

### Удаление влаги из воздуха в пневматических системах транспортных средств

Атмосферный воздух наряду с азотом, кислородом и благородными (инертными) газами (не учитывая процент загрязнений воздуха, обеспечиваемый человеком) содержит водяной пар. Решающее значение на влажность (влажность-содержание) атмосферного воздуха оказывает его температура и давление. Чем выше температура воздуха, тем большее количество влаги может содержаться в единичном объеме воздуха. Однако, повышение давления воздуха, то есть его сжатие, приводит к снижению его способности растворять в себе водяной пар.

Автомобильная компрессорная установка всасывает атмосферный воздух, и сжимает его. При сжатии температура воздуха повышается до 250°C, а его давление – до  $p_e = 8 \text{ bar}$ . Покидая компрессор, сжатый воздух перемещается через присоединения пневматической системы к её компонентам, постепенно снижая свою температуру до температуры окружающей среды. В результате охлаждения растворенный в сжатом воздухе водяной пар, как только температура сжатого воздуха достигнет так называемой «точки росы», интенсивно конденсируется. Во всех компонентах тормозной системы и её трубопроводах скапливается выделяющаяся из сжатого воздуха влага. Конденсируемая влага вместе с находящимися в тормозной системе загрязнениями (маслом, сажей выхлопных газов, солей-антиобледенителей с поверхности дорожного полотна) перемещается по тормозной системе, скапливается в полостях её компонентов, вызывая быстрый их износ, и создавая серьёзные препятствия нормальному функционированию тормозной системы. Несомненно, производители транспортных средств предпринимают шаги в направлении защиты трубопроводов и компонентов тормозных систем от губительной коррозии, устанавливая пластмассовые трубопроводы, применяя нержавеющую сталь и Cu-Fe-легирующие. Наряду с резервуарами для хранения сжатого воздуха, изготовленными из алюминиевых сплавов, применяются резервуары из листовой стали, имеющие внутреннее покрытие из пластмасс. Применяются также и спирально-витые трубопроводы, изготавливаемые из листовой стали, покрытой пластмассой, полимерные армированные трубопроводы, способные выдерживать высокое давление и механические нагрузки.

Все предлагаемые улучшения, несомненно, повышают качество и надежность тормозных систем, но проблему наличия «воды» в тормозной системе они решить не в состоянии. При эксплуатации транспорта в холодное время года в трубопроводах и компонентах тормозных систем находящаяся влага попросту замерзает, вынуждая тормозную систему работать неэффективно, или делая невозможным функционирование её отдельных элементов. Так как предотвратить конденсацию влаги в тормозной системе не удаётся, на первом этапе борьбы с «водой» в тормозной системе предпринималась установка дренажных кранов в местах наибольшего скопления влаги, а также предполагалось применение спиртосодержащих технических жидкостей, предотвращающих замерзание конденсата в тор-

мозных системах. С этой целью в состав тормозных систем включались следующие компоненты:

- Дренажные клапаны, которые имеют ручной, автоматический или полуавтоматический привод;
- Очистители воздуха, которые отделяют конденсат, и защищают компоненты тормозных систем от загрязнений, одновременно препятствуя проникновению в тормозную систему масел, масляного нагара и прочих твердых частиц, способных нанести ущерб тормозной системе.
- Предохранители от замерзания и насосы-предохранители от замерзания, которые автоматически подают в тормозную систему транспортного средства спиртосодержащие жидкости – антиобледенители.

Очистители воздуха, дренажные клапаны и предохранители от замерзания влаги в тормозной системе увеличивают стоимость тормозной системы и увеличивают затраты на сервисное обслуживание транспортного средства. Однако, полная защита тормозных систем от находящейся в атмосферном воздухе влаги невозможна. В частности, невозможно установить дренажные клапаны в каждом компоненте тормозной системы, как и нет технической возможности обеспечить подачу антиобледенителя к каждому клапану и крану, к каждому исполнительному цилиндру. Наиболее эффективным средством борьбы с атмосферной влагой является хотя бы её частичное удаление из воздуха ещё до подачи сжатого воздуха в тормозную систему транспортного средства.

