	$b_{с}$, мм	$b_{с}^{H_{макс}}$, мм	$b_{с}^{H_{мин}}$, мм
$\leq 10,0$	≤ 1200	620	410	620
	1500	550		
	2000	410		
30,0	≤ 1200	550	290	550
	1500	450		
	2000	350		
	2300	290		
50,0	≤ 1200	350	200	350
	1500	280		
	2000	250		
	2300	200		
55,0	≤ 1500	220	150	220
	2000	170		
	2300	150		
67,0	≤ 1500	180	120	180
	2000	140		
	2300	120		
$> 67,0$	≤ 2300	100	100	100

Примечание. УГР — уровень головки рельса

Проводим ряд испытаний методом Монте-Карло. В одном испытании случайным образом разыгрываются нагрузки от восьми колес ξ_i , нормально распределенные с параметрами (21). Для продольного смещения моделируют величину $\zeta_T = l_{сф} - l_{с/доп}$, для поперечного — $\zeta_{с1} = b_{сф} - b_{с/доп}^{H_{макс}}$ и $\zeta_{с2} = b_{сф} - b_{с/доп}^{H_{мин}}$. Смещения груза и допускаемые значения смещения рассчитывают по формулам (1)–(4), (10), (13), (14), (17) и (18), где в качестве P_i выступают значения ξ_i . Испытания прекращают, когда при пересчете дисперсий $D\zeta_T$, $D\zeta_{с1}$, $D\zeta_{с2}$ после N -го испытания выполнено условие

$$\delta < \max \left[3\sqrt{D\zeta_T/N}, 3\sqrt{D\zeta_{с1}/N}, 3\sqrt{D\zeta_{с2}/N} \right] [10].$$

Вероятности вычисляют как

$$\eta_T = N \{ l_{сф} - l_{с/доп} > 0 \} / N, \quad (22)$$

$$\eta_{с1} = N \{ b_{сф} - b_{с/доп}^{H_{макс}} > 0 \} / N, \quad (23)$$

$$\eta_{с2} = N \{ b_{сф} - b_{с/доп}^{H_{мин}} > 0 \} / N. \quad (24)$$

Блок-схема алгоритма статистического моделирования нагрузок от колес тележек на рельс приведена на рис. 3.

Примеры расчета. Рассмотренные выше алгоритмы для проверки их работоспособности были реализованы в программе на языке Fortran. В табл. 3 приведены

Рис. 3. Блок-схема алгоритма статистического моделирования нагрузок от колес тележек на рельс
 Fig. 3. Flow diagram of algorithm of static modeling of loads of the bogie wheels on the rail

Таблица 3

Примеры расчета продольного смещения общего центра тяжести груза в вагоне

Table 3

Examples of calculation of longitudinal displacement of the load total center of gravity in the car

$Q_{бр}$, кг	$R1$, кг	$R2$, кг	$Q_{гр}$, кг	$\alpha(Q_{гр.ф})$, кг	$l_{сф}^{min}$, мм	$l_{сф}^{max}$, мм	$l_{с/доп}^{min}$, мм	$l_{с/доп}^{max}$, мм	Вариант	η_1 , %	$l_{сф}$, мм	$l_{с/доп}$, мм
92 000	43 000	49 000	70 000	1840	250	497	109	227	6	—	371	110
92 000	44 000	48 000	70 000	1840	130	371	109	227	5	98,97	247	110
92 000	45 000	47 000	70 000	1840	10	244	109	227	3	49,25	124	110
92 000	45 200	46 800	70 000	1840	0	218	109	227	2	28,65	99	110
92 000	45 500	46 500	70 000	1840	0	180	109	227	2	7,80	62	110
92 000	45 750	46 250	70 000	1840	0	148	109	227	2	1,60	31	110
43 000	23 150	19 850	21 000	860	483	893	2170	2226	1	—	680	2198
88 350	42 525	45 825	66 350	1767	97	339	229	489	2	1,31	215	351
79 000	38 950	40 050	57 000	1580	0	209	993	1291	1	—	83	1142

примеры расчета по предложенным алгоритмам для случая контроля продольного смещения общего центра тяжести груза в вагоне, в том числе в сравнении с расчетами без учета погрешностей.

