Исследование влияния климатических факторов на работоспособность пневмооболочек, закрепляющих груз при перевозке железнодорожным транспортом

Т. А. ВИНУКUROVA, А. Б. ГАЛУШКИН

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

Аннотация. Приводятся результаты расчетного исследования влияния внешних климатических факторов (температуры окружающего воздуха и атмосферного давления) при перевозке груза железнодорожным транспортом на работоспособность пневмооболочки как средства для закрепления тарно-штучных и пакетированных грузов в вагонах и контейнерах. Даны рекомендации, позволяющие на основе оценки внешних климатических факторов при установке пневмооболочки и в процессе перевозки выбрать для закрепления груза пневмооболочку с техническими параметрами, обеспечивающими безопасность и сохранность груза при перевозке.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; перевозка грузов; средства крепления грузов; климатические факторы

Введение. В последние годы в России для крепления тарно-штучных и пакетированных грузов при их перевозке железнодорожным транспортом все больше применяются пневмооболочки (воздушные пакеты — аэрбэги). Этому способствуют, с одной стороны, наличие соответствующей нормативно-правовой базы как для внутригосударственных, так и для международных железнодорожных грузовых перевозок [1, 2, 3], с другой — эксплуатационные свойства пневмооболочек, позволяющие быстро и эффективно закрепить груз, заполнив зазоры между грузами, погруженными в вагон (контейнер), или грузом и стенкой транспортного средства.

Для приведения в рабочее состояние пневмооболочка помещается в заполняемый зазор и накачивается воздухом до рабочего давления (избыточное давление над атмосферным). От момента установки до момента снятия пневмооболочка должна сохранять свою работоспособность, а именно способность обеспечивать герметичность и выдерживать максимальную нагрузку в рабочем состоянии. Сохранение пневмооболочкой работоспособности в первую очередь определяется необходимостью поддержания избыточного давления внутри пневмооболочки в некотором диапазоне. Давление внутри пневмооболочки для сохранения ее работоспособности не должно превышать максималь-

ное избыточное давление (давление взрыва), чтобы не допустить разрушения пневмооболочки, и не должно упасть до нуля, чтобы не допустить ее «схлопывания».

Как любое устройство, принцип действия которого основан на использовании избыточного давления, работоспособность пневмооболочки зависит от воздействия на нее внешних климатических факторов — изменений внешних температурных условий (температуры окружающего воздуха) и атмосферного давления. При размещении пневмооболочки в крытом вагоне или универсальном контейнере температура окружающего воздуха определяется температурой наружного воздуха и температурой дополнительного нагрева воздуха внутри вагона, контейнера, вызванного нагревом солнцем стен и крыши вагона, контейнера, а при размещении пневмооболочки в открытом транспортном средстве (полувагон, специальный контейнер) — температурой наружного воздуха. Оценить температуру наружного воздуха по маршруту перевозки груза железнодорожным транспортом можно, например, с использованием [4, 5], температуру дополнительного нагрева воздуха внутри вагона, контейнера можно принять согласно [6].

В статье приводятся результаты расчетного исследования влияния внешних климатических факторов при перевозке груза железнодорожным транспортом на работоспособность пневмооболочки как средства крепления. Даны рекомендации, позволяющие на основе оценки внешних климатических факторов при установке пневмооболочки и в процессе перевозки выбрать для закрепления груза пневмооболочку с техническими параметрами (рабочим давлением и давлением взрыва), обеспечивающими безопасность и сохранность груза при перевозке.

Расчетные формулы. Имеем p — избыточное давление в пневмооболочке, равное

$$p = P - P_a, \quad (1)$$

где P — абсолютное давление в оболочке; P_a — атмосферное давление.

