



Н. Л. Михальчук¹, П. Ю. Иванов², Е. Ю. Дульский², А. И. Романовский²

¹Дирекции тяги (по развитию) – филиала ОАО «Российские железные дороги», г. Москва, Российская Федерация

²Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС), г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 08 октября 2018 г.

КОНТУР ЛИКВИДАЦИИ СВЕРХЗАРЯДНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В статье описывается проблема перезарядки тормозов грузовых поездов. Представлена статистика нарушений, связанных с перезарядкой тормозов поезда с разным завышением давления в уравнительном резервуаре крана машиниста. Для устранения перезарядок предлагается создать контур ликвидации сверхзарядного давления внутри воздухораспределителя усл. № 483 путем установки сбрасывающего клапана на рабочую камеру. В работе представлен его проект и описан принцип действия, определены и расставлены силы, действующие на клапан мягкости, предлагаются техническое решение по увеличению эффективности работы клапана, методика расчета геометрических параметров, необходимых для модернизации воздухораспределителя, а также расчет жесткости новой пружины клапана мягкости. Рассматривается процесс срабатывания тормозов при ликвидации сверхзарядного давления. Данное устройство ликвидации сверхзарядного давления рабочей камеры позволит повысить управляемость тормозов, снизить человеческий фактор, исключая остановки и простои поездов по причине перезарядки пневматических автоматических тормозов. Модернизация воздухораспределителя усл. № 483 позволит увеличить среднюю скорость движения по спуску на 3–5 км/ч, повысить безопасность движения поездов за счет снижения вероятности истощения тормозов и уменьшения продольно-динамических реакций в поезде, вызывающих образование ползунов на хвостовых вагонах, а также вероятности разрыва поезда. Кроме того, это будет способствовать росту участковой скорости на 0,7–1 км/ч за счет повышения эффективности отпуска, повышению управляемости тормозной системой, облегчению пути реализации и снятию ограничений при достижении стратегических целей ОАО «РЖД» по повышению массы поездов.

Ключевые слова: воздухораспределитель, ликвидация сверхзарядного давления, тормоза, автотормоза, контур ликвидации.

N. L. Mikhal'chuk¹, P. Yu. Ivanov², E. Yu. Dul'skii², A. I. Romanovskii²

¹The Development directorate of traction, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russian Federation

²Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: October 8, 2018

THE CIRCUIT OF ELIMINATION OF SUPERCHARGED PRESSURE OF THE AIR DISTRIBUTOR OF THE RAILWAY ROLLING STOCK

Abstract. The article describes the problem of the recharging of the brakes of freight trains. It presents the statistics of failures related to the recharging of train brakes with different pressure increases in the equalizing tank of the driver's brake valve tank reservoir. To eliminate recharging, it is proposed to create a circuit for the elimination of supercharged pressure inside the distributor with ref. No. 483 by installing a dump valve on the process chamber. The article presents its project and principle of operation. It determines and locates the forces acting on the softness valve. A technical solution is proposed to increase the efficiency of the valve. The authors propose a method for calculating the geometrical parameters required for the modernization of the air distributor, as well as the calculation of the rigidity of the new valve spring softness. They consider the process of actuation of the brakes during the elimination of the supercharged pressure. The proposed device for the elimination of the working chamber supercharged pressure will increase the controllability of the brakes, reduce the human factor, eliminating train stops and downtime due to reloading of pneumatic automatic brakes. Modernization of the air distributor with ref. No. 483 will increase the average speed on the descent by 3–5 km/h, improve the safety of train traffic by reducing the likelihood of brake exhaustion and reducing longitudinal dynamic reactions in the train, causing the formation of tail car burns, as well as the likelihood of the train breakaway. It will also lead to an increase in the service speed by 0.7–1 km/h due to an upgrading of the release action efficiency, an increase in the braking system controllability, easier implementation and the removal of restrictions when strategical objectives of JSC "Russian Railways" to increase the weight of the trains are reached.

Keywords: air distributor, elimination of supercharged pressure, brakes, automatic brakes, elimination circuit.

Введение

Тормоза подвижного состава являются одним из главных средств обеспечения безопасности движения поездов. Они оказывают непосредственное влияние на уровень пропускной и про-

возной способности железных дорог. Необходимо учитывать, что приоритетными направлениями компании ОАО «РЖД», является повышение грузооборота, скорости движения поездов при соблюдении безопасности движения, при этом но-



вый подвижной состав оснащен приборами, спроектированными десятки лет назад для технических реалий, существенно отличающихся от современных [1].

Существует проблема самопроизвольных срабатываний тормозов поезда [2]. Одна из причин самопроизвольного срабатывания тормозов грузового поезда – несовершенство управляемости автотормозов, которое заключается в отсутствии защиты тормозной системы от перезарядки [2–3]. Поэтому локомотивные бригады часто допускают нарушения в управлении автотормозами, влекущие за собой необходимость остановки поезда. На рис. 1 представлено количество нарушений, связанных с перезарядкой тормозов поезда с разным завышением давления в уравнительном резервуаре крана машиниста. Перезарядка – это завышение давления в рабочей камере ВР воздухораспределителя до уровня, превышающего зарядное давление [4].

