

Днепропетровский институт инженеров  
железнодорожного транспорта им. М. И. Калинина

---

На правах рукописи

ГОЛОВАЧ Юлий Николаевич

**Исследование и разработка устройств  
для предотвращения замерзания влаги  
в пневматических магистралях  
электроподвижного состава  
железнодорожного транспорта**

05.22.07—подвижной состав и тяга поездов

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК 1979

**НТБ  
ДНУЖТ**

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте электровозостроения (ВЭЛНИИ) и в Новочеркасском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте им. Серго Орджоникидзе.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент **Ушаков В. Г.**

Научный консультант: кандидат технических наук, старший научный сотрудник **Скогорев И. В.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук **Иноземцев В. Г.**, кандидат технических наук, доцент **Балон Л. В.**

Ведущее предприятие: Главное управление локомотивного хозяйства МПС. Защита состоится „24“ мая 1979 г. в 14 час. на заседании специализированного совета Д.01 Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта им. М. И. Калинина, 320629, ГСП, Днепропетровск, ул. Университетская, 2.

Специально ознакомьтесь в библиотеке Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта им. М. И. Калинина.

„29“ марта 1979 г.

специализированный  
кандидат

П. В. Петрович.

НБ  
ДНУЖТ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы.* Решениями XXV съезда КПСС и Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по развитию железнодорожного транспорта в 1976—1980 годах» предусматривается дальнейшее повышение эффективности использования транспортных средств, провозной и пропускной способности железнодорожных линий, повышение массы и скорости движения поездов.

Бесперебойная работа железнодорожного транспорта зависит от многих факторов, среди которых важное место отводится безотказному действию пневматического оборудования локомотива. На устойчивую эксплуатацию пневматических сетей локомотивов оказывает значительное влияние качество сжатого воздуха, определяемое степенью его очистки от твердых примесей, масла и влаги. Особенно неблагоприятно воздействуют влага и масло. Влага замерзает в трубопроводах и пневматическом оборудовании, что может приводить к его отказам. Масло, попадая на электроизоляционные поверхности, вместе с влагой и пылью создает условия для электрического перекрытия по поверхности изоляции, утечек тока и, как следствие, для разрушения аппаратов. Это создает аварийную ситуацию и зачастую приводит к вынужденной остановке поезда на перегоне. Современные методы подготовки сжатого воздуха на локомотивах не в полной мере обеспечивают требуемое его качество. Исследования показали, что к наиболее эффективным средствам, предотвращающим замерзание влаги в пневматических магистралях локомотивов, относятся введение в сжатый воздух спирта и предварительная его осушка. Первый метод реализуется на электровозах серии «К» (ФРГ) и серии ЧС (ЧССР). Опыт эксплуатации локомотивов показал, что дозаторы спирта работают неудовлетворительно. Кроме того, отсутствуют научно обоснованные нормы расхода спирта, методики расчета дозаторов, вследствие чего существующие их конструкции имеют неудовлетворительные характеристики.

67772

НЕ  
ДНУЖТ

Второй метод—осушение сжатого воздуха. Наиболее широко применяется в промышленности адсорбционный метод. Адсорбционные установки в основном используются для осушения сжатого воздуха в стационарных условиях. В последнее время появились аналогичные устройства для экскаваторов, кранов, тепловозов, на зарубежных пассажирских электровозах. Анализ известных конструкций адсорбционных установок показал, что ни одна из них не может быть использована для осушения сжатого воздуха на грузовых электровозах. Исследования показали, что для электроподвижного состава наиболее перспективной является безнагревная адсорбция на коротких циклах. В силу специфических условий работы электровозных пневматических сетей не представляется возможным использовать известные методики расчета адсорбционных процессов при разработке установок короткого цикловой безнагревной адсорбции (КБА). Это вызвало необходимость постановки специальных исследований.

Применяемые на современных локомотивах устройства для очистки сжатого воздуха от примесей масла имеют недостаточную эффективность. Коэффициент очистки лучшего из них не превышает 22%, то есть значительное количество масла попадает в пневматическое оборудование и электрические аппараты, нарушая их нормальную работу.

Решением проблемы предотвращения замерзания влаги в магистралях электровоза и поезда и очистки сжатого воздуха от примеси масла является разработка устройств для введения в сжатый воздух спирта, адсорбционных установок, эффективных маслоотделителей.

Решение поставленной задачи способствует повышению безопасности движения, пропускной способности железных дорог и дает значительный экономический эффект. Это свидетельствует об актуальности реферируемой работы.

