

УДК 621.51

А. С. Галюжин

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ОЧИСТКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПНЕВМОСИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Разработана классификация и проведен анализ различных способов и устройств для очистки сжатого воздуха пневмосистем мобильных машин, отмечены их преимущества и недостатки. Приведены результаты исследований устройства очистки троллейбуса АКСМ 201.

Введение

В современных мобильных машинах используются достаточно сложные пневмоприводы, содержащие большое количество элементов. Например, в троллейбусах пневмосистема обеспечивает привод тормозных механизмов, механизмов открывания и закрывания дверей и пневматической подвески.

Надежность работы пневмосистемы в значительной мере зависит от степени очистки сжатого воздуха. При наличии в нем влаги происходит коррозия элементов пневмоаппаратов и пневмодвигателей, смывается смазка с трущихся деталей и, соответственно, увеличивается их износ. В сырую погоду при положительной температуре окружающего воздуха около 0°C в наиболее удаленных от компрессора элементах пневмосистемы из-за охлаждения происходит конденсация наибольшего количества влаги. Если в дальнейшем температура становится ниже 0°C , то происходит замерзание влаги и, как правило, отказ пневмосистемы. Частицы пыли также увеличивают износ трущихся деталей пневмосистем. Для исключения данных явлений служат устройства очистки, предназначенные для удаления частиц пыли, влаги и масла из сжатого воздуха перед подачей его в пневмоаппараты и пневмодвигатели.

Следует отметить, что удаление масла из сжатого воздуха не является целью очистки. Наоборот, во многих пневмосистемах для повышения долговечности пневмоаппаратов и пневмо-

двигателей сжатый воздух насыщают масляным туманом. В современных пневмоприводах используются преимущественно компрессоры поршневого типа, смазка трущихся деталей в которых осуществляется жидкими маслами. Поэтому выходящий из компрессора сжатый воздух содержит не только пары влаги, но и насыщен парами масла. При удалении влаги попутно удаляется и масло, т. к. разделение паров влаги и масла в процессе очистки воздуха является дорогостоящим и в настоящее время не применяется.

Рассмотрим основные конструкции устройств для очистки сжатого воздуха. Очистка воздуха, засасываемого компрессорами из атмосферы, от пыли осуществляется воздушными фильтрами. В качестве материала для фильтрующих элементов используются бумага, картон, синтетические материалы и т. д. Как отмечают многие исследователи, проблема очистки сжатого воздуха от пыли решена достаточно успешно. Поэтому наибольшее внимание уделяется осушке сжатого воздуха. Для этих целей используются различные устройства, которые можно разделить на три группы: инерционные, адсорбционные и комбинированные.

Принцип действия инерционных влагоотделителей основан на использовании центробежной силы инерции, возникающей при движении тела по кривой. Для этого потоку воздуха в цилиндрическом корпусе придают вихревое движение, частицы влаги отбрасываются к внутренним стенкам корпуса и

стекают в нижнюю часть. При этом к стенкам корпуса отбрасываются также и капли масла. Влагомаслоотделители такого типа используются на троллейбусах ЗИУ-9Б (СССР), которые до сих пор находятся в эксплуатации (рис. 1) [1].

Поток сжатого воздуха из компрессора поступает во влагомаслоотделитель через входной патрубок 4. С помощью направляющей спирали 3 поток приобретает вихревое движение, капли влаги и масла отбрасываются к стенкам

корпуса 6 и через решетку 2 стекают в нижнюю часть корпуса. Затем воздух через диффузор 5 поднимается вверх и через выходной патрубок 7 поступает в пневмосистему. В диффузоре 5 происходит охлаждение сжатого воздуха из-за практически внезапного расширения потока. Поэтому на стенках диффузора остаются капли влаги и масла, которые также стекают вниз. Отстой сливается через трубку 1.

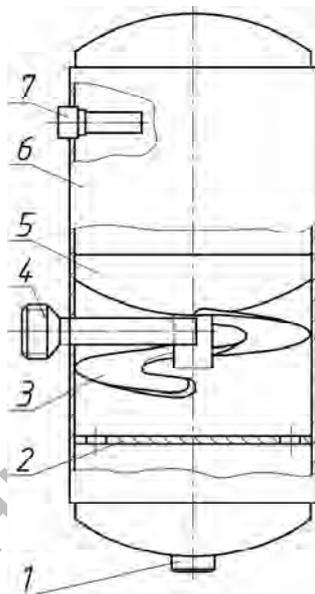


Рис. 1. Влагомаслоотделитель троллейбуса ЗИУ-9Б

Очевидно, что для эффективной инерционной очистки необходимо, чтобы центробежная сила инерции, действующая на частицу-загрязнитель, была направлена радиально от центра к периферии корпуса. Этого можно достичь при движении потока воздуха по спирали без образования местных вихрей. Рассмотренная конструкция влагомаслоотделителя не удовлетворяет этим требованиям и не обеспечивает требуемой для современных пневмосистем степени осушки сжатого воздуха. Поэтому влагомаслоотделители такой конструкции на современных мобильных машинах практически не применяются.