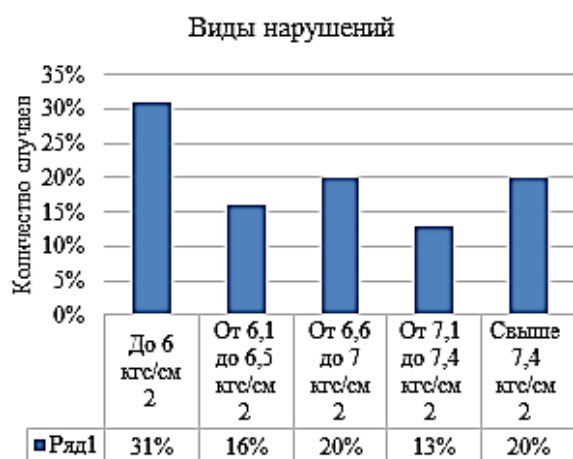


Рис. 1. Статистические данные перезарядки по величине давления, %

Для устранения перезарядок необходимо создать контур ликвидации сверхзарядного давления внутри воздухораспределителя [5]. Первое техническое решение – проект сбрасывающего клапана воздухораспределителя. Изготовление клапана предлагается осуществить из цельнокатаных труб диаметром 10,2 мм. На корпус, выполненный из трубки стандартного размера, на резьбовое соединение предлагается закрепить стандартную заглушку, в центре которой необходимо осуществить центрирующие засверливание для обеспечения упора с фиксированным центром вращения для упорной шайбы регулировочной пружины, прижимающей клапан нужным усилием.

Проект решения технической задачи по исключению завышения давления в рабочей камере над пределом в 6 кгс/см² представлен на рис. 2.

Клапан состоит из тела клапана 1, прижатого к седлу 2, притертого к внутренней поверхности латуневой трубки стандартного диаметра 10,2 мм с проходным сечением 5,2 мм, вкрученной в корпус клапана 3, выполненный из стальной трубки стандартного диаметра 13,5 мм с проходным сечением 9,1 мм. В корпусе 3 имеются отверстия для сообщения с атмосферой 4. Клапан 1 прижимается к седлу 3 при помощи пружины 5, которая с одной стороны упирается в клапан, а с другой – в центрирующую упорную шайбу 6, обеспечивающую беспрепятственное вращение регулировочного стакана 7, сжимающего пружину 5. Для фиксации регулировочного стакана используется контргайка 8, накрученная на его резьбу.

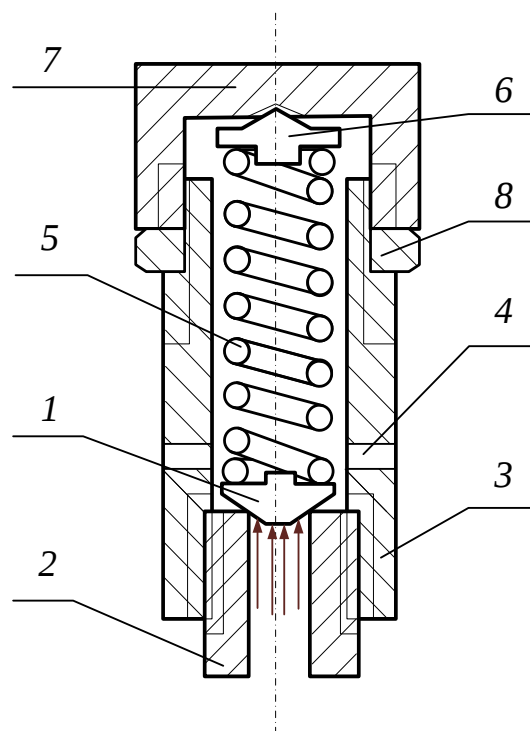


Рис. 2. Общий вид клапана ликвидации сверхзарядного давления: 1 – тело клапана; 2 – седло; 3 – корпус клапана; 4 – отверстия для сообщения с атмосферой; 5 – пружина; 6 – упорная шайба; 7 – регулировочный стакан; 8 – контргайка

Принцип действия клапана: регулировочный стакан накручивается на корпус сжимая пружину до усилия, равного создаваемому клапаном при действии на него давления 5,5–6 кгс/см² (в зависимости от регулировки нажатия пружины) со стороны рабочей камеры. При нормальном зарядном давлении клапан находится в притирке с седлом, т. е. в закрытом состоянии. В момент, когда давление, действующее на клапан, снизу достигает значения 5,5–6 кгс/см² преодолевается усилие пружины и она сжимается, клапан выходит из

притирки с седлом, вследствие чего возникает кольцевой зазор, через которое избыточное давление рабочей камеры попадает в корпус клапана, из которого через атмосферные отверстия воздух уходит в атмосферу.

Необходимо произвести расчет усилия пружины сбрасывающего клапана. Усилие пружины при ее предварительном сжатии должно удерживать клапан в притирке при действии на него давления со стороны рабочей камеры 6 кгс/см^2 :

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{Ркл}}. \quad (1)$$

где $F_{\text{Ркл}}$ – сила давления на клапан со стороны рабочей камеры.

Вычислим силу давления на клапан со стороны рабочей камеры $F_{\text{Ркл}}$. Для этого осуществим расстановку сил давления воздуха на различные части клапана в закрытом состоянии. На рис. 3 изображен клапан в двух проекциях с обозначением участков, на которых действие давления имеет различную величину.