*Цель работы и задачи исследований.* Целью работы является разработка эффективных устройств для качественной подготовки сжатого воздуха пневматических систем электроподвижного состава.

Основные задачи. 1). Установить причины и места замерзания влаги, для чего исследовать температурный режим пневматических магистралей и изменение в них термодинамического состояния паровоздушной смеси. 2). Провести исследования процесса введения в сжатый воздух спирта и определить нормы его расхода. Разработать методики расчета спиртодозаторов и дать рекомендации по созданию их

эффективных конструкций. 3). Исследовать метод КБА с учетом условий эксплуатации подвижного состава, дать рекомендации по разработке адсорбционной установки для электровозов. 4) Установить возможность замены дорогостоящих общепромышленных адсорбентов более дешевыми. 5). Оценить пневмосистему электровозов на содержание в сжатом воздухе примесей масла и разработать эффективные маслоотделители.

*Методика исследований.* В основу работы положены результаты изучения отечественных и зарубежных достижений в исследовании методов подготовки сжатого воздуха.

Теоретически исследовались термодинамическое состояние паровоздушной смеси и динамическое равновесие водно-спиртового раствора в пневматической сети электровоза; гидроаэродинамические характеристики дозаторов спирта—распылителей и испарителей.

Экспериментально определялось распределение температур в пневматической магистрали, коэффициент испарения жидкости в локомотивном испарителе. Изучался процесс КБА и исследовалась зависимость степени осушки сжатого воздуха от конструктивных и эксплуатационных параметров. Получены расчетные уравнения и построены номограммы для разработки адсорбционной установки. Проведены экспериментальные исследования маслоотделителей. Экспериментальные исследования выполнены автором на электровозах ВЛ80Т и ВЛ10, тяговом агрегате ОПЭ-1 непосредственно в условиях эксплуатации, а также в лабораториях ВЭЛНИИ.

*Научная новизна.* В работе получены зависимости, позволяющие определить температуру внутренней стенки трубы по длине магистрали. Исследовано термодинамическое состояние водно-спиртовой смеси в пневматических магистралях электровоза. Получено и исследовано уравнение, связывающее расход спирта для введения его в сжатый воздух с погодными-климатическими условиями окружающей среды и характеристикой пневматической сети, и определены нормы расхода спирта. Установлен коэффициент испарения жидкости в локомотивном испарителе, разработана методика расчета спиртодозаторов и даны рекомендации по их проектированию с оптимальными параметрами. Исследован процесс короткоциклового безнагревной адсорбционной осушки сжатого воздуха применительно к условиям работы подвижного состава, получены соответствующие уравнения и номограм-

НЕ  
ДРУЖТ

мы. Исследован и применен эффективный и дешевый тип адсорбента—древесные опилки. Предложены принципиально новая система управления адсорбционной установкой и две конструкции патронных фильтров, защищенных авторскими свидетельствами.

*Практическая ценность.* Результаты исследований использованы при разработке: 1) дозаторов спирта, устанавливаемых на тяговых агрегатах ОПЭ-1 Новочеркасского электровозостроительного завода; 2) короткоцикловой безнагревной адсорбционной установки, внедренной на электровозах серий ВЛ10, ВЛ14 и ВЛ84 для Байкало-Амурской магистрали; 3) маслоотделителя, внедренного на электровозах ВЛ10, ВЛ14 и ВЛ84. Народнохозяйственный годовой экономический эффект от внедрения адсорбционных установок составляет на один электровоз 500 руб. при адсорбции на синтетических цеолитах NaA и 585 руб. при адсорбции на древесных опилках.

*Апробация работы.* Основные положения работы были доложены на сетевой научно-технической конференции «Динамика и меры повышения эксплуатационной надежности локомотивов в условиях железных дорог Урала и Сибири», г. Омск, 1972 г.; на XXIII научной конференции Новочеркасского политехнического института, г. Новочеркасск, 1973 г.; на IV Всесоюзной научно-технической конференции «Конструирование, технология изготовления и эксплуатация компрессорных машин различного назначения», г. Сумы, 1974 г.; на сетевом научно-техническом совещании «Повышение надежности локомотивов и система их ремонта», г. Омск, 1975 г.; на научном семинаре «Механизация и автоматизация горных работ» и на XXV научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Новочеркасского политехнического института, г. Новочеркасск, 1976 г.; на IV Северо-Кавказском региональном совещании по рекуперации химических продуктов—отходов промышленных предприятий и борьбе с загрязнениями окружающей среды, г. Невинномысск, 1977 г.; на V Всесоюзной научно-технической конференции по компрессоростроению «Повышение эффективности и совершенствование компрессорных машин и установок», г. Москва, 1978 г.; на теоретическом семинаре кафедр механического факультета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск, 1978 г.; на совместном заседании секции аэродинамики, теплопередачи и пневматики научно-техниче-