На троллейбусах 9Тр-21 (ЧССР) применен влагомаслоотделитель (рис. 2) с автоматическим конденсатоотводчиком [1]. Корпус 1 влагомаслоотделителя снабжен охлаждающими ребрами 2. Внутри корпуса в нижней части установлена винтовая поверхность 3, оканчивающаяся конусом 4. В верхней части корпуса расположена фильтровальная сетка 5.

Сжатый воздух от компрессора через обратный клапан 6 движется к винтовой поверхности 3, где завихряется. После столкновения с конусом 4 поток воздуха поднимается вверх и через фильтровальную сетку 5 поступает в

пневмосистему троллейбуса. Капли влаги и масла стекают через отверстия 7 в конусе 4 к днищу корпуса 1, где установлен автоматический конденсатоотводчик 8.

Следует отметить, что автоматиче-

ские конденсатоотводчики такого типа широко используются также на грузовых автомобилях «Вольво» и «Мерседес-Венс». Типовая схема автоматического конденсатоотводчика приведена на рис. 3.

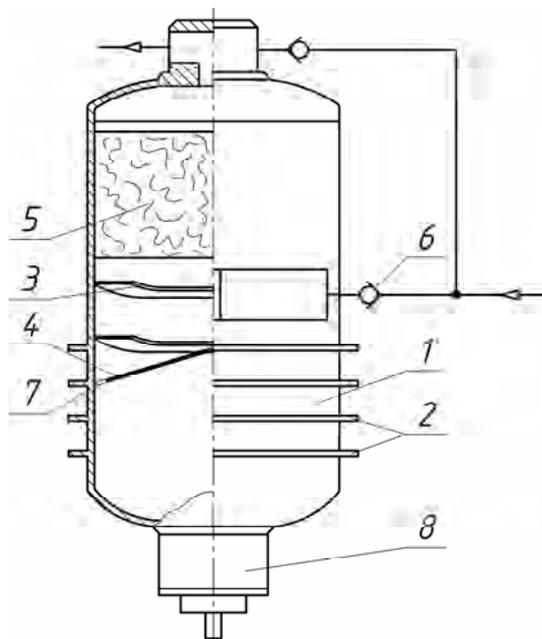


Рис. 2. Влагомаслоотделитель троллейбуса 9Тр-21

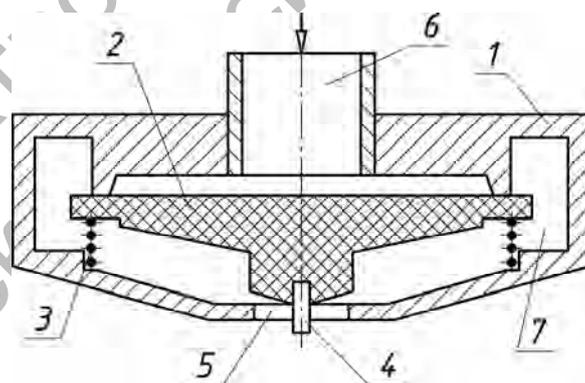


Рис. 3. Автоматический конденсатоотводчик

В корпусе 1 расположен эластичный запорный элемент 2, прижимаемый к седлу пружиной 3. При наличии во влагомаслоотделителе давления воздуха выходное отверстие 5 закрыто запорным элементом 2, верхняя часть которо-

го, преодолевая усилие пружины 3, отгибается и конденсат попадает через входное отверстие 6 в полость 7. При снижении давления в корпусе влагомаслоотделителя (выключение компрессора, срабатывание регулятора давления и

т. д.) под действием пружины 3 запорный элемент 2 перемещается вверх. Полость 7 отсоединяется от отверстия 6 и через отверстие 5 соединяется с атмосферой. Происходит выброс конденсата наружу. Для принудительного выпуска конденсата нажимается кнопка 4. В некоторых конструкциях используется тарельчатая пружина.