Таблица 1

Расчетные значения изменения давления $p_2 - p_1$, бар (%), в пневмооболочке при изменении температуры от начальной до 55 °С при постоянном атмосферном давлении

Table 1

Estimated values of pressure changes $p_2 - p_1$, bar (%), in pneumoshell with a temperature change from initial to 55 °C at constant atmospheric pressure

Начальная температура t_1 , °C	Рабочее давление, бар					
	0,20	0,25	0,30	0,40	0,55	0,69
0	0,24 (120 %)	0,25 (100 %)	0,26 (87 %)	0,28 (70 %)	0,31 (56 %)	0,34 (49 %)
5	0,22 (110 %)	0,22 (88 %)	0,23 (77 %)	0,25 (63 %)	0,28 (51 %)	0,30 (43 %)
10	0,19 (95 %)	0,20 (80 %)	0,21 (70 %)	0,22 (55 %)	0,25 (45 %)	0,27 (39 %)
15	0,17 (85 %)	0,17 (68 %)	0,18 (60 %)	0,19 (48 %)	0,22 (40 %)	0,23 (33 %)
20	0,14 (70 %)	0,15 (60 %)	0,16 (53 %)	0,17 (43 %)	0,19 (35 %)	0,20 (29 %)

Так как согласно [7] воздух при нормальных условиях можно рассматривать как идеальный газ, а также с учетом того, что в установленном для пневмооболочек в [2] диапазоне рабочих температур отличие рассчитанных значений давления по уравнению Менделеева—Клапейрона для идеального газа и по уравнению Ван-дер-Ваальса для воздуха [8], по оценке авторов, не превышает 1 %, для дальнейших расчетов воспользуемся уравнением Менделеева—Клапейрона:

$$PV = nRT, \quad (2)$$

где V — объем, м³; n — количество молей газа в объеме; R — универсальная газовая постоянная (8,31446), Дж/(моль · К); T — абсолютная температура, К.

Согласно требованиям к герметичности пневмооболочки в [2] предположим, что объем пневмооболочки и количество молей после накачивания постоянны, т. е. возможными утечками пренебрегаем. Тогда (2) можно записать в виде

$$P = \varphi T, \quad (3)$$

где $\varphi = nR/V$ — постоянная для данной оболочки величина после накачивания.

Обозначим индексом 1 величины на момент накачивания оболочки, а индексом 2 — на момент оценки состояния оболочки при перевозке. Тогда по (1) имеем

$$p_1 = P_1 - P_{a,1}, \quad (4)$$

$$p_2 = P_2 - P_{a,2}. \quad (5)$$

Из (3)–(5) следует

$$P_{a,1} + p_1 = \varphi T_1, \quad (6)$$

$$P_{a,2} + p_2 = \varphi T_2. \quad (7)$$

На основе начальных значений определим φ из (6) и (7):

$$\varphi = \frac{P_{a,1} + p_1}{T_1} = \frac{P_{a,2} + p_2}{T_2}. \quad (8)$$

Тогда

$$p_2 = (P_{a,1} + p_1) \frac{T_2}{T_1} - P_{a,2}. \quad (9)$$

Результаты расчетных исследований. Рассмотрим, как ведет себя избыточное давление внутри пневмооболочки при изменении температуры и постоянном атмосферном давлении, т. е. при условии, что $P_{a,1} = P_{a,2}$. Преобразовав формулу (9), получим

$$p_2 = (P_{a,1} + p_1) \frac{T_2}{T_1} - P_{a,1}. \quad (10)$$

Произведем расчет изменения давления $p_2 - p_1$ в пневмооболочке при изменении температуры окружающего воздуха от начальной температуры, при которой пневмооболочка была накачана (далее — начальная температура), до температуры 55 и –60 °С при постоянном атмосферном давлении. Значения температур выбраны согласно требованиям, установленным в [2] к температуре окружающей среды при воздействии внешних климатических факторов на пневмооболочку. Здесь и далее значения начальных температур приняты исходя из реальных условий погрузки груза в вагон, контейнер. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что во всех случаях при постоянном атмосферном давлении имеет место существенное увеличение давления внутри пневмооболочки по сравнению с рабочим — от 29 до 120 % (2,2 раза). В связи с этим выбор типа пневмооболочки, одной из характеристик которой является максимальное избыточное давление, следует осуществлять на основе анализа возможных температурных условий перевозки.