### Влагоотделитель

#### Почему необходим влагоотделитель?

Для тормозных систем автотранспортных средств большой и средней грузоподъемности сжатый воздух – оптимальный источник энергии и идеальное рабочее тело для управления переключателями устройствами в трансмиссии. Недостатком применения сжатого воздуха является его способность растворять в себе в виде водяного пара атмосферную влагу. Поэтому одной из важнейших задач является снижение влажности поступающего в пневматическую систему сжатого воздуха. Растворенный в воздухе водяной пар конденсируется, если сжатый и нагретый в результате сжатия в компрессоре воздух охладить до температуры окружающей среды. Конденсируемая влага скапливается в трубопроводах, воздушных резервуарах, клапанах-распределителях и пневматических цилиндрах. Влага наносит существенный ущерб компонентам пневматической тормозной системы и снижает общую работоспособность и эксплуатационную надежность тормозной системы транспортного средства:

- Замерзание воды в холодное время года делает невозможным работу клапанов;
- Происходит интенсивная коррозия резервуаров сжатого воздуха, клапанов-переключателей и цилиндров;
- Влага смывает масляную пленку с внутренних поверхностей компонентов пневматических систем,

вызывая быстрый износ трущихся деталей компонентов тормозных систем.

Раньше снижение влияния влаги на работоспособность пневматических систем обеспечивалось только пассивными мероприятиями, такими, как:

- Удаление выделившегося конденсата в воздушных резервуарах и очистителях воздуха с помощью ручных или автоматических устройств слива скопившегося конденсата;
- Принудительное впрыскивание в поступающий в систему воздух антиобледенителей (спиртов и спиртосодержащих растворов) посредством насосов для предохранения от замерзания с целью снижения температуры замерзания влаги в сжатом воздухе.

По сравнению с перечисленными выше мероприятиями, сушка поступающего в пневматическую систему сжатого воздуха является наиболее перспективным способом снижения риска образования конденсата в пневматических установках транспортных средств.

### Принцип сушки воздуха в пневматических системах современных автомобилей

Пневматические установки всех современных транспортных средств имеют аппаратуру для сушки поступающего в пневматическую систему сжатого воздуха. Сушка воздуха основана на принципе адсорбции влаги. Нагнетаемый сжатый воздух проходит через гранулированный адсорбент (впитывающее вещество), который удерживает структурой своей кристаллической решетки молекулы воды. Это явление получило название адсорбции (см. рис. 1).

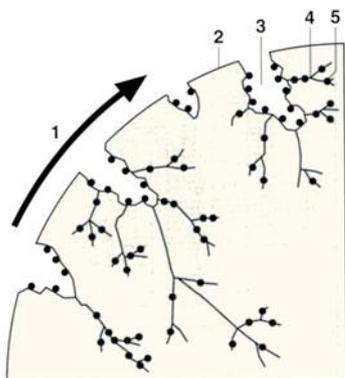


Рис. 1: Гранула впитывающего вещества (адсорбента); Источник: Bosch

Схема молекулярного сита

1. Воздух;
2. Поверхность гранулы;
3. Макропоры;
4. Микропоры;
5. Молекулы воды.

Способность сухого адсорбента к поглощению влаги увеличивается с ростом давления и снижением температуры сжатого воздуха (см. рис. 2).

Возможность удержания небольшого количества влаги воздухом при снижении атмосферного давления используется для регенерации адсорбента. При этом часть высушенного сжатого воздуха, хранимого в ресивере регенерации, направляется через дроссель в осушитель воздуха в направлении, противоположном нагнетаемому потоку воздуха. Молекулярные сита отдадут большую часть впитанной её кристаллической

решеткой влаги протекающему мимо неё сухому воздуху. Уже на начальном этапе сушки значительная часть воды, которая сосредоточена в микропорах молекулярных сит гранулированного адсорбента, уносится в виде пересыщенного пара в атмосферу при работе компрессора на холостом ходе, который обеспечивается переключением регулятора давления с режима «заполнения» на режим «холостого хода».