На троллейбусах АКСМ 101 (РУП «Белкоммунмаш», Республика Беларусь) первых выпусков использовались влагомаслоотделители типа «Сиккомат» (рис. 4) [2]. Перед центро-

бежной очисткой сжатый воздух охлаждается в радиаторе 1, а затем поступает в корпус 2, где с помощью винтового дефлектора 3 происходит завихрение потока. Осевший на стенках корпуса конденсат стекает вниз к автоматическому конденсатоотводчику 4, который срабатывает при падении давления внутри корпуса 2. Перепускной клапан 5 предназначен для пропуска сжатого воздуха в пневмосистему при отказе влагомаслоотделителя из-за замерзания в нем конденсата.

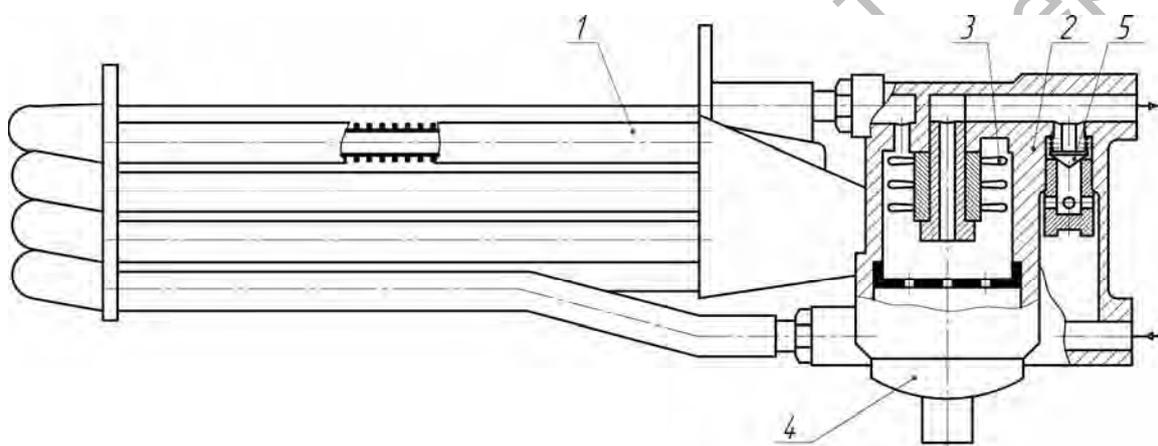


Рис. 4. Влагомаслоотделитель типа «Сиккомат»

Влагомаслоотделители инерционного типа обладают существенным недостатком: они очищают сжатый воздух от влаги и масла, находящихся в жидком (капельном) состоянии. Поэтому с целью образования в сжатом воздухе капель влаги из-за охлаждения влагомаслоотделители инерционного типа располагают по возможности дальше от компрессора. Кроме того, они должны эффективно обдуваться потоком набегающего воздуха. Особенно это важно для влагомаслоотделителя типа «Сиккомат», эффективность работы которого в значительной мере зависит от охлаждения потока сжатого воздуха в радиаторе. Для повышения надежности работы пневмосистемы троллейбуса АКСМ 101

в ее состав включен противозамерзатель (рис. 5) [2], служащий для введения в поток сжатого воздуха после влагомаслоотделителя низкозамерзающей жидкости. Противозамерзатель содержит корпус 1, в который заливается спиртоглицериновая смесь, состоящая из равных частей метилового спирта и глицерина. В канале 2, через который проходит сжатый воздух, выполнено сужение проходного сечения. В результате из-за увеличения скоростного напора в этом месте канала 2 уменьшается пьезометрический напор, т. е. возникает разрежение. Поэтому по трубке 3 через обратный клапан 4 и отверстие 5 в поток воздуха поступает спиртоглицериновая смесь. Поток воздуха в канале 2 эта смесь распыляет-

ся. Количество подаваемой смеси регулируется дросселем 6. Спиртоглицериновая смесь в воздухопроводах смешивается с частицами сконденсировавшейся влаги. Образуется раствор, температура замерзания которого ниже 0°C .

Следует отметить, что на троллейбусах ЗИУ-682Г (Россия), выпускаемых в настоящее время, в сочетании с противозамерзателем используется влагомаслоотделитель, схожий по конструкции с влагомаслоотделителем типа «Сиккомат» [3].

