

УДК 621.51
ПРОБЛЕМЫ ОСУШКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПНЕВМОСИСТЕМ
МАШИН ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ

А.С. ГАЛЮЖИН

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В современных машинах для зимнего содержания дорог используются достаточно сложные пневмоприводы, содержащие большое количество элементов. Надежность работы пневмосистемы в значительной мере зависит от степени осушки сжатого воздуха. При наличии в нем влаги происходит коррозия элементов пневмоаппаратов и пневмодвигателей, смывается смазка с поверхностей трения и, соответственно, увеличивается их износ. В сырую погоду при положительной температуре окружающего воздуха около 0 °С в наиболее удаленных от компрессора элементах пневмосистемы из-за охлаждения происходит конденсация наибольшего количества влаги. Если в дальнейшем температура становится ниже 0 °С, то происходит замерзание влаги и, как правило, отказ пневмосистемы.

Рассмотрим пневмосистему с компрессором, подача которого равна 0,4 м³/ч, рабочее избыточное давление 0,8 МПа (такие компрессоры используются в троллейбусах, машинах для зимнего содержания дорог, железнодорожном транспорте). Температура атмосферного воздуха 3 °С, относительная влажность 70 %, т.е. погода, характерная для Беларуси и средней полосы России в начале зимнего периода. Температура сжатого воздуха на выходе из компрессора при таких условиях будет примерно 14 °С. Определим массу воды в жидком состоянии $m_в$, которое выделится при сжатии компрессором атмосферного воздуха за один час работы:

$$m_в = V_{сж} \delta_{сж} \rho_{н.атм} \varphi_{атм} - V_{сж} \rho_{н.сж} \varphi_{сж}, \quad (1)$$

где $V_{сж}$ – объем сжатого компрессором воздуха за 1 час работы; $\rho_{н.атм}$, $\rho_{н.сж}$ – абсолютная влажность атмосферного и сжатого воздуха в состоянии насыщения, соответственно: $\rho_{н.атм} = 5,953$ г/м³, $\rho_{н.сж} = 11,987$ г/м³; $\delta_{сж}$ – коэффициент сжатия воздуха: $\delta_{сж} = p_{сж} / p_{атм}$; $p_{сж}$ – абсолютное давление сжатого воздуха: $p_{сж} = 0,9$ МПа; $p_{атм}$ – атмосферное давление: $p_{атм} = 0,1$ МПа; $\varphi_{атм}$, $\varphi_{н.сж}$ – относительная влажность атмосферного и сжатого воздуха, соответственно: $\varphi_{атм} = 0,7$ (по условию), $\varphi_{н.сж} = 1$ (конденсация начинается когда влажный воздух переходит в состояние насыщения).

В результате получим, что $m_в = 18,1$ г, то есть за каждый час работы компрессор вместе со сжатым воздухом будет подавать в пневмосистему

0,018 л воды в жидком состоянии, а за 8-часовую смену – более 0,14 литров. Причина этого явления следующая. Атмосферный воздух содержит воду в виде пара. Воздух может быть относительно легко сжат, вода практически не поддается сжатию. При сжатии воздуха количество парообразной воды в нем растет пропорционально коэффициенту сжатия, наступает состояние насыщения, а избыток выделяется в виде конденсата.

Дальнейшее охлаждение сжатого воздуха приведет к дальнейшему выделению конденсата. Например, если температура сжатого воздуха упадет до 7 °С, то дополнительно выделиться еще около 1,2 г воды в жидком состоянии за 1 час работы компрессора, а за смену – почти 10 г.

Таким образом, на выходе из компрессора необходимо удалять не только воду в жидком состоянии, но и парообразную воду. Если упомянутую выше воду не удалить из пневмосистемы, то при дальнейшем уменьшении температуры окружающего воздуха ниже 0 °С произойдет замерзание конденсата и, как правило, отказ пневмосистемы.

Поэтому, для предотвращения попадания конденсата в пневмосистему необходима осушка сжатого воздуха. Под *осушкой* принято понимать удаление из сжатого воздуха воды, как в жидком, так и парообразном состоянии. В настоящее время известны четыре способа осушки сжатого воздуха. Удаление воды осуществляют путем *конденсации, сорбции, диффузии и силового воздействия*.