Данные табл. 2 указывают на существенное снижение давления внутри пневмооболочки с понижением

Таблица 2

Расчетные значения изменения давления $p_2 - p_1$, бар, в пневмооболочке
при изменении температуры от начальной до -60°C при постоянном атмосферном давлении

Table 2

Estimated values of pressure changes $p_2 - p_1$, bar, in pneumoshell
with a temperature change from initial to -60°C at constant atmospheric pressure

Начальная температура t_1 , $^\circ\text{C}$	Рабочее давление, бар					
	0,20	0,25	0,30	0,40	0,55	0,69
-10	-0,23	-0,24	-0,25	-0,27	-0,29	-0,32
-5	-0,25	-0,26	-0,27	-0,29	-0,32	-0,35
0	-0,26	-0,27	-0,29	-0,31	-0,34	-0,37
5	-0,28	-0,29	-0,30	-0,33	-0,36	-0,39
10	-0,30	-0,31	-0,32	-0,35	-0,38	-0,42
15	-0,31	-0,33	-0,34	-0,36	-0,40	-0,44

Таблица 3

Расчетные значения изменения давления $p_2 - p_1$, бар, в пневмооболочке
при изменении температуры от начальной до -45°C при постоянном атмосферном давлении

Table 3

Estimated values of pressure changes $p_2 - p_1$, bar, in pneumoshell
with a temperature change from initial to -45°C at constant atmospheric pressure

Начальная температура t_1 , $^\circ\text{C}$	Рабочее давление, бар					
	0,20	0,25	0,30	0,40	0,55	0,69
-10	-0,16	-0,17	-0,17	-0,19	-0,21	-0,22
-5	-0,18	-0,19	-0,19	-0,21	-0,23	-0,25
0	-0,20	-0,21	-0,21	-0,23	-0,26	-0,28
5	-0,22	-0,22	-0,23	-0,25	-0,28	-0,30
10	-0,23	-0,24	-0,25	-0,27	-0,30	-0,33
15	-0,25	-0,26	-0,27	-0,29	-0,32	-0,35

температуры окружающего воздуха по сравнению с начальной. При этом чем выше начальная температура, тем больше падение давления внутри пневмооболочки. Отдельно отметим, что при рабочем давлении 0,20 бар при любой начальной температуре падение давления внутри пневмооболочки при температуре -60°C превышает рабочее давление, т. е. пневмооболочка «схлопывается» и теряет свое работоспособное состояние. Потери работоспособности («схлопывания») при температуре -60°C не происходит при рабочем давлении 0,25 бар при начальной температуре ниже -5°C , а при рабочем давлении 0,30 бар — при начальной температуре ниже 5°C . При рабочем давлении 0,40 бар и выше «схлопывания» пневмооболочки при температуре -60°C не происходит ни при каких начальных температурах. С повышением граничного значения температуры, например с -60 до -45°C (табл. 3), свою работоспособность при всех начальных температурах сохраняют пневмооболочки с рабочим давлением 0,30 бар и выше. Увеличивается диапазон

начальных температур для пневмооболочек с рабочим давлением 0,25 и 0,20 бар. Исходя из сказанного, в большинстве случаев, когда перевозки по территории России осуществляются при температурах до -45°C при постоянном атмосферном давлении, рекомендуются к использованию пневмооболочки с рабочим давлением 0,30 бар и выше.

Покажем общую зависимость избыточного давления в пневмооболочке от температуры и атмосферного давления на примерах, в которых ниже 84,0 кПа (0,84 бар, или 630 мм рт.ст.) и выше 106,7 кПа (1,07 бар, или 800 мм рт.ст.) значения атмосферного давления выбраны согласно требованиям, установленным в [2]. С учетом данных ранее рекомендаций мы будем рассматривать пневмооболочки с рабочим давлением 0,30 бар и выше.

Пример 1. Выполним расчеты по формуле (9) при следующих начальных условиях: $P_{a,1} = 1,01$ бар, $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $p_1 = 0,30$ бар и $p_1 = 0,40$ бар. Полученные зависимости избыточного давления в пневмооболочке от тем-

Рис. 1. Избыточное давление в пневмооболочке в зависимости от температуры для разных значений атмосферного давления при начальных условиях $P_{a,1} = 1,01$ бар; $t_1 = 10$ °C; $p_1 = 0,30$ бар (сплошная линия на графиках) и $p_1 = 0,40$ бар (штриховая линия на графиках):