Таким образом, инерционные влагомаслоотделители, по сравнению с адсорбционными, обладают несомненным преимуществом – они не требуют расходных материалов. Вместе с тем проведенные исследования показали, что с по-

мощью таких устройств невозможно достичь высокой степени очистки сжатого воздуха. Среди рассмотренных устройств инерционного типа наилучшими показателями обладает влагомаслоотделитель типа «Сиккомат» – на его выходе сжатый воздух соответствует 12-му классу загрязненности по ГОСТ 17433-80. Комбинированный влагомаслоотделитель троллейбуса АКСМ 201 обеспечивает степень очистки до 8 класса загрязненности, но требует регулярной замены адсорбента из-за заполнения его пор каплями масла, находящимися в сжатом воздухе. Поэтому повышение эффективности инерционного влагомаслоотделителя и доведение очистки воздуха в нем до 8 класса загрязненности является достаточно перспективной задачей.

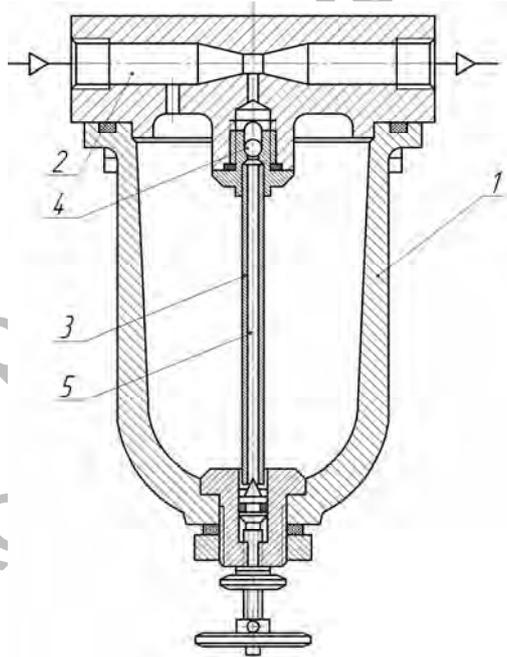


Рис. 5. Противозамерзатель троллейбуса АКСМ 101

Принцип действия адсорбционных устройств основан на концентрировании влаги на поверхности раздела фаз или в порах твердого тела. Такие устройства чаще всего называют осушителями, хотя в них происходит не только осушка, но и очистка воздуха от пыли,

паров и капель масла при прохождении воздуха через адсорбент.

Научно-производственным предприятием (НПП) «Асток» (Украина) разработан комбинированный осушитель сжатого воздуха (рис. 6). Он предназначен для обезвоживания воздуха, регули-

рования давления в ресиверах питающей части пневмосистемы, предохранения от повышения давления сверх допустимого и предотвращения замерзания влаги в

корпусе осушителя [4]. Данный осушитель устанавливался на троллейбусах модели АКСМ 201 (РУП «Белкоммунмаш») первых выпусков.

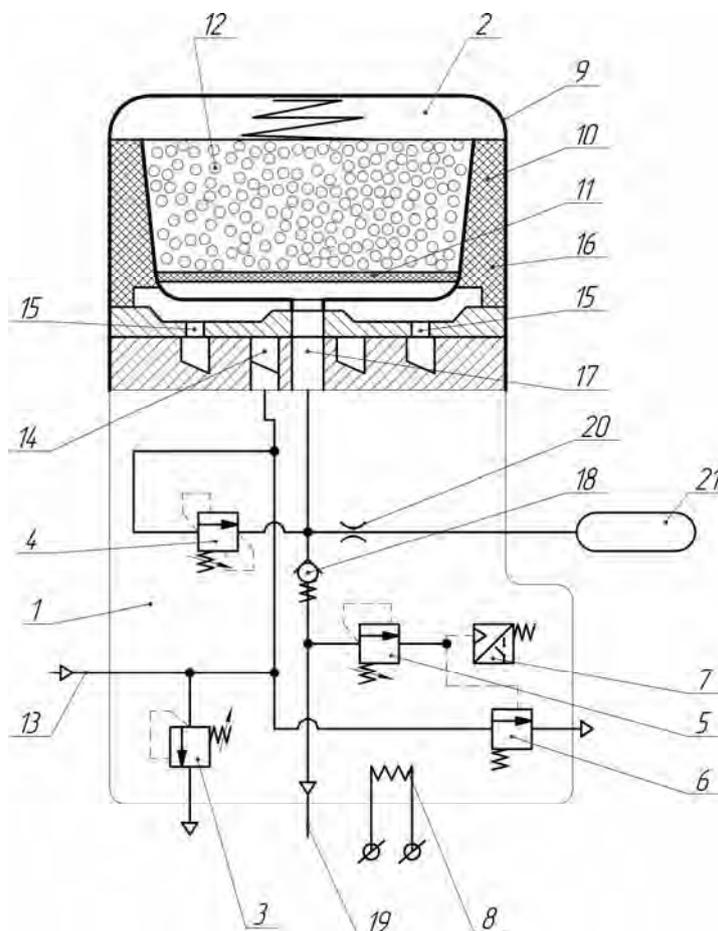


Рис. 6. Воздухоосушитель НПП «Асток»