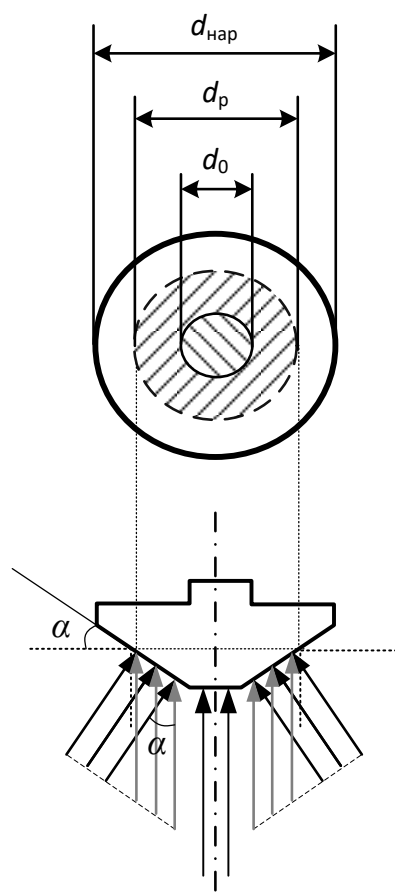


Рис. 3. Схема расстановки сил давления, действующих на клапан в различных зонах

Клапан и его седло являются телами вращения, по этой причине области действия давления имеют форму круга или тора. Область тороидаль-

ной формы, ограниченная внешним $d_{\text{нар}}$ и внутренним $d_{\text{р}}$ диаметром, не участвует в создании усилия открывающего клапан. Диаметр $d_{\text{р}}$ трубки, на внутреннем сечении которой находится седло, ограничивает рабочую область клапана на которую действует давление.

Рабочая область клапана не однородна по углу наклона к нормали от оси вращения тела и делится на тороид, имеющий в объемном представлении тела форму усеченного конуса. Он образует угол наклона равный α и площадку диаметром d_0 , ее угол наклона к нормали от оси вращения равен нулю [5–7]. На рис. 3 представлена расстановка сил давления, действующих на разные области, согласно основным законам газодинамики [8].

Таким образом, определим силу, действующую на клапан в результате давления со стороны рабочей камеры воздухораспределителя. Рабочую площадь клапана вычисляют по формуле

$$S_{\text{кл}} = \frac{d_{\text{р}}^2}{4} \pi. \quad (2)$$

Силу давления, действующую на клапан, вычисляют по формуле

$$F_{\text{Ркл}} = S_{\text{кл}} \cdot P_{\text{ср}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ср}}$ – срывное давление клапана равное 6 кгс/см^2 и больше.

Для расчета сил в ньютонах, необходимо использовать в качестве единиц измерения силы давления МПа.

Из расчета по формуле (2) известно, что необходима пружина, способная создать усилие в $12,73 \text{ Н}$.

Для осуществления модернизации более подробно разберем конструкцию и работу клапана мягкости усл. № 483 воздухораспределителя.

Клапан мягкости (рис. 4) предназначен для сообщения золотниковой камеры и магистральной камеры с целью ликвидации сверхзарядного давления в режиме зарядки и в поездном режиме. Сообщение золотниковой и магистральной камеры контролируются телом клапана, которое резиновым уплотнителем прижимается к седлу, находящемуся на втулке.

Клапан прижимается благодаря силе, создаваемой диафрагмой, на которую в начале процесса торможения распределителя действует давление с канала дополнительной разрядки камеры. Диафрагма прижимается к телу клапана зажимом, а по внешним краям зажимается между втулкой и крышкой, так же клапан прижимается к седлу благодаря действию прижимной пружины. Для центровки пружины на прижиме используется шпилька 9 и контргайка 10.

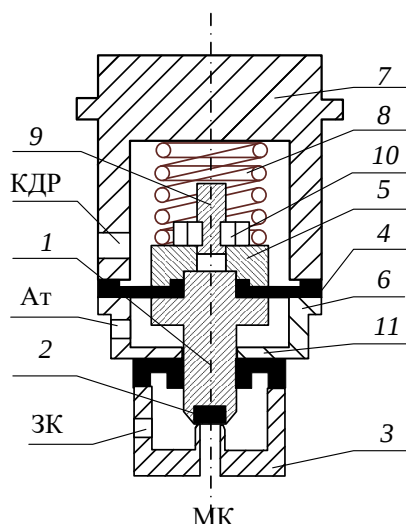


Рис. 4. Конструкция клапана мягкости воздухораспределителя усл. № 483:

1 – тело клапана; 2 – резиновый уплотнитель;
3 – втулка; 4 – диафрагма; 5 – тело клапана
зажимного; 6 – втулка; 7 – крышка; 8 – прижимная
пружина; 9 – шпилька; 10 – контргайка;
11 – атмосферная втулка

Расстановка сил, действующих на клапан мягкости

Расстановка сил, действующих на клапан представлена на рис. 5. Сила давления газа всегда прикладывается перпендикулярно к плоскости тела, либо перпендикулярно к касательной линии. На клапан при закрытии действуют силы со стороны диафрагмы, возникшие вследствие наложения распределенной силы давления над диафрагмой $P_{КДР}$ и силы прижатия пружины $F_{пр}$.