В современных мобильных машинах используется конденсация охлаждением, адсорбция и центробежная осушка. Осушка сжатого воздуха посредством *конденсации охлаждением* осуществляется следующим образом. В теплообменнике сжатый воздух охлаждается ниже температуры точки росы, выделившийся при этом конденсат отводится с помощью конденсатор-отводчика. Осушка *адсорбцией* базируется на свойстве адгезии, т.е. сцепления молекул воды с адсорбентом за счет сил межмолекулярного взаимодействия различных веществ. Адсорбент имеет пористую структуру с большой площадью внутренних поверхностей. При этом вода остается на поверхности и внутри пор адсорбента, химических реакций не происходит. В качестве адсорбентов используются разные материалы, обычно силикагели, алюмогели, цеолиты, а также активированный уголь. В пневмосистемах также используются центробежные влагоотделители, в которых потоку воздуха придается вихревое движение. Под действием центробежной силы инерции капли воды отбрасываются к стенкам корпуса, стекают вниз, а затем удаляются.

Чаще всего в пневмосистемах современных мобильных машин используется комбинация упомянутых способов:

- 1) после конденсации охлаждением производится центробежная осушка;
- 2) после центробежной осушки осуществляется адсорбция.

Второй способ является более эффективным, поскольку при этом удаляется и парообразная вода. При этом часть осушенного воздуха отбирается на выходе влагоотделителя и поступает в специальный ресивер. В цикле регенерации сжатый воздух из этого ресивера пропускается через дроссель и подается во влагоотделитель. В результате давление воздуха становится чуть выше атмосферного, а относительная влажность – низкой. Данный сухой воздух продувается через адсорбент, поглощая воду, оставшуюся ранее на его наружной поверхности и в порах. Исследования, проведенные в университете, показали, что примерно после 400–450 часов работы (около месяца при двухсменной работе) такого влагоотделителя в пневмосистеме с маслосмазываемым компрессором его эффективность резко падает. Причиной этого является масляная пленка, которая покрывает поверхность адгезии и не полностью удаляется в процессе регенерации, особенно из пор адсорбента, и адсорбент необходимо менять.

В университете разработан влагоотделитель (рис. 1), позволяющий производить осушку сжатого воздуха с расходом до $0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($8,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) и давлением до 0,8 МПа без применения адсорбента. Влагоотделитель состоит из корпуса 1, в котором соосно установлен завихритель 2. На внешней поверхности завихрителя 2 расположен направляющий аппарат 3, обеспечивающий движение потока сжатого воздуха по винтовой траектории. В нижней части корпуса 1 установлена конусообразная заслонка 4, под которой расположена полость 5 для сбора конденсата и пыли. Полость 5 через отверстие 6 соединена с электромагнитным клапаном 7. Снаружи на корпусе 1 установлен соленоид (цилиндрическая катушка) 8, а корпус выполнен из немагнитного материала (сплава алюминия). Для исключения нагрева корпуса 1 соленоидом 8 установлена теплоизоляционная прокладка 9. На корпусе 1 установлено устройство 10 для ионизации частиц воды в сжатом воздухе.

Влагоотделитель работает следующим образом. От компрессора сжатый воздух по трубопроводу 11 через отверстие 12 в корпусе 1 поступает в канал, образованный направляющим аппаратом 3. Для исключения образования местных вихрей, в которых частицы воды движутся хаотично, а центробежная сила направлена произвольным образом, отверстие 12 выполнено под наклоном, равным углу подъема винтовой линии γ направляющего аппарата 3. Кроме того, вход потока сжатого воздуха в направляющий аппарат 3 происходит по касательной, чем также исключается образование местных вихрей. При движении по винтовой линии частицы воды (димеры, тримеры и т. д.), обладающие большей массой по сравнению с молекулами азота и кислорода, в большей степени приближаются к вертикальным внутренним стенкам корпуса 1. Примерно через два оборота поток сжатого воздуха подвергается ультрафиолетовому облучению с помощью ионизатора 10. Поскольку частицы воды, по сравнению с молекулами

кислорода и азота, находятся ближе к источнику ионизации, то они первыми приобретают положительный заряд. При этом поток воздуха уже находится в магнитном поле, образованном соленоидом 8, и поток электронов, выбитых из частиц воды, под воздействием силы Лоренца устремляется к оси завихрителя 2, а поток положительно заряженных частиц воды – к вертикальным стенкам корпуса 1. Вертикальные стенки уже будут покрыты тонким слоем воды, поскольку капли воды, которые образуются при сжатии воздуха, первыми достигнут стенок корпуса еще до облучения потока сжатого воздуха. Положительно заряженные частицы воды, достигшие слоя воды на стенках корпуса, соединяются с имеющимися там молекулами воды, и удерживаются за счет наличия водородной связи. Выбитые из частиц воды электроны захватываются электрически нейтральными молекулами кислорода и азота, поскольку их внешние электронные оболочки являются незаполненными, а также положительными молекулярными ионами кислорода и азота, у которых будут выбиты электроны при ультрафиолетовом облучении потока сжатого воздуха. Капли масла и твердые частицы пыли, находящиеся в сжатом воздухе, под воздействием центробежной силы инерции также отбрасываются к внутренней стенке корпуса 1, и образовавшаяся смесь стекает вниз в полость 5.