◆ $P_{a,2} = 0,84$ бар ● $P_{a,2} = 1,01$ бар
 ▲ $P_{a,2} = 0,97$ бар ■ $P_{a,2} = 1,07$ бар

Fig. 1. Excessive pressure in the pneumoshell depending on temperature for different atmospheric pressure values under the initial conditions $P_{a,1} = 1.01$ bar; $t_1 = 10$ °C; $p_1 = 0.30$ bar (solid line in the graphs) and $p_1 = 0.40$ bar (dashed line in the graphs):

◆ $P_{a,2} = 0.84$ bar ● $P_{a,2} = 1.01$ bar
 ▲ $P_{a,2} = 0.97$ bar ■ $P_{a,2} = 1.07$ bar

пературы для разных значений атмосферного давления при $p_1 = 0,30$ бар и при $p_1 = 0,40$ бар приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что при увеличении величины рабочего давления пневмооболочки p_1 зависимости избыточного давления от внешних факторов сдвигаются по оси ординат вверх и меняют свой наклон.

В табл. 4 приведены данные, которые показывают, как изменяется избыточное давление в пневмооболочке от внешних условий по зависимостям, приведенным на рис. 1. Из таблицы видно, что при изменении рабочего давления пневмооболочки с 0,30 на 0,40 бар при неизменных других начальных параметрах характер зависимости избыточного давления от внешних факторов сохраняется:

- избыточное давление в пневмооболочке растет при постоянной температуре с падением атмосферного давления (точки 1 и 1'), при постоянном атмосферном давлении и росте температуры (точки 4 и 4'), а также при росте температуры и падении атмосферного давления (точки 5 и 5');

- избыточное давление в пневмооболочке падает при постоянной температуре и росте атмосферного давления (точки 2 и 2'), при постоянном атмосферном давлении с уменьшением температуры (точки 3 и 3'), а также при уменьшении температуры и росте атмосферного давления (точки 6 и 6');

- при увеличении температуры и росте атмосферного давления, а также при уменьшении температуры и падении атмосферного давления поведение избыточного давления зависит от соотношения температур (начальной и в конечной точке), а также от соотношения значений атмосферного давления (начального и в конечной точке). Так, в нашем примере при увеличении температуры с 10 до 20 °C и атмосферного давления с 1,01 до 1,07 бар (точки 7 и 7') избыточное давление в

пневмооболочке упало; при увеличении температуры с 10 до 35 °C и атмосферного давления с 1,01 до 1,07 бар (точки 8 и 8') избыточное давление в пневмооболочке возросло. При уменьшении температуры с 10 до –35 °C и атмосферного давления с 1,01 до 0,84 бар (точки 9 и 9') избыточное давление в пневмооболочке упало; при уменьшении температуры с 10 до –10 °C и атмосферного давления с 1,01 до 0,84 бар (точки 10 и 10') избыточное давление в пневмооболочке возросло.

При сохранении характера зависимости меняется наклон кривых и численные значения рассчитанных параметров. Пневмооболочка с рабочим давлением $p_1 = 0,30$ бар при начальных условиях $P_{a,1} = 1,01$ бар, $t_1 = 10$ °C сохраняет свое рабочее состояние при всех значениях внешних климатических факторов, за исключением областей, для которых t_2 ниже –42 °C при атмосферном давлении $P_{a,2} = 1,07$ бар и t_2 ниже –55 °C при атмосферном давлении $P_{a,2} = 1,01$ бар. При этих значениях внешних климатических факторов происходит «схлопывание» пневмооболочки. Пневмооболочка с рабочим давлением $p_1 = 0,40$ бар при начальных условиях $P_{a,1} = 1,01$ бар, $t_1 = 10$ °C сохраняет свое рабочее состояние при всех значениях внешних климатических факторов. Исходя из анализа полученных результатов расчета, можно рекомендовать применение пневмооболочек с рабочим давлением 0,30 бар в случаях, когда перевозка груза железнодорожным транспортом не производится из областей низкого в области высокого давления с температурами ниже чем –45 °C. В указанных случаях для гарантированного обеспечения работоспособности пневмооболочки, а значит сохранности перевозимого груза, следует применять пневмооболочки с рабочим давлением 0,40 бар и выше.