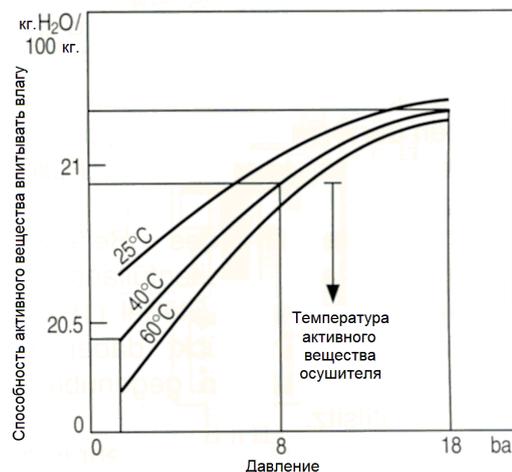


Рис. 2: Зависимость от уровня давления и температуры воздуха на способность активного вещества адсорбента впитывать влагу; Источник Bosch

### Точка россы

Под точкой россы понимают ту температуру, при которой воздух при определенном давлении имеет 100% относительную влажность, то есть, достигает точки насыщения парами воды. В холодных и умеренных, а также влажных теплых климатических зонах окружающая температура может в течение 12 часов разница на 20°C. В условиях резкого падения температуры никакая традиционная пневматическая установка с системой сброса конденсата не сможет справиться с таким количеством конденсируемой влаги, поэтому современные системы транспортных средств снабжены системой сушки воздуха. При правильном расчете пневматической установки и её комплектации воздушной сушилкой необходимо учитывать безопасный интервал температуры в 5...10°C (понижение точки россы при данном давлении на 25...30°C), так как в противном случае обильное выпадение конденсата может произойти уже при относительной влажности 60%.

### Влажность воздуха

Воздух способен растворить в себе определенную массу воды в виде водяного пара. Если эта масса водяного пара будет превышена, водяной пар начинает конденсироваться.

Относительная влажность воздуха указывает процентное отношение фактической массы водяного пара в воздухе к максимально-возможному (насыщенному) содержанию водяного пара в воздухе при данной температуре и давлении воздуха. Таким образом, два параметра состояния воздуха – его температура и давление определяют массу водяного пара в точке насыщения. При определении производительности установки для сушки воздуха важно знать влажность воздуха, поступающего в компрессорную установку. Из-за раз-

личия климатических условий влажность воздуха, поступающего в компрессор, может сильно различаться, что оказывает существенное влияние на выпадение влаги в точке россы.

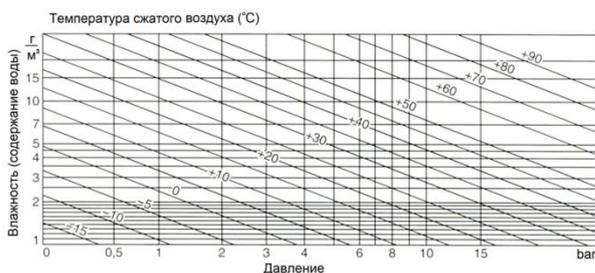


Рис. 3: Зависимость влажности насыщенного воздуха от его температуры и давления; Источник: DIN 1343 – Deutsche Industrie-Norm = Германский промышленный стандарт)

Анализ данных о средне годичной влажности воздуха в различных регионах европейской климатической зоны показал результаты: в 1 кубическом метре воздуха содержится не менее 10 грамм воды. Такая же масса воды может содержаться в воздухе, сжатом до давления в 8 bar, и имеющем температуру на входе в осушитель воздуха около 65°C. При более высокой влажности воздуха часть водяного пара будет конденсироваться в трубопроводах, подводящих воздух к осушителю, а также на внутренних стенках сменного картриджа перед гранулированным адсорбентом. При переключении регулятора давления воздуха с режима «наполнение» на режим «холостой ход» расширяющийся сжатый воздух выпускается в атмосферу.

#### Назначение однокамерного осушителя воздуха

Осушитель воздуха или, как его ещё именуют, влагоотделитель предназначен для очистки и удаления влаги из нагнетаемого компрессором сжатого воздуха.

#### Принцип действия.

*Вариант 1 (управление через отдельный регулятор давления)*

##### Первая фаза

В фазе наполнения системы нагнетаемый компрессором воздух попадает через присоединение (1) в камеру (A). Здесь конденсат, образовавшийся в результате снижения температуры сжатого воздуха, по каналу (C) попадает в выпускное отверстие (e). Далее подаваемый воздух через фильтр тонкой очистки (g), встроенный в сменный картридж, и кольцевую камеру (h), стремится к верхней части картриджа, заполненного адсорбентом (b). При прохождении через гранулы адсорбента (b) из воздуха выводится влага и осаждается в его поверхностном слое (a).

Осушенный воздух через обратный клапан (c), присоединение (21) и 4-контурный защитный клапан, попадает в ресиверы всех контуров пневматической системы транспортного средства и его прицепа.