Воздухоосушитель состоит из двух основных блоков: корпуса 1 и адсорбера 2. В корпусе 1 установлены предохранительный клапан 3, клапан разности давлений 4, напорные клапаны 5 и 6, реле давления 7, нагреватель 8. Адсорбер состоит из колпака 9, фильтров 10 и 11, адсорбента 12.

Работает осушитель следующим образом. При включенных контактах реле давления 7 сжатый воздух от работающего компрессора поступает во входную напорную магистраль 13 и спиральный канал 14. В спиральном канале воздух движется по кривой, под действием центробежной силы инерции

частицы воды и масла отбрасываются на стенки канала и собираются на его дне. Затем воздух проходит через отверстия 15, фильтр 16, адсорбент 12, отверстие 17, обратный клапан 18 и по магистрали 19 поступает в рабочие ресиверы пневмосистемы. Одновременно через дроссель 20 очищенный воздух поступает в ресивер регенерации 21.

При достижении давления в магистрали 19 верхнего предела регулирования срабатывает клапан 5 и реле давления 7 размыкает контакты, электродвигатель привода компрессора останавливается и сжатый воздух перестает поступать в магистраль 13. Также сраба-

тывает клапан 6 и соединяет входную магистраль 13 с атмосферой. Давление внутри осушителя 2 падает практически до атмосферного, обратный клапан под действием пружины и противодействия с рабочих ресиверов закрывается.

Очищенный воздух из ресивера регенерации 21 через дроссель 20 и канал 17 поступает в адсорбер 2, где он проходит через адсорбент 12, забирая ранее накопленную влагу. Затем воздух проходит через фильтр 16 и спиральный клапан 14, увлекая за собой частицы влаги, масла и пыли, и через клапан 6 выходит в атмосферу.

При работе пневмопривода из рабочих ресиверов происходит отбор сжатого воздуха, давление в магистрали 19 падает. Когда оно достигает нижнего предела регулирования, клапан 5 закрывается, контакты реле 7 замыкаются и включается электродвигатель привода компрессора. Также закрывается клапан 6 и сообщение магистрали 13 с атмосферой прекращается. Цикл очистки воздуха возобновляется.

В случае достижения потерь давления в осушителе 0,15 МПа из-за засорения или замерзания фильтров 11 и 16 и адсорбента 12 срабатывает клапан разности давлений и магистраль 13 соединяется с магистралью 19, минуя осушитель 2. Этим обеспечивается функционирование пневмосистемы, хотя и без очистки и осушки сжатого воздуха.

При превышении давления воздуха в осушителе сверх допустимого, т. е. более $(1,1 \pm 0,1)$ МПа, срабатывает предохранительный клапан 3, который соединяет магистраль 13 с атмосферой.

Для исключения отказа клапана 6 из-за замерзания служит нагреватель 8, который включается при температуре (7 ± 2) °С в корпусе 1 и отключается при (35 ± 5) °С.

Анализ эксплуатации таких осушителей на Могилевском предприятии «Горэлектротранспорт» показал, что примерно через 20 тыс. км пробега

троллейбуса существенно снижается степень осушки сжатого воздуха, зачастую в 4...5 раз. Это связано с тем, что происходит замасливание адсорбента и фильтров, а иногда и их закоксовывание. Спиральный канал 14 в корпусе осушителя своей функции не выполняет, т. к. частицы влаги масла, осевшие на стенках канала, не стекают в иную полость, а находятся в канале, где движется сжатый воздух. Этот воздух увлекает за собой капли масла и влаги и заносит их в фильтр 16 и адсорбент 12.

Для троллейбусов АКСМ 201 более поздних выпусков разработан блок подготовки сжатого воздуха собственного производства. Блок включает маслоотделитель, воздухоосушитель, ресивер регенерации и регулятор давления.

Маслоотделитель центробежного типа служит для предварительной очистки сжатого воздуха от капельной влаги, масла и механических примесей.

Воздухоосушитель состоит из корпуса 1, крышки 2, стакана 3, обратного клапана 4 и электромагнитного клапана 5. Снизу в стакане 3 расположены латунная загрузка (куски латунных колец) 6, а над кольцами 6 – адсорбент 7.