Максимальное расчетное значение избыточного давления внутри пневмооболочки для всех рассмот-

Таблица 4

Изменение избыточного давления в пневмооболочке при изменении внешних условий

Table 4

Change in excess pressure in the pneumoshell when changing external conditions

Точка на графике	t_2	Изменение температуры	$P_{a,2}$	Изменение атмосферного давления	p_2	Изменение избыточного давления в пневмооболочке
0	10	—	1,01	—	0,30	—
0'	10	—	1,01	—	0,40	—
1	10	—	0,84	↓	0,47	↑
1'	10	—	0,84	↓	0,57	↑
2	10	—	1,07	↑	0,24	↓
2'	10	—	1,07	↑	0,34	↓
3	–10	↓	1,01	—	0,21	↓
3'	–10	↓	1,01	—	0,30	↓
4	40	↑	1,01	—	0,44	↑
4'	40	↑	1,01	—	0,55	↑
5	40	↑	0,97	↓	0,48	↑
5'	40	↑	0,97	↓	0,59	↑
6	–10	↓	1,07	↑	0,15	↓
6'	–10	↓	1,07	↑	0,24	↓
7	20	↑	1,07	↑	0,29	↓
7'	20	↑	1,07	↑	0,39	↓
8	35	↑	1,07	↑	0,36	↑
8'	35	↑	1,07	↑	0,46	↑
9	–35	↓	0,84	↓	0,26	↓
9'	–35	↓	0,84	↓	0,35	↓
10	–10	↓	0,84	↓	0,38	↑
10'	–10	↓	0,84	↓	0,47	↑

Обозначения: номер точки без штриха — данные при $p_1=0,30$ бар; номер точки со штрихом — данные при $p_1=0,40$ бар; «—» — изменение отсутствует; «↑» — увеличение значения; «↓» — уменьшение значения

ренных внешних климатических факторов не превысило 0,80 бар. Это значение и рекомендуем использовать при оценке применимости пневмооболочки по технической характеристике «давление взрыва».

Пример 2. Выполним расчеты по формуле (9) при следующих начальных условиях: $P_{a,1}=0,97$ бар, $t_1=10$ °C, $p_1=0,30$ бар и $p_1=0,40$ бар. Полученные зависимости избыточного давления в пневмооболочке от температуры для разных значений атмосферного давления при $p_1=0,30$ бар и $p_1=0,40$ бар приведены на рис. 2.

Из рис. 1 и 2 видно, что при уменьшении начального атмосферного давления (соответственно $P_{a,1}=1,01$ бар и $P_{a,1}=0,97$ бар) при неизменных других начальных параметрах зависимости избыточного давления от внешних факторов сдвигаются по оси ординат вниз и меняют наклон. При этом характер зависимостей сохраняется.

Как результат, пневмооболочка с рабочим давлением $p_1=0,30$ бар в примере 2 сохраняет свое ра-

бочее состояние уже при всех значениях внешних климатических факторов, за исключением областей, для которых t_2 ниже -35 °C при атмосферном давлении $P_{a,2}=1,07$ бар и t_2 ниже -48 °C при атмосферном давлении $P_{a,2}=1,01$ бар. По сравнению с примером 1 мы видим, что граничные температуры, при которых происходит «схлопывание» пневмооболочки, повысились соответственно с -42 до -35 °C и с -55 до -48 °C. Если в примере 1 пневмооболочка с рабочим давлением $p_1=0,40$ бар сохраняет свое рабочее состояние при всех значениях внешних климатических факторов, то в примере 2 — за исключением областей, для которых t_2 ниже -52 °C при атмосферном давлении $P_{a,2}=1,07$ бар.