Как видно из табл. 3, при варианте 1 смещение груза как при расчете с учетом погрешностей, так и без их учета находится в допустимых пределах. Аналогично в обоих случаях для варианта 6 наблюдается выход за допустимые пределы смещений. Для строк в табл. 3 со значениями вероятностей 1,60 и 1,31 % (вариант 2, см. рис. 2) с уровнем доверия 0,95 (правило двух сигм) смещение груза можно считать находящимся в допустимых пределах (вероятность менее 2,5 %), то есть коммерческая неисправность отсутствует. Для строки со значением вероятности 98,97 % (вариант 5, см. рис. 2) при уровне доверия 0,95 (вероятность более 97,5 %) требуется отцепка вагона для устранения коммерческой неисправности. В остальных случаях (в табл. 3 строки со значениями 7,8, 28,65 % вариант 2 и 49,25 % вариант 3, см. рис. 2 (вероятность от 2,5 до 97,5 %)) работнику ПКО необходимо проанализировать сведения из перевозочных документов и видеоизображение вагона, полученное техническими средствами АСКОПВ и ППСС, для принятия решения о необходимости натурного осмотра вагона в парке прибытия для установления наличия коммерческой неисправности.

Из выделенной жирным шрифтом строки в табл. 3 видно, что если без учета погрешностей рассчитанное значение фактического продольного смещения (99 мм) не превосходило нормативного максимально допустимого (110 мм), что указывает на отсутствие коммерческой неисправности, то с учетом погрешностей этот случай относится к варианту 2 с вероятностью превышения нормативного значения по результатам статистического моделирования 28,65 %,

то есть требует принятия решения о наличии коммерческой неисправности уполномоченным работником станции.

Выводы. Предложенный алгоритм позволяет осуществлять в пути следования автоматизированный контроль продольного и поперечного смещений общего центра тяжести груза в вагоне и обеспечивает принятие решения работником ПКО о наличии превышения соответствующих нормативных максимально допускаемых значений. Алгоритм рекомендован для реализации в системах, предназначенных для автоматизированного коммерческого осмотра поездов и вагонов.

С целью создания цифровой интеллектуальной технологии коммерческого осмотра необходимо разработать подобные алгоритмы для всех видов коммерческих неисправностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.04.2018 г. № 769/р «Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга „РЖД“ на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года» (Белая книга) [Электронный ресурс]. URL: http://cipi.samgtu.ru/sites/cipi.samgtu.ru/files/belaya_kniga.pdf (дата обращения: 22.05.2019 г.).
2. Устройства и технология автоматизированного выявления коммерческих неисправностей вагонов в поездах / Т. А. Винокурова [и др.] // Труды ВНИИАС. 2007. Вып. 7. С. 234–236.
3. Винокурова Т. А., Цыпин Н. З. Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов // Железнодорожный транспорт. 2006. № 3. С. 57.
4. Хазанский А. В. Автоматизированные системы контроля подвижного состава // Труды второй научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2013» [Электронный ресурс]. М., 2013. С. 41–47. URL: <http://www.vniias.ru/science-and-technologies/konferentsiya-isuzht/trudy-konferentsii> (дата обращения: 25.04.2019 г.).
5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.03.2013 г. № 748р «О комплексе организационно-технических мероприятий для реализации

автоматизированной системы управления парком грузовых вагонов ОАО «РЖД». Методические положения по ведению автоматизированного банка данных парка грузовых вагонов ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. URL: <https://jd-doc.ru/2013/mart-2013/4276-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-28-03-2013-n-748r> (дата обращения: 22.05.2019 г.).

6. Инструкция по составлению натурального листа поезда: утв. на 66-м заседании Совета по железнодорожному транспорту СНГ от 18–19 мая 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71728996/> (дата обращения: 22.05.2019 г.).

7. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченкова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. М.: Высшая школа, 1994. 554 с.

8. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах: утв. МПС России от 27.05.2003 г. № ЦМ-943 [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/tekhnicheskie-usloviya-razmeshcheniya-i-krepleniya-gruzov-v/> (дата обращения: 22.05.2019 г.).

9. Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к СМГС с изменениями на 01.06.2017 г. [Электронный

ресурс]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6969 (дата обращения: 25.04.2019 г.).

10. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. 312 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ВИНОКУРОВА Татьяна Алексеевна,
канд. техн. наук, начальник отделения, АО «НИИАС»

ГАЛУШКИН Андрей Борисович,
заместитель начальника отделения — начальник отдела, АО «НИИАС»

РАХМИЛЕВИЧ Анатолий Алексеевич,
заместитель начальника отдела, АО «НИИАС»

Статья поступила в редакцию 29.05.2019 г., принята к публикации 12.08.2019 г.