Открывающее воздействие на клапан оказывают только вертикальные составляющие, действующие непосредственно на само тело клапана. На закрытый клапан действуют силы давления со стороны золотниковой и магистральной камер. В данном случае больший интерес представляют силы, действующие на клапан для его открытия. Все они сосредоточены в его нижней части.

Составлена схема расположения сил (рис. 6). Приведем распределенную нагрузку к точечно приложенным силам для получения расчетной схемы (рис. 7).

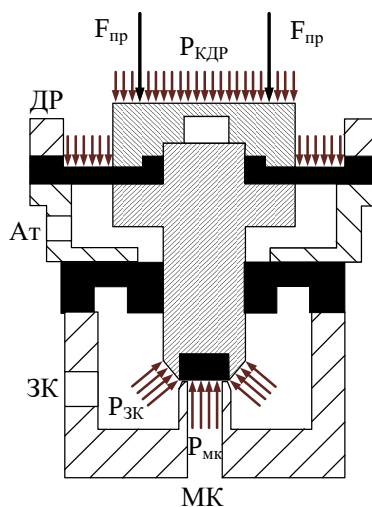


Рис. 5. Силы действующие на клапан мягкости

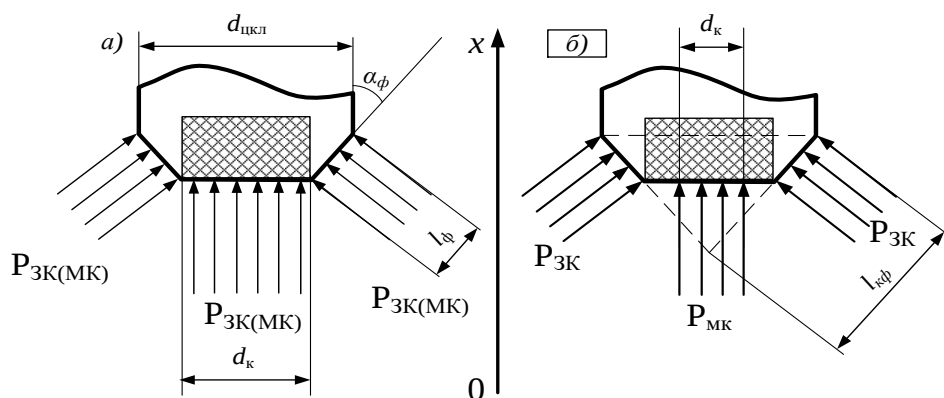


Рис. 6. Расстановка открывающих сил, действующих на клапан мягкости

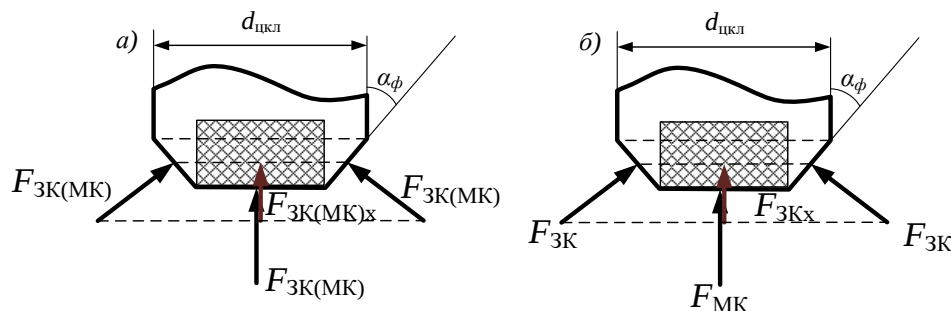


Рис. 7. Расчетная схема приложения открывающих сил

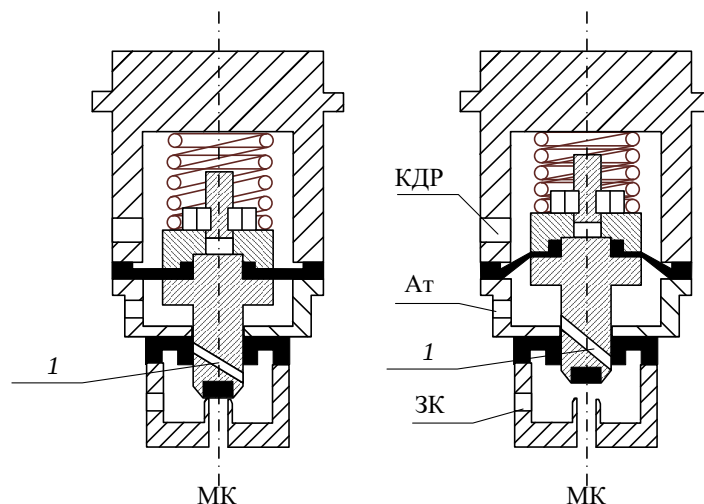


Рис. 8. Клапан мягкости после модернизации в открытом и закрытом состоянии:

1 – дросселирующее отверстие диаметром 0,7 мм, Ат – атмосфера, ЗК – золотниковая камера, КДР – камера дополнительной разрядки

Предложение технического решения по увеличению эффективности работы клапана

Анализируя данные схемы, можно сделать вывод о том, что клапан поднимается тем выше, чем больше давление создается под ним, т. е. в магистральной и золотниковой камерах. Максимальный ход клапана 5 мм, после чего он упирается в элементы корпуса. Тогда техническим решением повышения эффективности клапана можно сделать открытие калиброванного отверстия при подъеме клапана до упора.