При этом, как и в примере 1, мы рекомендуем применение пневмооболочек с рабочим давлением 0,30 бар в случаях, когда перевозка груза железнодорожным транспортом не производится из областей

Рис. 2. Избыточное давление в пневмооболочке в зависимости от температуры для разных значений атмосферного давления при начальных условиях $P_{a,1}=0,97$ бар; $t_1=10$ °С; $p_1=0,30$ бар (сплошная линия на графиках) и $p_1=0,40$ бар (штриховая линия на графиках):

◆ $P_{a,2}=0,84$ бар ● $P_{a,2}=1,01$ бар
▲ $P_{a,2}=0,97$ бар ■ $P_{a,2}=1,07$ бар

Fig. 2. Excessive pressure in the pneumoshell depending on temperature for different atmospheric pressure values under the initial conditions $P_{a,1}=0.97$ bar; $t_1=10$ °С; $p_1=0.30$ bar (solid line in the graphs) and $p_1=0.40$ bar (dashed line in the graphs):

◆ $P_{a,2}=0.84$ bar ● $P_{a,2}=1.01$ bar
▲ $P_{a,2}=0.97$ bar ■ $P_{a,2}=1.07$ bar

Рис. 3. Избыточное давление в пневмооболочке в зависимости от температуры для разных значений атмосферного давления при начальных условиях $P_{a,1}=0,97$ бар; $t_1=15$ °С; $p_1=0,30$ бар (сплошная линия на графиках) и $p_1=0,40$ бар (штриховая линия на графиках):

◆ $P_{a,2}=0,84$ бар ● $P_{a,2}=1,01$ бар
▲ $P_{a,2}=0,97$ бар ■ $P_{a,2}=1,07$ бар

Fig. 3. Excessive pressure in the pneumoshell depending on temperature for different atmospheric pressure values under the initial conditions $P_{a,1}=0.97$ bar; $t_1=15$ °С; $p_1=0.30$ bar (solid line in the graphs) and $p_1=0.40$ bar (dashed line in the graphs):

◆ $P_{a,2}=0.84$ bar ● $P_{a,2}=1.01$ bar
▲ $P_{a,2}=0.97$ bar ■ $P_{a,2}=1.07$ bar

низкого в области высокого давления, но уже с температурами ниже чем -35 °С. В указанных случаях для гарантированного обеспечения работоспособности пневмооболочки, а значит сохранности перевозимого груза, следует применять пневмооболочки с рабочим давлением 0,40 бар и выше.

Максимальное расчетное значение избыточного давления внутри пневмооболочки для всех рассмотренных внешних климатических факторов, как и в примере 1, не превысило 0,80 бар.

Пример 3. Выполним расчеты по формуле (9) при следующих начальных условиях: $P_{a,1}=0,97$ бар, $t_1=15$ °С, $p_1=0,30$ бар и $p_1=0,40$ бар, т. е. по сравнению с примером 2 увеличим начальную температуру, при которой накачивается пневмооболочка. Полученные зависимости избыточного давления в пневмооболочке от температуры для разных значений атмосферного

давления при $p_1=0,30$ бар и $p_1=0,40$ бар приведены на рис. 3.

Из рис. 2 и 3 видно, что при повышении начальной температуры, при которой происходит накачивание пневмооболочки, с 10 до 15 °С при неизменных других начальных параметрах зависимости избыточного давления от внешних факторов сдвигаются по оси ординат вниз и меняют наклон. При этом характер зависимостей сохраняется.

Как результат, пневмооболочка с рабочим давлением $p_1=0,30$ бар в примере 3 сохраняет свое рабочее состояние уже при всех значениях внешних климатических факторов, за исключением областей, для которых t_2 ниже -30 °С при атмосферном давлении $P_{a,2}=1,07$ бар и t_2 ниже -44 °С при атмосферном давлении $P_{a,2}=1,01$ бар. По сравнению с примером 2 мы видим, что граничные температуры, при которых

происходит «схлопывание» пневмооболочки, повысились соответственно с -35 до -30 °С и с -48 до -44 °С. Если в примере 2 пневмооболочка с рабочим давлением $p_1 = 0,40$ бар сохраняет свое рабочее состояние при всех значениях внешних климатических факторов, за исключением областей, для которых t_2 ниже -52 °С при атмосферном давлении $P_{a,2} = 1,07$ бар, то в примере 3 — за исключением областей, для которых t_2 ниже -48 °С при том же атмосферном давлении.

При этом, как и в примере 2, мы рекомендуем применение пневмооболочек с рабочим давлением 0,30 бар в случаях, когда перевозка груза железнодорожным транспортом не производится из областей низкого в области высокого давления, но уже с температурами ниже чем -30 °С. В указанных случаях для гарантированного обеспечения работоспособности пневмооболочки, а значит сохранности перевозимого груза, следует применять пневмооболочки с рабочим давлением 0,40 бар и выше.