Algorithm of the automated control of displacement of the load overall center of gravity of railroad car for railway transportation

T. A. VINOKUROVA, A. B. GALUSHKIN, A. A. RAKHMILEVICH

Joint Stock Company “Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications” (JSC “NIIAS”), Moscow, 109029, Russia

Abstract. The algorithm is proposed for the automated control of displacement of the load overall center of gravity relative to transversal and/or longitudinal planes of symmetry of the car during railway transportation and decision-making about availability of commercial damages upon results of the car wheel weighting under way by the weighting equipment included in the set of equipment of the systems of the automated commercial visual inspection of trains and cars. The baseline data for calculations includes results of the car wheel weighting and relative error of measurement of the loads with scale set during certification, and the car container weight accepted according to the data of the car in the Automated database of the freight car fleet of JSC “RZD”. Algorithm of the automated control of each type of displacement includes calculation of the actual displacement of the overall load center of gravity in the car, minimax assessment of the calculated value with regard to the error of determination of the parameters values used for calculation, and the conditions of decision-making about availability of commercial fault. Algorithm of static modeling of the bogie wheels loads on the rail is presented, in which the probabilities of excess of the regulatory maximum allowable value by the actual displacement are determined by the Monte Carlo method (loads of eight wheels are randomly broken out with assumption that distribution of their values is normal). Results of static modeling along with the analysis of the data from transportation documents and video image of the car with the freight allow the operator of the train and car visual commercial inspection station to make decision about necessity of the car field inspection for establishing the fact of commercial fault. Examples of calculation according to the proposed algorithm are provided for the case of control of displacement of the load overall center of gravity relative to the transversal plane of the car symmetry, including comparison with calculations without taking into account the errors. Proposed algorithm can be used in the automated train and car commercial inspection system under way during railway transportation as the element

of the digital intelligent technology of commercial inspection being developed in the JSC “RZD”.

Keywords: rail transport; transportation of loads; automated the control of arrangement and fastening of loads; algorithm

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-5-266-273>

REFERENCES

1. *Ob utverzhdenii strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya kholdinga “RZD” na period do 2025 goda i na perspektivu do 2030 goda (Belaya kniga)*. Rasporyazheniye OAO “RZD” ot 17.04.2018 g. № 769/r [Strategy of scientific and technological development of the RZD holding through 2025 and up to 2030 (White book). Approved by the decree of the JSC “RZD” dated 17.04.2018. no. 769/p]. URL: http://cipi.samgtu.ru/sites/cipi.samgtu.ru/files/belaya_kniga.pdf (retrieved on 22.05.2019) (in Russ.).
2. Vinokurova T.A., Dvoretzkiy M.Yu., Ivanov N.A., Ul'yanin V.N. *Ustroystva i tekhnologiya avtomatizirovannogo vyavleniya kommercheskikh neispravnostey vagonov v poyezdakh* [Devices and technology of the automated detection of the train cars commercial faults]. Proc. of VNIAS, 2007, no. 7, pp. 234–236.
3. Vinokurova T.A., Tsypin N.Z. *Avtomatizirovannaya sistema kommercheskogo osmotra poyezdov i vagonov* [Automated system of trains and cars commercial inspection]. Zheleznodorozhnyy transport, 2006, no. 3, p. 57.
4. Khazansky A.V. *Avtomatizirovannyye sistemy kontrolya podvizhnogo sostava* [Automated rolling stock control systems]. Trudy vtoroy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Intellectual'nyye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte ISUZht-2013” [Proc. of the second scientific and technical conference “Intelligent control systems of the railway transport ICSRT-2013”]. Moscow, 2013, pp. 41–47. URL: <http://www.vnias.ru/science-and-technologies/konferentsiya-isuzht/trudy-konferentsii> (retrieved on 25.04.2019).

5. О комплексе организационно-технических мероприятий для реализации автоматизированной системы управления парком грузовых вагонов ОАО «РЖД». Методические положения по ведению автоматизированного банка данных парка грузовых вагонов ОАО «РЖД». Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.03.2013 г. № 748р [About a complex of organizational and technical measures for implementation of the automated control system of park of freight cars of JSC «RZD». Methodical provisions of maintaining the automated database of the freight cars fleet of the JSC «RZD». Approved by the decree of the JSC «RZD» dated 28.03.2013 no. 748p]. URL: <https://jd-doc.ru/2013/mart-2013/4276-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-28-03-2013-n-748r> (retrieved on 22.05.2019) (in Russ.).