Одновременно, осушенный воздух через дроссельное отверстие и присоединение (22) поступает в ресивер регенерации.

При достижении давления отключения нагнетания сжатого воздуха компрессором регулятором давления, воздух через присоединение (4) от регулятора давления подается в камеру (B). Под действием сжатого воз-

духа, подаваемого в камеру (B), поршень (d) перемещается вниз, открывая выпускное отверстие (e). Воздух из камеры (A) по каналу (C) и через выпускное отверстие (e) выходит в атмосферу.

Из ресивера регенерации воздух через дроссельное отверстие стремится к нижней части картриджа с адсорбентом. В результате снижения давления в корпусе картриджа, влага, впитанная адсорбентом, интенсивно выделяется на поверхности гранул. Протекающий через адсорбент воздух захватывает выступившую на поверхности гранул влагу и выводит её через канал и через открывшееся выпускное отверстие (e) наружу.

При снижении давления в пневматической системе транспортного средства до величины, соответствующей давлению включения нагнетания, воздух перестаёт поступать через отверстие (4) в камеру (B) из регулятора давления. Выпускное отверстие (e) закрывается, и процесс сушки воздуха повторяется.

Нагревательный элемент (f), вмонтированный в корпус осушителя в области поршня (d), позволяет избежать проблем, связанных с образованием льда в холодное время года, и, как следствие, отказа в работе осушителя.

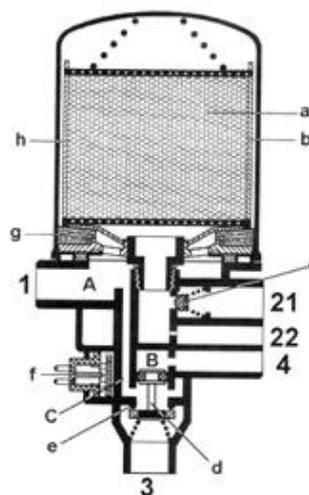


Рис. 4: Конструкция однокамерного осушителя воздуха; Источник: Wabco

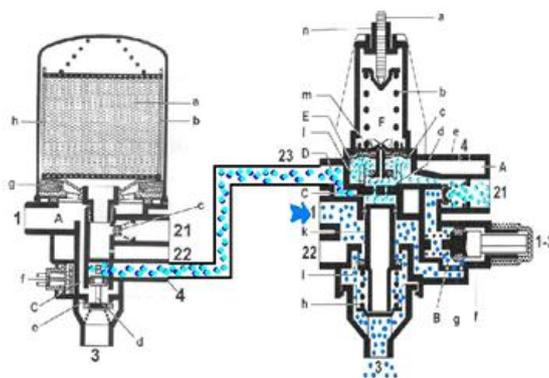


Рис 5: Совместная работа регулятора давления и осушителя воздуха. Фаза 1

На рисунке 4 изображена начальная стадия очистки адсорбера, когда воздух, поступивший в надпоршневую полость (C) регулятора давления, через присоединение (23) и соединительный трубопровод проникает в корпус осушителя через присоединение (4).

## Вторая фаза

Поступивший в полость (В) осушителя сжатый воздух открывает поршень (d). Сжатый воздух из ресивера регенерации через присоединение (22) осушителя производит продувку адсорбера. Выделившаяся в результате снижения давления на поверхности гранул влага подхватывается обратным потоком воздуха и вместе с ним выбрасывается из корпуса осушителя через открывшийся клапан и выпускное отверстие 3.

Работа системы регенерации позволяет сохранять в рабочем состоянии сменный картридж осушителя воздуха довольно продолжительное время. В условиях холодной зимы особенно важна исправная работа системы регенерации осушителя воздуха, поскольку смерзшиеся гранулы адсорбента сделают невозможной работу системы подготовки воздуха из-за полной потери пропускной способности картриджа осушителя воздуха.