Сжатый воздух поступает по трубке 8, установленной по касательной снаружи на корпусе 1, в пространство между корпусом 1 и стаканом 3 и далее движется по винтовой траектории вниз благодаря винтовой поверхности 9, жестко закрепленной на стакане 3. Под действием центробежных сил инерции капли воды, масла и твердые частицы оседают на стенках корпуса 1 и стекают вниз. Затем воздух проходит через латунную загрузку 6, где также задерживаются твердые частицы и мелкие капли воды и масла. Далее воздух проходит через слой адсорбента 7, который поглощает несконденсированную влагу. После очистки и осушки сжатый воздух через обратный клапан 4 поступает в рабочие ресиверы пневмосистемы, а через дроссель 10 – в ресивер регенерации 11.

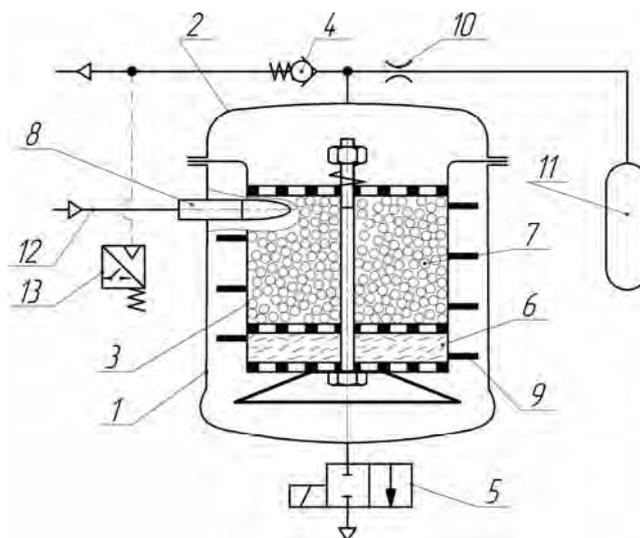


Рис. 7. Воздухоосушитель АКСМ 201-2302 производства РУП «Белкоммунмаш»

При достижении во входной магистрали 12 верхнего предела регулирования давления, равного $0,78...0,02$ МПа, срабатывает реле давления 13 и отключает электродвигатель компрессора и обмотку электромагнитного клапана 5. В результате нижняя полость корпуса 1 соединяется с атмосферой и, соответственно, давление в магистрали 12 и внутри корпуса 1 осушителя падает практически до атмосферного. Сжатый очищенный и осушенный воздух из ресивера 11 через дроссель 10 поступает в верхнюю часть корпуса 1, проходит через адсорбент 7 и латунную загрузку 6, где отбирает ранее накопленную влагу через клапан 5 и выходит в атмосферу.

Одновременно с этим при падении давления в магистрали 12 открывается клапан слива конденсата в маслоотделителе. Конструкция клапана слива конденсата практически соответствует автоматическому конденсатоотводчику (см. рис. 3).

При падении давления в ресиверах пневмосистемы из-за расхода сжатого воздуха потребителями до нижнего предела ($0,65 + 0,02$) МПа реле давления 13 включает электродвигатель компрессора и подаётся напряжение на обмотку

электромагнитного клапана 5, который перекрывает сообщение внутренней полости корпуса 1 воздухоосушителя с атмосферой, и цикл осушки и очистки повторяется.

По сравнению с осушителем НПП «Асток» данное устройство работает более эффективно из-за правильности конструкции центробежного влагомаслоотделителя, в котором капли влаги и масла, осевшие на стенках корпуса 1, если частично и захватываются потоком воздуха, то все равно не попадают в адсорбент. Это происходит потому, что в конце движения по винтовой траектории поток воздуха разворачивается практически на 180° и на капли масла и влаги в этот момент действует центробежная сила, направленная вниз и образовавшаяся в результате сложения силы тяжести и центробежной силы инерции.

Для грузовых автомобилей и автобусов немецкой фирмой «Кнор-Бремс» разработан осушитель воздуха [5], в котором разгрузка компрессора осуществляется путем соединения напорной магистрали с атмосферой через глушитель при достижении заданного верхнего предела давления в рабочих ресиверах (рис. 8).