ского совета ВЭЛНИИ и кафедры теоретических основ тепло-техники и гидравлики Новочеркасского политехнического института, г. Новочеркасск, 1978 г.; на семинаре кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта, г. Ростов н/Д, 1979 г.; на научно-техническом совещании отделения авторемонтного хозяйства ЦНИИ МПС, г. Москва, 1979 г.

Работа «Электровозная адсорбционная установка» заняла второе место на конкурсе «На лучшие конструкторские, исследовательские и технологические работы за 1975 — 1976 гг.», объявленном Ростовским областным научно-техническим обществом электротехники и электротехнической промышленности.

*Публикация.* По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, получено 3 авторских свидетельства на изобретения.

*Объем работы.* Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и предложений, списка литературы, пяти приложений и содержит 130 страниц машинописного текста, 4 таблицы и 69 рисунков, литературы 138 наименований.

*Содержание работы.* В первой главе рассмотрены современные проблемы подготовки сжатого воздуха в пневматических магистралях электроподвижного состава железнодорожного транспорта. Практика эксплуатации электровозов показывает, что их пневматические системы работают недостаточно надежно. Основной причиной отказов и повреждения пневматического оборудования является наличие в сжатом воздухе влаги и масла. Особенно резко это проявляется при отрицательных температурах атмосферного воздуха, когда возможно ее замерзание. Замерзание влаги создает аварийную ситуацию, угрожающую безопасности движения. Остановка поезда на перегоне может явиться причиной задержки следующих за ним поездов, сбой в графике движения, ухудшения использования локомотивов и вагонов, срыва сроков доставки грузов потребителю и т. д. Это причиняет народному хозяйству значительный экономический ущерб. Влага совместно с маслом является причиной разрушения электрических аппаратов. Например, в высоковольтных выключателях ВОВ-25/4 М происходит перекрытие по внутренней поверхности изоляторов с разрушением глазуревого покрытия, замена и ремонт которых приносят ущерб в сумме 200—250 руб. на один электровоз. Эти данные сви-

детельствуют об актуальности проблемы подготовки сжатого воздуха в пневмосистемах локомотивов.

Для улучшения качества сжатого воздуха в тормозных и вспомогательных цепях пневматические схемы локомотивов предусматривают охлаждение его в трубопроводах и главных резервуарах удаление сконденсированной влаги и зарядку тормозной магистрали и цепей управления воздухом пониженного давления. При этом его относительная влажность снижается. Однако опыт эксплуатации показывает, что это не дает должного эффекта, так как влага замерзает не только в питательной магистрали, но и в сетях с пониженным давлением воздуха (междукузовные соединения, кран машиниста, тормозные цилиндры, цепи управления и др.).

Проведенный анализ применяющихся в настоящее время в технике методов подготовки сжатого воздуха показывает, что предотвратить замерзание влаги можно либо введением в него спирта, либо его предварительным осушением. Первый метод реализован на электровозах серии «К» (ФРГ), ЧС (ЧССР), на партии электровозов ВЛ23 (СССР). Опыт эксплуатации этих локомотивов свидетельствует о неудовлетворительной работе дозаторов жидкости. Так, распылители имеют недостаточную производительность, а испарители—завышенную. Изучение литературных источников показало отсутствие научно обоснованных норм расхода спирта методики расчета дозаторов жидкости. Этим и объясняется отсутствие аппаратов с оптимальными характеристиками.

Из методов осушения сжатого воздуха наиболее перспективным является адсорбционный. Другие методы по различным причинам не могут быть применены в локомотивостроении.

Для многократного использования адсорбента блоки осушки состоят из двух адсорберов. В то время как в одном из них происходит осушение воздуха, в другом—осуществляется регенерация адсорбента. Регенерация адсорбента осуществляется двояко: либо повышением его температуры путем продувки горячим воздухом, либо продувкой слоя адсорбента воздухом с пониженным парциальным давлением водяных паров (безнагревная регенерация).