Максимальное расчетное значение избыточного давления внутри пневмооболочки для всех рассмотренных внешних климатических факторов, как и в примерах 1 и 2, не превысило 0,80 бар.

Выводы. Проведенные расчетные исследования подтверждают наличие зависимости давления внутри пневмооболочки от воздействия на нее внешних климатических факторов — изменений внешних температурных условий (температуры окружающего воздуха) и атмосферного давления по сравнению с начальными, при которых пневмооболочка была приведена в рабочее состояние при закреплении груза в вагоне, контейнере.

По результатам проведенных расчетных исследований рекомендуем применение пневмооболочек с рабочим давлением 0,30 бар в случаях, когда перевозка груза железнодорожным транспортом не производится из областей низкого в области высокого давления с температурами ниже чем -30 °С. В указанных случаях для гарантированного обеспечения работоспособности пневмооболочки, а значит безопасности и сохранности перевозимого груза, следует применять пневмооболочки с рабочим давлением 0,40 бар и выше. С учетом полученных максимальных расчетных значений избыточного давления внутри пневмооболочки давление взрыва применяемой пневмооболочки должно быть не менее 0,80 бар.

Для цитирования: Винокурова Т. А., Галушкин А. Б. Исследование влияния климатических факторов на работоспособность пневмооболочек, закрепляющих груз при перевозке железнодорожным транспортом // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 2. С. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-2-66-73>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические условия размещения и крепления грузов (Приложение 3 к СМГС) (с изменениями на 1 июля 2017 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71052450> (дата обращения: 25.10. 2019 г.).
2. Технические требования к средствам крепления грузов в вагонах и контейнерах с использованием воздушных пакетов (аэрбэгов) при перевозках железнодорожным транспортом [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 18.11.2019 № 2560/р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564161243> (дата обращения: 27.10.2019 г.).
3. Порядок применения воздушных пакетов (аэрбэгов) взамен деревянных распорных элементов и конструкций при размещении и креплении грузов в универсальных крытых вагонах и крупнотоннажных контейнерах [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 18.11.2019 № 2560/р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564161243> (дата обращения: 30.10. 2019 г.).
4. Давыдов Д. О. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом // Вестник транспорта Поволжья. 2019. № 2. С. 51–59.
5. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом — T_EXT_TRANSA»: св-во о гос. регистр. программы для ЭВМ / Д. О. Давыдов. № 2019660714 от 12.08.2019.
6. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 29 дек. 1969 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения: 30.10. 2019 г.).
7. Воздух // Физическая энциклопедия / под ред. А. М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 1. С. 301.
8. Гельман Э. Б. Уравнение состояния и критические параметры веществ // Физические величины: справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 315–329.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ВИНОКУРОВА Татьяна Алексеевна,

канд. техн. наук, начальник отделения грузовой и коммерческой работы, АО «НИИАС»

ГАЛУШКИН Андрей Борисович,

заместитель начальника отделения грузовой и коммерческой работы — начальник отдела, АО «НИИАС»

Статья поступила в редакцию 24.12.2019 г., актуализирована 25.02.2020 г., принята к публикации 01.03.2020 г.

Study of climatic factors influence on the performance of pneumoshells securing freight during transportation by rail

T. A. VINOKUROVA, A. B. GALUSHKIN

Joint Stock Company "Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation" (JSC "NIIAS"), Moscow, 109029, Russia