Как показано, данное калиброванное отверстие может соединять золотниковую камеру с атмосферой (рис. 8).

Так как золотниковая камера заряжается сжатым воздухом через калиброванное отверстие диаметром 0,7 мм в плунжере, будет логичным сделать дросселирующее отверстие такого же диаметра. Необходимо осуществить диагональное сверление клапана таким образом, чтобы в закрытом и открытом состояниях при давлении в золотниковой камере отверстие клапана не сообщало золотниковую камеру с атмосферой, но при до-

стижении давления в 6 кгс/см² и более сообщало их [9–11].

Расчет геометрических параметров, необходимых для модернизации

Для сверления дросселирующего отверстия необходимо знать точку входа сверла и точку выхода (рис. 9), их вычисляют по формуле

$$d_{\text{ку}} = \frac{2 \cdot b_{\text{уп}}}{d_{\text{тк}}} \cdot \sqrt{d_{\text{тк}}^2 + (b_{\text{уп}} + b_{\text{вт}})^2}, \quad (3)$$

где $b_{\text{уп}}$ – толщина уплотнительной манжеты (4 мм);

$b_{\text{вт}}$ – толщина стенки втулки (мм);

$d_{\text{тк}}$ – диаметр тела клапана (мм).

Определим расстояние от центра клапана до низа

$$l_{\text{отв}} = l_c + l_{\text{уп}} + b_{\text{ккх}} - \Delta X_{\text{max}} - \frac{b_{\text{ккх}}}{2}, \quad (4)$$

где l_c – длина свободного стержня от уплотнителей до седла в закрытом состоянии клапана;

$l_{\text{уп}}$ – общая суммарная толщина уплотнителя и втулки;

ΔX_{max} – максимальный ход клапана;

$b_{\text{ккх}}$ – ширина дросселирующего отверстия (канала клапана) по оси вращения клапана.

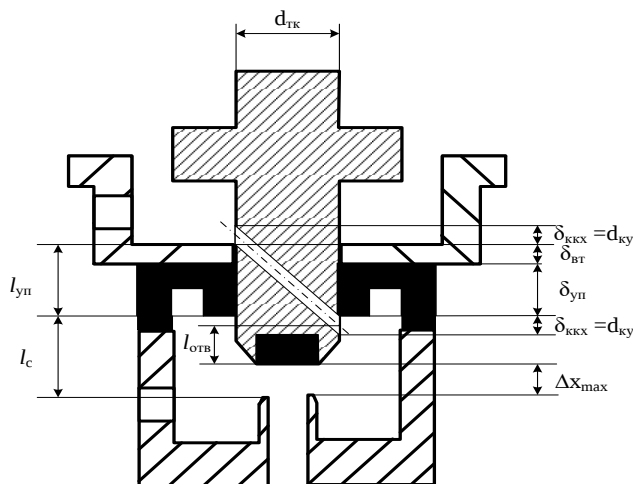


Рис. 9. Размеры элементов клапана мягкости необходимые для расчета дросселирующего отверстия

Расчет жесткости новой пружины клапана мягкости

По условию клапан должен подниматься на максимальную величину совершая максимальное перемещение ΔX_{max} при давлении 6 кгс/см² и больше $P_{max} \geq 6$ кгс/см², т. е. для вычисления силы необходимой для этого можно воспользоваться следующей формулой, вычисляемой по формуле (5)

$$F_{max} \geq S_{кл} \cdot P_{max}, \quad (5)$$

где $S_{кл}$ – площадь под клапаном, на которую оказывают действие силы.

Учитывая данные условия с использованием закона Гука составим систему уравнений, вычисляем из уравнения (5)

$$\begin{cases} P_{min} S_{кл} = K_{пр} \\ P_{max} \cdot S_{кл} = (\Delta X_{max} + \Delta X_{min}) K_{пр} \end{cases}, \quad (6)$$

где $K_{пр}$ – коэффициент жесткости пружины; ΔX_{min} – начальное сжатие пружины для создание минимального нажатия необходимого для удержания клапана на месте при давлении P_{min} , 3,5 кгс/см² в ЗК и МК в золотниковой и магистральной камерах.