6. Инструкция по составлению натурального списка поездов. Утв. на 66-м заседании Совета по железнодорожному транспорту СНГ от 18–19 мая 2017 г. [Instruction for making the train consist. Approved at the 66th meeting of the Railway Transport Council of the Commonwealth member states on 18–19.05.2017]. URL: <https://base.garant.ru/71728996/> (retrieved on 22.05.2019) (in Russ.).

7. Amosov A. A., Dubinsky Yu. A., Kopchenova N. V. *Vychislitel'nyye metody dlya inzhenerov* [Methods of calculations for engineers]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1994, 554 p.

8. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Утв. МПС России от 27.05.2003 г. № ТСМ-943 [Specifications of placement and fixation of cargo in the cars and containers. Approved by the Ministry of Transport of Russia dated 27.05.2003 no. ZM-943]. URL: <https://legalacts.ru/doc/tekhnicheskie-usloviya-razmeshcheniya-i-krepleniya-gruzov-v/> (retrieved on 22.05.2019) (in Russ.).

■ E-mail: t.vinokurova@vniizht.ru (Т. А. Винокурова)

9. Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к СМГС с изменениями на 01.06.2017 г. [Specifications of cargo placement and fixation. Attachment 3 to the Agreement on International Goods Transport by Rail as amended on 01.06.2017]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6969 (retrieved on 25.04.2019) (in Russ.).

10. Sobol' I. M. *Chislennyye metody Monte-Karlo* [Monte Carlo numerical methods]. Moscow, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury izd-va «Nauka», 1973, 312 p.

ABOUT THE AUTHORS

Tat'yana A. VINOKUROVA,
Cand Sci. (Eng.), Head of Department,
Joint Stock Company «Research and Design Institute
for Information Technology, Signalling and Telecommunications»
(JSC «NIIAS»)

Andrey B. GALUSHKIN,
Deputy Head of Department — Head of Section,
Joint Stock Company «Research and Design Institute
for Information Technology, Signalling and Telecommunications»
(JSC «NIIAS»)

Anatoliy A. RAKHMELEVICH,
Deputy Head of Section, Joint Stock Company «Research
and Design Institute for Information Technology,
Signalling and Telecommunications» (JSC «NIIAS»)

Received 29.05.2019

Accepted 12.08.2019

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Экспериментальная оценка взаимодействия экипажа и пути при скоростном и высокоскоростном движении: коллективная монография / под ред. А. М. Бржезовского. М.: РАС, 2019. 152 с.

Авторы: к.т.н. А. М. Бржезовский — редактор (предисловие, 1.1, 1.2, 1.4, 2–4, 5.1, заключение); к.т.н. Д. Н. Аршинцев (3.1–3.3, 4); инж. О. Г. Бржезовская (2.1); д.т.н. проф. Б. Э. Глюзберг (1.3; 5.2); инж. В. Г. Донец (5.2); к.т.н. А. В. Заверталюк (1.2); к.т.н. Д. Е. Кирюшин (3.2); к.т.н. М. В. Козлов (2.2, 3.4); к.т.н. И. Н. Максимов (5.1); инж. А. Г. Парчевский (4.1); к.т.н. И. В. Смелянский (3.1–3.3, 4); д.т.н. проф. Ю. С. Ромен (1.2, 1.4); к.т.н. Ю. С. Тихов (4.1); к.т.н. М. И. Титаренко (5.2); инж. С. В. Толмачев (3.1–3.3, 4, 5.1)

В монографии приведен обзор особенностей конструкции экипажной части скоростного и высокоскоростного пассажирского подвижного состава железных дорог шириной колеи 1520 мм.

Обобщены результаты комплексных ходовых и по воздействию на путь и на стрелочные переводы испытаний

различных типов пассажирского подвижного состава, проведенные с целью условий обращения на линиях смешанного пассажирского и грузового движения.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

Научное сопровождение развития высокоскоростных магистралей в России: коллективная монография / под ред. А. Б. Косарева, О. Н. Назарова. М.: РАС, 2018. 119 с.

Рассмотрены вопросы научно-технического сопровождения работ, связанных с созданием, испытаниями, вводом в эксплуатацию систем инфраструктуры и высокоскоростного подвижного состава отечественных железных дорог.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книг обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.