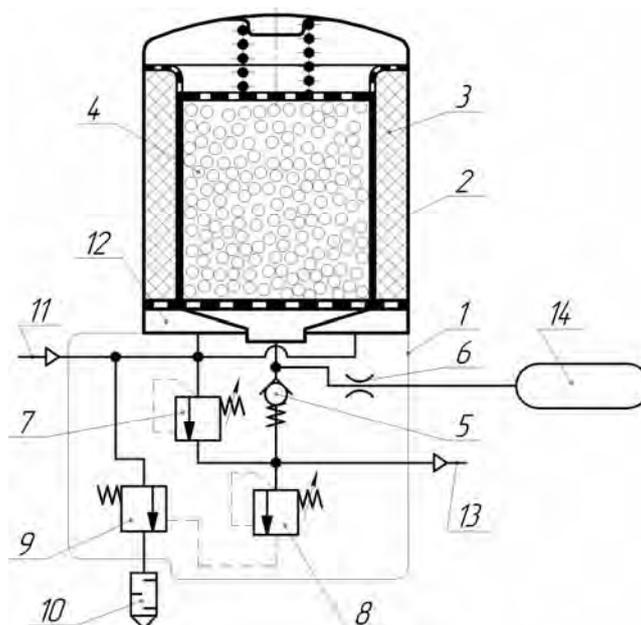


Рис. 8. Воздухоосушитель фирмы «Кнор-Бремс»

Осушитель содержит корпус 1, на котором сверху установлен стакан 2. В стакане 2 размещены поролоновый фильтр 3 и патрон с адсорбентом 4. В корпусе 1 установлены обратный клапан 5, дроссель 6, переливной клапан 7, напорный клапан 8 и разгрузочный клапан 9. Снизу к корпусу 1 присоединен глушитель 10.

Сжатый воздух от компрессора по магистрали 11 поступает в полость 12, затем через фильтр 3, адсорбент 4 и обратный клапан 5 по магистрали 13 в рабочие ресиверы пневмосистемы. Также очищенный и осушенный воздух через дроссель 6 поступает в ресивер регенерации 14. При достижении в рабочих ресиверах заданного рабочего давления срабатывает напорный клапан 8, а затем разгрузочный клапан 9. Сжатый воздух из магистрали 11 через клапан 9 и глушитель 10 выходит в атмосферу. Из ресивера регенерации осушенный и очищенный сжатый воздух проходит через дроссель 6, адсорбент 4 и фильтр 3, где отбирает ранее накопленную влагу. Затем через клапан 9 и глушитель 10 влажный воздух выбрасывается в атмосферу.

По данным производителя срок службы адсорбента составляет 1,5...2 тыс. ч работы (более двух лет). Если после этого адсорбент промыть в растворе и просушить при температуре 300...350 °С в течение двух часов, то можно на 80 % восстановить его свойства. Степень осушки воздуха нового патрона с адсорбентом – около 85 %.

На разработанном в Белорусско-Российском университете стенде были проведены сравнительные испытания нового влагомаслоотделителя типа «Сиккомат» и нового воздухоосушителя производства РУП «Белкоммунмаш». Степень осушки воздуха A_o для первого устройства – 26,4 %, для второго – 51,3 %, потери давления Δp – 0,015 и 0,019 МПа соответственно.

Степень осушки определялась следующим образом. Вначале измерялись температура и относительная влажность сжатого воздуха до осушителя, затем – эти же показатели осушенного воздуха. Для этих целей использовался специальный автоматизированный стенд. Расчет A_o производился по формуле

$$A_o = 100 - (\rho_{н\ вых} \varphi_{вых} / \rho_{н\ вх} \varphi_{вх}) 100,$$

где $\rho_{н\ вх}$, $\rho_{н\ вых}$ – абсолютная влажность насыщенного воздуха на входе и выходе осушителя при соответствующих температурах; $\varphi_{вх}$, $\varphi_{вых}$ – относительная влажность сжатого воздуха на входе и выходе осушителя соответственно.

Зависимость абсолютной влажности насыщенного воздуха от температуры $\rho_n = f(T)$ в литературе по технической термодинамике [6, 7] приведена в графической или табличной форме, что представляет определенные неудобства при использовании современных программных средств. Поэтому было получено уравнение регрессии, позволяющее расчетным путем определять данную зависимость, т. е.

$$\rho_n = 0,0008T^3 - 0,0369T^2 + 1,3348T + 1,8208,$$

где T – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Расчеты проводились в программном пакете Mathcad.

Для оценки зависимости степени осушки сжатого воздуха от времени эксплуатации новый воздухоосушитель АКСМ 201-2302 производства РУП «Белкоммунмаш» был установлен на троллейбус АКСМ 201 № 38 Могилевского предприятия «Горэлектротранспорт». Через каждые 10 тыс. км пробега воздухоосушитель снимался и на стенде проводились упомянутые выше исследования, результаты которых приведены на рис. 9.