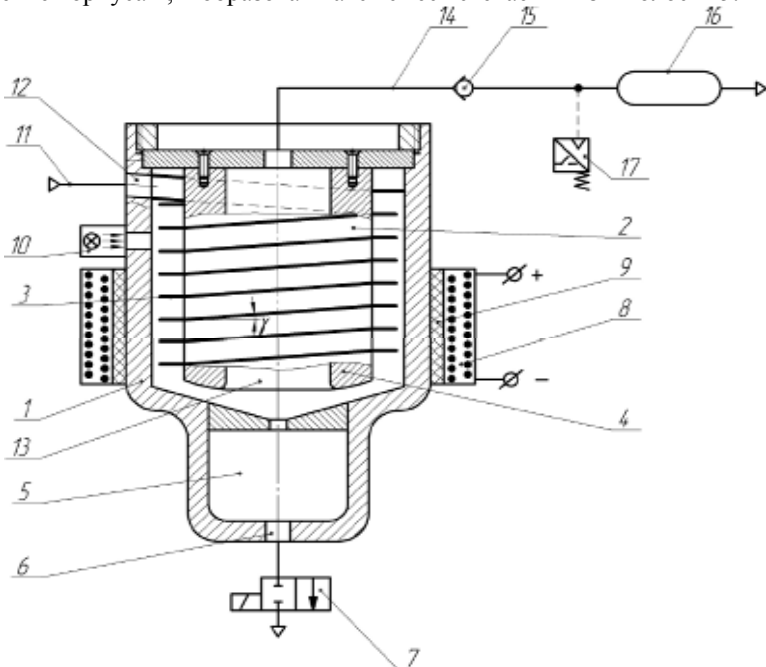


Рис. 1. Схема центробежно-магнитного влагоотделителя

Магнитное поле внутри корпуса 1 создается с помощью соленоида 8, вектор магнитной индукции которого направлен вниз под углом $\alpha=90^\circ-\gamma$ к вектору окружной скорости движения ионизированной частицы воды. При этом на ионизированные частицы воды кроме центробежной силы F_c действует сила Лоренца F_l , которая совпадает по направлению с силой F_c . Суммарная сила, действующая на частицу возрастает, и ионизированные частицы воды также достигают внутренней стенки корпуса сепаратора 4 и сливаются там с тонким слоем воды.

С помощью направляющего аппарата 3 поток сжатого воздуха также получает нисходящее движение. После прохождения по винтовой траектории поток воздуха поворачивается на 180° и поступает во внутреннее отверстие 13 завихрителя 2. При этом возникает центробежная сила, действующая на оставшиеся твердые частицы, частицы воды и капли масла и направленная в сторону конусообразной заслонки 4, куда стекает смесь воды, масла и твердых частиц со стенок корпуса 1. Сила Лоренца при этом уменьшается до нуля, так как вектор окружной скорости становится параллельным вектору магнитной индукции. Через отверстие в центре заслонки 4 упомянутая смесь стекает в полость 5, где и собирается. Благодаря такой конструкции заслонки 4 собранная смесь твердых частиц, масла и воды не захватывается вновь потоком очищенного и осушенного воздуха и не увлекается в пневмосистему.

Осушенный и очищенный сжатый воздух проходит через отверстие 13, трубопровод 14, обратный клапан 15 и поступает в основной ресивер 16. Когда давление в пневмосистеме достигает верхнего предела, то срабатывает реле давления 17 и отключает электродвигатель компрессора и обмотку электромагнитного клапана 7. В результате запорный элемент клапана 7 опускается вниз и полость 5 соединяется с атмосферой. Под действием давления воздуха, находящегося в корпусе 1, смесь воды, масла и твердых частиц выбрасывается наружу.

При падении давления в ресивере пневмосистемы до нижнего предела из-за расхода сжатого воздуха потребителями реле давления 17 включает электродвигатель компрессора и подаёт напряжение на обмотку электромагнитного клапана 7, который перекрывает сообщение внутренней полости 5 с атмосферой, и цикл осушки и очистки сжатого воздуха повторяется.

Экспериментальные исследования показали, что с помощью такого влагоотделителя можно достичь 70 %-ной степени осушки сжатого воздуха.