Выразим $K_{пр}$, вычисляем из уравнения (6)

$$K_{пр} = \frac{P_{min} S_{кл}}{\Delta X_{min}}, \quad (7)$$

Выразим ΔX_{min} , вычисляем из уравнения (7)

$$\Delta X_{min} = \frac{P_{max} S_{кл}}{K_{пр}} - \Delta X_{max}, \quad (8)$$

Затем выполним подстановку, вычисляем из уравнения (8)

$$\Delta X_{min} = \frac{P_{max} S_{кл} \Delta X_{min}}{P_{min} S_{кл}} - \Delta X_{max}, \quad (9)$$

Упростим, вычисляем из уравнения (9)

$$\Delta X_{min} = \frac{\Delta X_{max}}{\left(\frac{P_{max}}{P_{min}} - 1\right)}, \quad (10)$$

Вычислим коэффициент жесткости пружины, по уравнению (11)

$$K_{пр} = \frac{S_{кл}(P_{max} - P_{min})}{\Delta X_{max}}, \quad (11)$$

Закключение

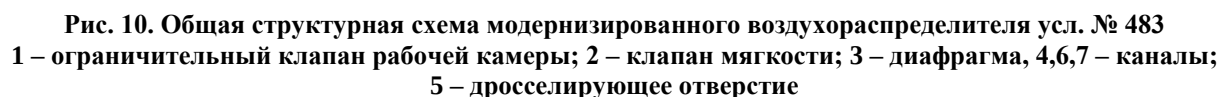
Таким образом, устройство защиты воздухораспределителя от перезарядки, должно защитить его от самопроизвольного срабатывания при повышении давления выше 6 – 6,4 кгс/см².

Рассмотрим процесс срабатывания тормозов при ликвидации сверхзарядного давления по схеме, представленной на рис. 10. Срабатывание тормозов происходит в том случае, если в рабочей камере давление выше, чем в золотниковой камере.

Разница давлений приводит к перемещению главного поршня в сторону тормозного клапана, который открывается и сообщает тормозной цилиндр с запасным резервуаром. В случае завышения давления в рабочей камере до 7 кгс/см² с последующим снижением давления в тормозной магистрали (рис. 10), давление в золотниковой камере резко снижается и воздух из рабочей камеры по каналу 4 и дросселирующему отверстию 5 не успевает переместиться из рабочей в золотниковую камеру, вследствие чего главный поршень перемещается и приводит в действие процесс торможения. Однако, если давление в рабочей камере не превышает 6,4 кгс/см², стабилизатор справится с ликвидацией сверхзарядного давления темпом мягкости [12–14].

Таким образом, необходимо не допустить превышения давления в рабочей камере 6,4 кгс/см². Решение данной технической задачи возможно осуществить предложенным решением, установив в рабочую камеру сбрасывающий клапан 2 отрегулированный на величину давления 6,4 кгс/см².

Важно заметить, что в магистральную часть воздухораспределителя усл. № 483 заложен меха-



Для этого необходимо осуществить модернизацию клапана мягкости. Таким образом, нужно усилить эффективность работы клапана мягкости при повышении давления в ТМ выше $6,4 \text{ кгс/см}^2$. Решение задачи облегчается тем, что клапан имеет равновесную пару – пружина и пневматический привод, т. е. передающийся через клапан объем сжатого воздуха равен. Это значит, что при сжатии пружины на величину, соответствующую $6,4$

Предложенное устройство ликвидации сверхзарядного давления рабочей камеры позволит повысить управляемость тормозов, снизить человеческий фактор, исключая остановки и простои поездов по причине перезарядки пневматических автоматических тормозов [11, 18].

После модернизации воздухораспределителя и крана машиниста, машинист сможет завышать давление в тормозной магистрали без перезарядки. При завышении давления над зарядным на 0,1 МПа процесс отпуска тормозов ускоряется с 40 с до 18 с, а заряда рабочей камеры с 80 с до 20 с., т. е. время выдержки между торможениями либо от отпуска до перехода в тягу сократится с 2 мин. до 30 с.

1. Афонин Г. С. Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава / Г. С. Афонин, В. Н. Барщенков, Н. В. Кондратьев. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
2. Иванов П. Ю. Исследование причин самопроизвольного срабатывания автотормозов грузовых поездов / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, А. М. Худонов, Е. Ю. Дульский // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы восьмой международной научно-практической конференции 2017 г. Иркутск: В 2 т. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2017. – 864 с. – С. 399-404.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 12.12.2017 № 2580р «О вводе в действие Регламента взаимодействия работников, связанных с движением поездов, с работниками локомотивных бригад при возникновении аварийных и нестандартных ситуаций на



путях общего пользования инфраструктуры ОАО «РЖД» (URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=709942&rnd=299965.1273311152&dst=100007&fld=134#0>, дата обращения: 27.09.2018)

4. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава: протокол заседания Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 6-7 мая 2014 г. № 60 (URL: <http://base.garant.ru/57410845/>, дата обращения: 27.09.2018).

5. Иванов П. Ю. Исследование работы стабилизатора крана машиниста усл. № 395 / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский // Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. – 217 с. – С. 63-69.

6. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава / В.Р. Асадченко // М.: Маршрут, 2006. – 392 с.

7. Иванов П. Ю. Влияние климатических условий на плотность тормозной сети поезда в эксплуатации / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский // Актуальные вопросы и перспективы развития современной науки: материалы II Межд. науч.-практ. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Санкт-Петербург). – 2017. – № 12-2 (34). – С. 48-57.

8. Механика жидкости и газа / Ю. Г. Ярошенко [и др.]; под общ. ред. В. С. Швыдкий. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 464 с.

9. Иванов П. Ю., Мануилов Н.И., Гарев Н.Н., Худонов А.М., Дульский Е. Ю., Катаровский Р.В., Кротов М.О. Учебно-исследовательская лаборатория «автоматизированный электропривод ЭПС и технологических установок сервисных локомотивных предприятий» / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Н.Н. Гарев, А.М. Худонов, Е. Ю. Дульский, Р.В. Катаровский, М.О. Кротов // Наука и молодежь: Сборник трудов третьей Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. – 865 с. – С. 4-9.