Адсорбционные установки широко применяются для осушения сжатого воздуха в стационарных условиях. В последнее время в отечественном и зарубежном локомотиво-

НИИ  
ДНУЖТ

строении предприняты усилия для создания таких устройств применительно к условиям работы локомотивов. Во Всесоюзном научно-исследовательском тепловозном институте (ВНИТИ) исследованы и разработаны установки для осушения сжатого воздуха в пневматических сетях тепловозов. В установках применена термическая регенерация адсорбента, причем нагрев регенерационного воздуха осуществляется теплом выхлопных газов дизеля. Термическая регенерация адсорбента предусматривает разогрев слоя до температуры 200—400°С. Это требует применения электрических нагревательных элементов, усложняющих конструкцию адсорбционной установки и обслуживание, снижающих их надежность. Других источников тепла на электровозах не имеется. Продолжительность цикла таких установок составляет 4—16 часов, что значительно усложняет возможность автоматизации управления процессами. Стадию регенерации адсорбента, продолжающуюся часами, прерывать нельзя. Эти условия трудновыполнимы при работе электровозов (различные длины плеч, стоянки электровозов с опущенным токоприемником, обезличенное вождение и обслуживание). На магистральном электровозе 060-ЕА производства Швеции применена одноадсорберная короткоцикловая безнагревная адсорбционная установка (КБА). Такая схема имеет ряд преимуществ из-за простоты исполнения. Однако ей присущи крупные недостатки, связанные с изменением в адсорбере процессов осушения воздуха и десорбции поглощенной влаги на противоположные при каждом пуске—остановке компрессора. К ним относятся: непроизводительный расход воздуха, находящегося в адсорбере под рабочим давлением и сбрасываемого в атмосферу при каждой остановке компрессора, повышенный износ адсорбента, повышенный расход регенерационного воздуха для компенсации ухудшения процесса адсорбции в начале стадии поглощения влаги за счет высоких скоростей воздуха в адсорбере.

Наиболее приемлемой для условий работы электровозов является короткоцикловая безнагревная двухадсорберная установка. Эффективность процесса зависит от длительности цикла адсорбции—десорбции, влагосодержания осушаемого воздуха, массы адсорбента и степени его использования, количества осушаемого и регенерационного воздуха. Эти величины взаимосвязаны, а готовых рекомендаций по их выбору в литературе не содержится. Поэтому для

НЕ ДАВАТЬ

разработки электровозной адсорбционной установки указанные данные необходимо получить экспериментально.

Вторая глава посвящена исследованию и разработке аппаратов для предотвращения замерзания влаги в пневматических магистралях электроподвижного состава. Для определения причин и мест замерзания влаги, разработки устройств, исключающих это явление, необходимо знать температурный режим пневматической сети, границы зон конденсации водяных паров и характер распределения конденсата по длине трубопроводов в зависимости от температуры и относительной влажности атмосферного воздуха. Подобные исследования проведены В. М. Казариновым для пневматических магистралей паровозов типа ФД, А. А. Шаруниным для электровозов ВЛ23, Карминским Д. Э., Финкельштейном Г. М., Риполь-Сарагоси Т. Л. и Шевченко К. Д., для электровозов ВЛ60 и тяговых агрегатов ОПЭ-1. Для современных магистральных электровозов с другими характеристиками пневматической сети этих материалов недостаточно. Кроме того, указанные исследователи определяли температуру ядра потока сжатого воздуха, в то время как более низкую температуру имеет внутренняя стенка трубопровода, на которой и начинается конденсация водяных паров. Автор экспериментально изучил характер распределения температур внутренней стенки трубы  $t_{\text{мар}}$  по длине магистрали при квазистационарном тепловом режиме и получил уравнение

$$t_{\text{мар}} = t_0 + (t_{\text{вх}} - t_0) \exp(-x/l).$$

Коэффициент  $x$  зависит от характеристики пневматической сети и условий охлаждения трубопровода и имеет одинаковые значения для участков магистрали с идентичными условиями охлаждения, но различные для моментов пуска и остановки компрессора. Для участка магистрали от компрессора до промежуточного холодильника коэффициент  $x$  равен соответственно 0,0952 и 0,0924; для промежуточного холодильника—0,048 и 0,0478, для главных резервуаров—0,0386 и 0,04. Установлено, что перегревы стенки трубы на выходе из главных резервуаров составляют 7°C. Дальнейшее охлаждение сжатого воздуха происходит в тормозной магистрали, в цепях управления и т. д. Аналитические исследования термодинамического состояния паровоздушной смеси показали, что конденсация влаги при положительных температурах атмосферного воздуха начинается на расстоя-

нии 6—7 м от компрессора, а при отрицательных оно увеличивается до 9—11 м. В этих местах и следует устанавливать устройства для подготовки воздуха. Исследование фазового состояния влаги в пневмосистеме показало, что при температурах атмосферного воздуха ниже минус 20°C в магистрали возможна ее сублимация, в этом случае механические влагоотделители практически неработоспособны.