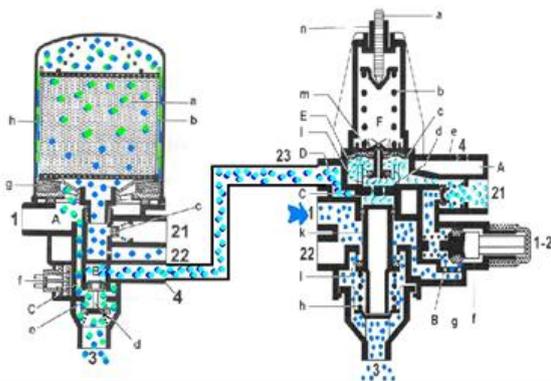


Рис. 5: Совместная работа регулятора давления и осушителя воздуха. Фаза 2

По завершении регенерации гранулят в картридже готов снова принимать влагу из нагнетаемого в тормозную систему сжатого воздуха. Однако воздух для регенерации гранулята должен вновь быть изъят из пневматической тормозной системы, то есть, на компрессор возлагается дополнительная задача по периодическому транспортированию сжатого воздуха в ресивер регенерации. По этой причине время заполнения пневматической системы компрессором до момента отключения подачи воздуха регулятором давления увеличивается.

Температура поступающего в осушитель нагнетаемого воздуха по указаниям производителей аппаратуры пневматических систем транспортных средств не должна превышать 60...65°C при условии, что температура окружающего воздуха не превышает 25°C.

Коэффициент полезного действия (эффективность осушителя воздуха) зависит как от температуры, так и от массы подаваемого для регенерации воздуха.

Производитель осушителей воздуха утверждают, что при упомянутых выше условиях снижение давления сжатого воздуха и его охлаждение до точки росы, соответствующей приблизительно 30°C возможно. То есть, выходящий из осушителя воздух может охлаждаться в нем до температуры 30°C, прежде, чем из сжатого воздуха может снова выделиться влага.

Срок службы гранулята зависит от того, как скоро гранулят будет загрязнен, в частности, смазочным маслом, а в особенности масляным нагаром. Поэтому осушаемый сжатый воздух, прежде он вступит с контакт с гранулятом, должен пройти предварительную фильтра-

цию для освобождения от находящихся в нем загрязнений.

При нормальных обстоятельствах, в частности, при исправной компрессорной установке, которая не подает излишнего масла в пневматическую систему, сменный картридж, заполненный гранулятом, необходимо заменять примерно через 2 года.

Продолжительность заправки пневматической системы транспортного средства в случае установки воздушного осушителя и ресивера регенерации, повышается приблизительно на 10%. Резервуар для хранения сжатого воздуха, необходимого для регенерации осушителя, подбирается в зависимости от объема пневматической системы состава транспортных средств, но, как правило, производители транспортных средств ограничиваются установкой ресивера регенерации для транспортных средств с рессорной подвеской объемом 5 литров. С другой стороны, регенерация осушителя происходит только на режиме холостого хода компрессора, поэтому снижение эффективности компрессорной установки более чем на 70% от номинального значения ставит под угрозу регенерацию гранулята осушителя воздуха.

Наряду с отдельно устанавливаемым осушителем и регулятором давления сжатого воздуха в современных транспортных средствах устанавливаются осушители с интегрированным регулятором. Так как поступающий в осушитель воздух при отсутствии в системе установки для подачи в воздух антифриза лишается части конденсата ещё до поступления сжатого воздуха к грануляту, эта влага может скопиться в нижней части осушителя, и замерзнуть в холодное время года. Для предотвращения замерзания влаги в нижней части осушителя устанавливается электрический нагреватель.

## Вариант 2 — управление с помощью встроенного регулятора давления

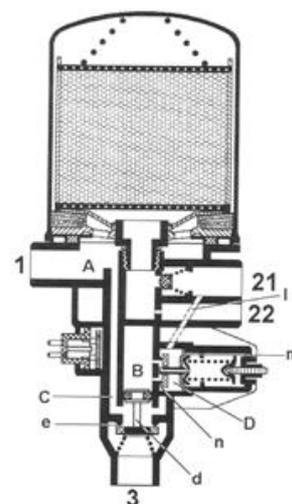


Рис. 6: Осушитель воздуха со встроенным регулятором давления в разрезе

Сушка воздуха осуществляется так же, как это было описано выше. Однако в этом исполнении воздух попадает через отверстие (i) попадает в камеру (D) и давление отключения действует на мембрану (m). Преодолев усилия пружины, мембрана, прогибаясь, открывает отверстие (n). Воздух проникает в полость (B)

и, воздействуя на поршень (d), открывает выпускное отверстие (e).

Если давление в устройстве падает ниже давления включения, впускное отверстие (n) закрывается, и поршень (d) в результате воздействия пружины закрывает отверстие (e). Давление в камере (C) поднимается и процесс осушки воздуха повторяется.