10. Хрусталева Б. М., Несенчук А. П., Романюк В. Н. Техническая термодинамика / Б. М. Хрусталева, А. П. Несенчук, В. Н. Романюк. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 486 с.

11. Иванов П. Ю. Причины самопроизвольного срабатывания автотормозов в грузовых поездах / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. № 2 (30). С. 17-25.

12. Дульский Е.Ю. Моделирование режимов ИК-энергоподвода в технологии продления ресурса тяговых электрических машин: дис. ... канд.техн. наук: 05.22.07 / Дульский Евгений Юрьевич. – Иркутск, 2014 – 179 с.

13. Жуков Н.П. Гидрогазодинамика: учебное пособие / Н.П. Жуков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 92 с.

14. Худонов А.М., Иванов П.Ю., Мануилов Н.И., Дульский Е.Ю. Интеллектуальная система диагностики тормозной сети поезда/ А. М. Худонов, П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-dagnostiki-tormoznoy-seti-poezda> (дата обращения: 21.05.2018).

15. Иноземцев В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава: Вопросы и ответы / В. Г. Иноземцев. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.

16. Дульский Е. Ю. Энергоаудит безразборной технологии ремонта / Е. Ю. Дульский // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. № 3 (41). – С. 168-171.

17. Мануилов Н. И. Анализ влияния человеческого фактора на безотказную работу тормозного оборудования поездов / Н. И. Мануилов, П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 12-2 (34). С. 48-57.

18. Мануилов Н. И. Влияние человеческого фактора на надежность тормозного оборудования поезда / Н. И. Мануилов // Мир транспорта / под ред. Левин Б.А. и др. – Москва: изд-во МКЖТ МПС России, 2017, №3 (70) – С. 196-204.

REFERENCES

1. Afonin G. S., Barshchenkov V. N., Kondrat'ev N. V. Ustroistvo i ekspluatatsiya tormoznogo oborudovaniya podvizhnogo sostava [The arrangement and operation of the brake equipment of the rolling stock]. Moscow: «Akademiya» Publ., 2006. 304 p.

2. Ivanov P. Yu., Manuilov N. I., Khudonogov A. M., Dul'skii E. Yu. Issledovanie prichin samoproizvol'nogo sbratyvaniya avtotormozov gruzovykh poezdov [Investigation of the causes of spontaneous operation of automatic brakes of freight trains]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: Materialy vos'moi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii 2017 g* [Transport Infrastructure of the Siberian Region: Materials of the Eighth International Scientific Practical Conference 2017]. Irkutsk: In 2 vols. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017. 864 p., pp. 399-404.

3. Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 12.12.2017 No. 2580r «O vvode v deistvie Reglamenta vzaimodeistviya rabotnikov, svyazannykh s dvizheniem poezdov, s rabotnikami lokomotivnykh brigad pri vozniknovenii avariinykh i nestandartnykh situatsii na putyakh obshchego pol'zovaniya infrastruktury OAO «RZD» [Order of JSC Russian Railways of 12.12.2017 No. 2580p “On the implementation of the Regulations on the interaction of workers associated with the movement of trains, with employees of locomotive crews in the event of emergency and unusual situations on the ways of public use of the infrastructure of JSC “RZD”]. (URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=709942&rnd=299965.1273311152&dst=100007&fld=134#0>, access date: 27.09.2018)

4. Pravila tekhnicheskogo obsluzhivaniya tormoznogo oborudovaniya i upravleniya tormozami zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: protokol zasedaniya Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva ot 6-7 maya 2014 g. [Rules for the maintenance of brake equipment and brake control for railway rolling stock: Minutes of the meeting of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States of May 6-7, 2014]. No. 60 (URL: <http://base.garant.ru/57410845/>, access date: 27.09.2018).

5. Ivanov P. Yu., Manuilov N. I., Dul'skii E. Yu. Issledovanie raboty stabilizatora kрана mashinista usl. No. 395 [Investigation of the operation of the driver's brake valve stabilizer No. 395]. *Innovatsionnye proekty i tekhnologii mashinostroitel'nykh proizvodstv: Materialy vtoroi vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Innovative projects and technologies of machine-building productions: Materials of the second All-Russian scientific and technical conference]. Omsk State Transport University. Omsk, 2017. 217 p, pp. 63-69.

6. Asadchenko V.R. Avtomaticheskie tormoza podvizhnogo sostava [Automatic rolling stock brakes]. Moscow: Marshrut Publ., 2006. 392 p.