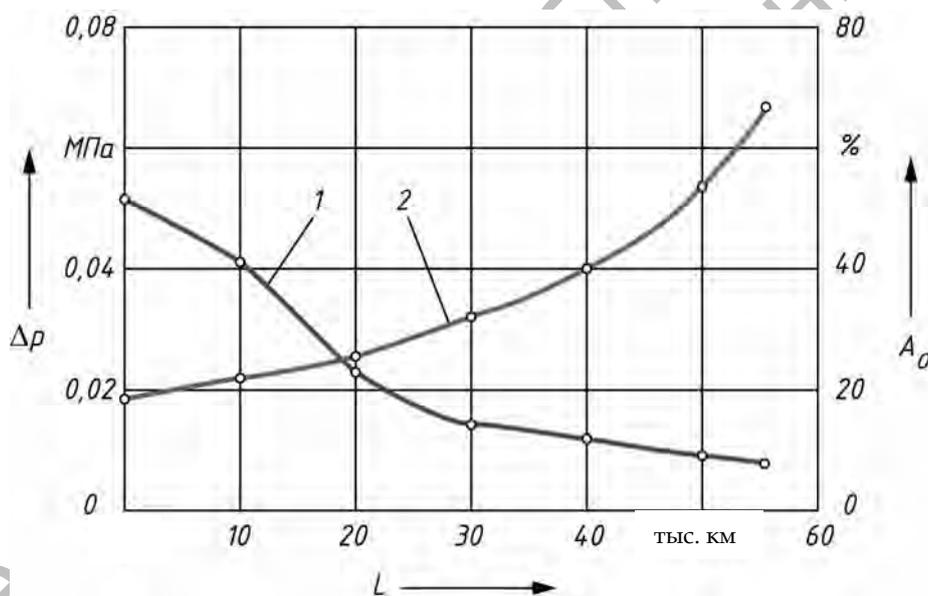


Рис. 9. Зависимость степени осушки сжатого воздуха A_o (кривая 1) и потерь давления Δp (кривая 2) в воздухоосушителе АКСМ 201-2302 от пробега троллейбуса

Уже через 20 тыс. км пробега степень осушки снизилась более чем в 2 раза и стала примерно такой, которая обеспечивается влагомаслоотделителем «Сиккомат». Причиной этого является низкая эффективность системы регенерации адсорбента. После окончания испытаний была произведена замена адсорбента на новый и воздухоосушитель опять установили на троллейбус. После

17,5 тыс. км пробега воздухоосушитель был опять испытан на стенде. Результаты следующие: $A_o = 18,4\%$, $\Delta p = 0,021$ МПа. Затем воздухоосушитель вскрыли и провели визуальную оценку состояния адсорбента. Адсорбент был влажным, его наружная поверхность покрылась масляной пленкой.

Таким образом, применение адсор-

бирующих влагоотделителей в пневмоприводах транспортных средств не решает в полной мере проблемы осушки сжатого воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коган, Л. Я.** Устройство и эксплуатация троллейбуса / Л. Я. Коган, Е. Е. Корягина, И. А. Белостоцкий. – М. : Высш. шк., 1978. – 336 с.
2. **Богдан, Н. В.** Троллейбусы. Устройство и техническое обслуживание / Н. В. Богдан,

- Ю. Е. Атаманов, Р. Р. Джагитян ; под ред. Н. В. Богдана. – Минск : ТАМРАСАТ, 1997. – 256 с.
3. Троллейбус пассажирский ЗИУ-682Г-01. Руководство по эксплуатации. – 291 с.
4. Осушитель сжатого воздуха. Паспорт. – Винница : Асток, 1994. – 17 с.
5. Каталог фирмы «Knorr-Bremse». – Munchen, 2007. – 52 с.
6. **Бальян, С. В.** Техническая термодинамика и тепловые двигатели / С. В. Бальян. – Л. : Машиностроение, 1973. – 304 с.
7. **Бурцев, С. И.** Влажный воздух. Состав и свойства : учеб. пособие / С. И. Бурцев, Ю. Н. Цветков. – СПб. : СПбГАХИТ, 1998. – 146 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 10.11.2009

A. S. Galyzhin

Analysis of arrangements for cleaning compressed air of systems of mobile cars

The classification and the analysis of different ways and antipollution devices for compressed air cleaning of mobile car pipelines have been carried out. Their advantages and disadvantages have been marked. Tests results of the cleaning system of the trolleybus AKSM 201 are presented in the article.