Abstract. The article provides the results of a computational study of the influence of external climatic factors (ambient temperature and atmospheric pressure) during the transportation of freights by rail on the performance of the pneumoshell as a means to secure unit and packaged freights in cars and containers. The preservation of the operability of the pneumoshells from the moment of installation to the moment of removal is determined by the need to maintain an excess pressure inside the pneumoshells not higher than the explosion pressure to prevent destruction of the pneumoshells and not less than zero to prevent its "collapse". The calculation formulas for the study were obtained according to the Mendeleev—Clapeyron equation. The examples show the dependence of the excess pressure in the pneumoshell on temperature at constant atmospheric pressure for pneumoshells with operating pressures of 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.55 and 0.69 bar when the ambient temperature changes from the initial at which the pneumoshell was pumped up to its limit values established by the current regulatory documents and possible when transporting through the territory of Russia. The examples also show the general dependence of the overpressure in the pneumoshell on temperature and atmospheric pressure for pneumoshells with operating pressures of 0.30 and 0.40 bar. Based on the results of computational studies, it is recommended to use pneumoshells with a working pressure of 0.30 bar in cases where freight is not transported by rail from low areas in the high-pressure region with temperatures lower than -30°C , in these cases — the use of pneumoshells with working pressure of 0.40 bar and above. Taking into account the obtained maximum calculated values of the overpressure inside the pneumoshell, the pressure of the "explosion" of the applied pneumoshell should be at least 0.80 bar.

Keywords: railway transport; freight transportation; means of freight securing; climatic factors

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-2-66-73>

REFERENCES

1. *Technical conditions for the placement and securing of goods* (Appendix 3 to SMGS) (as amended on July 1, 2017). URL: <https://base.garant.ru/71052450> (retrieved on 25.10.2019) (in Russ.).
2. *Technical requirements for means of securing freights in cars and containers using air bags for transportation by rail*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated 18.11.2019 No. 2560/r. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564161243> (retrieved on 27.10.2019) (in Russ.).
3. *Procedure for the use of air bags instead of wooden spacers and structures when placing and securing freights in univer-*

sal covered cars and large containers. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated 18.11.2019 No. 2560/r. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564161243> (retrieved on 30.10.2019) (in Russ.).

4. Davydov D.O. *Algoritm opredeleniya raschetnoy temperatury naruzhnogo vozdukh dlya ustanovleniya usloviy perevozok skoroporyashchegosya gruzha zheleznodorozhnym transportom* [Algorithm for determining the estimated outdoor temperature to establish conditions for the transport of perishable goods by rail]. *Vestnik Transporta Povolzh'ya*, 2019, no. 2, pp. 51–59.

5. Davydov D.O. *Algoritm opredeleniya raschetnoy temperatury naruzhnogo vozdukh dlya ustanovleniya usloviy perevozok skoroporyashchegosya gruzha zheleznodorozhnym transportom — T_EXT_TRANSA*. Sv-vo o gos. registr. programmy dlya EVM № 2019660714 ot 12.08.2019 [Algorithm for determining the estimated outdoor temperature for establishing conditions for the transportation of perishable goods by rail — T_EXT_TRANSA. Certificate of state registration of the computer program No. 2019660714 dated 12.08.2019] (in Russ.).

6. GOST 15150–69. *Machines, devices and other technical products. Versions for different climatic regions. Categories, conditions of operation, storage and transportation regarding the impact of climatic environmental factors*. Approved by the Decree of the State Committee of the USSR on standards of December 29, 1969. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320> (retrieved on 30.10.2019) (in Russ.).

7. Prokhorov A. M. *Vozdukh*. Fizicheskaya entsiklopediya [Air. Physical Encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya [Soviet Encyclopedia], 1988, Vol. 1, p. 301.

8. Gel'man E. B., Grigor'ev I. S., Meylikhov E. Z. *Urvnenie sostoyaniya i kriticheskie parametry veshchestv* [Equation of state and critical parameters of substances]. *Fizicheskie velichiny. Spravochnik* [Physical quantities. Reference book]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991, pp. 315–329.

ABOUT THE AUTHORS

Tat'yana A. VINOKUROVA,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Division of freight and commercial service, JSC "NIIAS"

Andrey B. GALUSHKIN,
Deputy Head of the Division of freight and commercial service — Head of the Department, JSC "NIIAS"

Received 24.12.2019

Revised 25.02.2020

Accepted 01.03.2020

■ E-mail: t.vinokurova@vniias.ru (T. A. Vinokurova)

For citation: Vinokurova T. A., Galushkin A. B. Study of climatic factors influence on the performance of pneumoshells securing freight during transportation by rail. *Vestnik of the Railway Research Institute*. 2020. 79 (2): 66–73 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-2-66-73>.