7. Ivanov P. Yu., Manuilov N. I., Dul'skii E. Yu. Vliyanie klimaticheskikh uslovii na plotnost' tormoznoi seti poezda v ekspluatatsii [Influence of climatic conditions on the density of the brake network of a train in operation]. *Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya sovremennoi nauki: materialy II Mezhd. nauch.-prakt. konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (g. Sankt-Peterburg), 2017* [Topical issues and prospects for the development of modern science: materials of II Int. scientific-practical conferences of students, graduate students and young scientists (St. Petersburg)]. No. 12-2 (34), pp. 48-57.
8. Yaroshenko Yu. G. et al. Mekhanika zhidkosti i gaza [Fluid and gas mechanics]. In Shvydkii V.S. (gen. ed.). Moscow: IKTs «Akademkniga» Publ., 2003. 464 p.
9. Ivanov P. Yu., Manuilov N.I., Garev N.N., Khudonogov A.M., Dul'skii E. Yu., Katarovskii R.V., Krotov M.O. Uchebno-issledovatel'skaya laboratoriya «avtomatizirovannyi elektroprivod EPS i tekhnologicheskikh ustanovok servisnykh lokomotivnykh predpriyatiy» [Educational research laboratory "Automated electric drive of ERS and technological installations of service locomotive enterprises"]. *Nauka i molodezh': Sbornik trudov tret'ei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Youth: Collection of works of the third All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017. 865 p., pp. 4-9.
10. Khrustalev B. M., Nesenchuk A. P., Romanyuk V. N. Tekhnicheskaya termodinamika [Technical thermodynamics]. Minsk: UP «Tekhnoprint» Publ., 2004. 486 p.
11. Ivanov P. Yu., Manuilov N. I., Dul'skii E. Yu. Prichiny samoproizvol'nogo sрабатыvaniya avtotormozov v gruzovykh poezdakh [Causes of spontaneous triggering of automatic brakes in freight trains]. *Izvestiya Transsiba* [Journal of Transsib Railway Studies]. Omsk State Transport University Publ., Omsk, 2017. No. 2 (30), pp. 17-25.
12. Dul'skii E.Yu. Modelirovanie rezhimov IK-energopodvoda v tekhnologii prodleniya resursa tyagovykh elektricheskikh mashin: dis. ... kand.tekhn. nauk [Modeling modes of infrared power supply in the technology of extending the life of traction electric machines: Ph.D. (Engineering) diss.], 05.22.07. Irkutsk, 2014. 179 p.
13. Zhukov N.P. Gidrogazodinamika: uchebnoe posobie [Fluid and gas dynamics: textbook]. Tambov: TSTU Publ., 2011, 92 p.
14. Khudonogov A.M., Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Intel'ktual'naya sistema diagnostiki tormoznoi seti poezda [Intellectual system for diagnosing the train's brake network]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University], 2018. No.1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-diagnostiki-tormoznoy-seti-poezda> (access date: 21.05.2018).
15. Inozemtsev V. G. Tormoza zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: Voprosy i otvety [Brakes of railway rolling stock: Questions and answers]. Moscow: Transport Publ., 1987. 207 p.
16. Dul'skii E. Yu. Energoaudit bezrazbornoi tekhnologii remonta [Energy audit of in-place repair technology]. *Mir transporta* [World of transport], 2012, Vol. 10, No. 3 (41), pp. 168-171.
17. Manuilov N. I., Ivanov P. Yu., Dul'skii E. Yu. Analiz vliyaniya chelovecheskogo faktora na bezotkaznyuyu rabotu tormoznogo oborudovaniya poezdov [Analysis of the influence of the human factor on the failure-free operation of the brake equipment of trains]. *Nauka vchera, segodnya, zavtra* [Science yesterday, today, tomorrow], 2016. No. 12-2 (34), pp. 48-57.
18. Manuilov N. I. Vliyanie chelovecheskogo faktora na nadezhnost' tormoznogo oborudovaniya poezda [The influence of the human factor on the reliability of the brake equipment of a train]. *Mir transporta* [World of transport]. In Levin B.A. et al. (ed.). Moscow: MKZhT MPS Rossii Publ., 2017. No.3 (70), pp. 196-204.

Информация об авторах

Михальчук Николай Львович – к.т.н., заместитель начальника Дирекции тяги (по развитию) – филиала ОАО «Российские железные дороги», г. Москва. e-mail: mihalchuknl@center.rzd.ru

Иванов Павел Юрьевич – к. т. н., старший преподаватель кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: savl.ivanov@mail.ru

Дульский Евгений Юрьевич – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Романовский Александр Игоревич – к. т. н., доцент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: romanov_ai@irgups.ru

Authors

Nikolai L'vovich Mikhail'chuk – Ph.D. in Engineering Science, Deputy Head of the Development Directorate of Traction, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, e-mail: mihalchuknl@center.rzd.ru

Pavel Yur'evich Ivanov – Ph.D. in Engineering Science, Asst. Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, e-mail: savl.ivanov@mail.ru

Evgenii Yur'evich Dul'skii – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Assoc. Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, e-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Aleksandr Igorevich Romanovskii – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, e-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Для цитирования

Михальчук Н. Л. Контур ликвидации сверхзарядного давления воздухораспределителя подвижного состава железных дорог / Н. Л. Михальчук, П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, А. И. Романовский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 61, № 1. – С.82–90. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).82–90

For citation

Mikhail'chuk N. L., Ivanov P. Yu., Dul'skii E. Yu., Romanovskii A. I. Kontur likvidatsii sverkhzaryadnogo davleniya vozdukhoraspredeletelya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog [The circuit of elimination of supercharged pressure of the air distributor of the railway rolling stock]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019, Vol. 61, No. 1, pp. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).82–90