### Ресивер регенерации осушителя

Производитель компонентов пневматических систем транспортных средств Knorr Bremse рекомендует определять необходимый объем ресивера регенерации, исходя из следующих критериев:

- Полного объема пневматической системы тягача и буксируемого транспортного средства;
- Давления, ограничиваемого регулятором давления
- Разницы давлений включения и выключения подачи сжатого воздуха регулятором давления
- Относительного времени эффективной работы компрессора

При относительном времени эффективного действия компрессора в 40% объем ресивера регенерации подбирают исходя из давления отключения подачи сжатого воздуха регулятором давления и полного объема пневматической системы тягача (сцепке транспортных средств). Указанная зависимость отображена на рисунке 7.

Давление выключения подачи сжатого воздуха регулятором давления (bar)	7,35	8,1	10,0	12,0
Полный объем тормозной системы (литр)				
80	4 литра			
100				
120				
160	7 литров	5 литров		
200	9 литров			

Рис. 7: Рекомендуемый Knorr Bremse объем ресивера регенерации; Источник: TAK

### Техническое обслуживание

При нормальных условиях эксплуатации в климатической зоне с умеренно влажным климатом исходят из того, что картридж с гранулятом требует замены с периодичностью около 2 лет. Отслуживший срок картридж с гранулятом, а также остатки изолирующей мастики, удаляемой с корпуса осушителя и его резьбовой части, следует утилизировать, как сложные промышленные отходы. Как правило, при смене картриджа, рекомендуется произвести замену всех уплотнений. При установке сменного элемента осушителя воздуха следует применять герметики, рекомендуемые производителем аппаратуры пневматических систем транспортных средств. Затяжку картриджа следует произво-

дить с моментом, указанным производителем пневматической аппаратуры.

### Испытания

Работоспособность осушителя воздуха следует проверять при каждом плановом техническом обслуживании транспортного средства. Самым доступным методом проверки является оценка качества очистки сжатого воздуха от влаги путем наблюдения за содержанием влаги и масла в воздухе при открытии дренажных клапанов ресиверов.

Если испытания показывают наличие большого количества влаги в воздухе, выпускаемом через дренажные клапаны, это свидетельствует об исчерпанном ресурсе гранулята, или его пассивации поступающим из компрессора маслом.

Тормозная система автопоезда должна обладать герметичностью, поскольку даже незначительные утечки воздуха значительно увеличивают время эффективной работы компрессорной установки, что влечет за собой снижения качества регенерации осушителя.

В заключение, предлагаем самостоятельно рассмотреть конструкцию осушителя воздуха, поставляемого БелОМО – Белорусским Оптико-механическим объединением

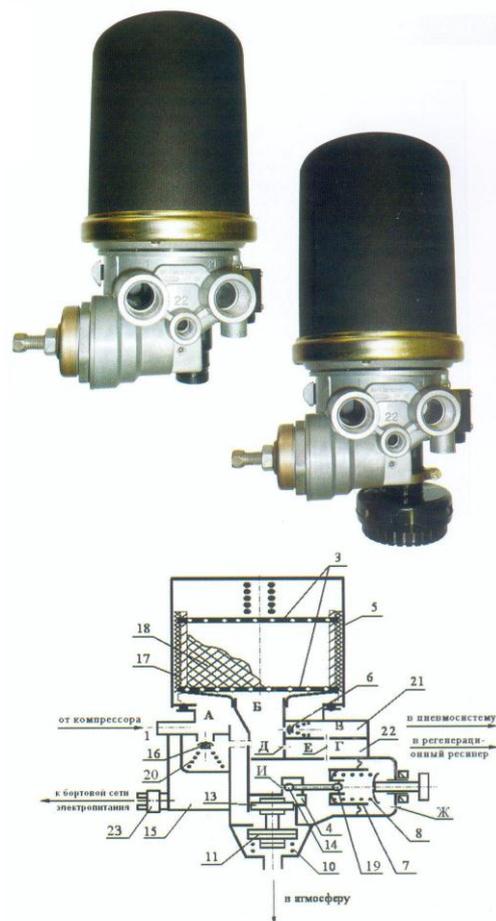


Рис. 8: Осушитель воздуха, поставляемый БелОМО; Источник: БелОМО