Предотвратить замерзание влаги в магистрали можно введением в сжатый воздух спирта. Автором исследовано термодинамическое состояние водно-спиртовой смеси в магистрали и получено аналитическое выражение для определения расхода спирта  $g_{сп}$  в функции погодных-климатических условий работы локомотивов и характеристики его пневматической сети:

$$g_{сп} = 100 \frac{a}{100 - a} \left[ \varphi_0 \varphi_0 - \frac{804 p_{в.р}}{(1 + \alpha t_0) p_1} \right] + \frac{K}{273 + t_0} p_{сп} \frac{p_0}{p_1}. \quad (1)$$

Из номограммы на рис. 1, а, построенной по (1), следует, что максимальный расход спирта (0,73 г/м<sup>3</sup>) имеет место при  $t_0 =$  минус 10—минус 15°C и  $\varphi_0 = 100\%$ . На такую производительность и должны рассчитываться дозаторы спирта.

Типичная схема спиртоиспарителя, устанавливаемого на локомотивах, приведена на рис. 1, б. Для определения производительности аппарата (по спирту) необходимо знать расход воздуха  $V_1$  над поверхностью испарения и коэффициент испарения  $A$ . В результате гидроаэродинамических исследований получено уравнение для определения  $V_1$ :

$$V_1 = V_0 \frac{d_1}{d_1} \sqrt{\left[ \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^4 (1 + \zeta_c) - 1 \right] \left[ \zeta_1 + \zeta_{II} \left( \frac{d_1}{d_{II}} \right)^2 \right]}.$$

Коэффициент испарения является функцией числа Рейнольдса. Для случая испарения жидкости со свободной поверхности эта зависимость достаточно полно изучена многими исследователями [1]. В рассматриваемом аппарате характер движения воздуха над поверхностью испарения весьма сложен, поэтому коэффициент  $A$  определялся экспериментально. Найдена зависимость, имеющая вид

$$A = 0,13 Re^{0,8}.$$

В результате исследований получена формула производительности спиртоиспарителя

$$g_{\text{сп}} = 0,308d_0^{0,2} \frac{D\rho_{\text{сп}}}{T_{\text{п}}} \left( \frac{V_1}{v} \right)^{0,8} \quad (2)$$

Расчеты по (2) показывают, что на электровозах серии «К» спиртоиспарители расходуют спирта в 2,6—4,2 раза больше потребного. Снизить производительность аппаратов можно уменьшением количества воздуха, проходящего над поверхностью испарения, либо периодической подачей спирта в сжатый воздух. Для обеспечения теоретических расходов спиртоиспарители следует выполнять с регулированием их производительности в функции  $t_0$ .

Расчитанный по предложенной методике спиртоиспаритель внедрен на тяговых агрегатах ОПЭ-1.

Для подачи в сжатый воздух спирта используется также спиртораспылитель, схема которого приведена на рис. 2, а. Методика расчета таких аппаратов отсутствует. В результате аналитических исследований получено уравнение для определения производительности спиртораспылителя

$$g_{\text{сп}} = \frac{F_{\text{п}}}{V_0} \sqrt{\frac{2\rho_{\text{сп}}}{\zeta_c} \left[ \frac{2V_0^2 \rho_{\text{вс}} \rho_0 T_{\text{сж}}}{\pi^2 d_1^4 \rho_1 T_{\text{вс}}} \left( \frac{d_1^4}{d_2^4} + \zeta - 1 \right) - g\rho_{\text{сп}}(L - H - H_{\text{к}}) \right]}. \quad (3)$$

Исследования по (3) спиртораспылителя электровозов ЧС, отличающегося от изображенного на рис. 2 отсутствием эжектирующей вставки, показали, что разрежение в зоне питателя недостаточно и спирт в сжатый воздух не попадает. Это и подтверждается результатами стендовых и эксплуата-

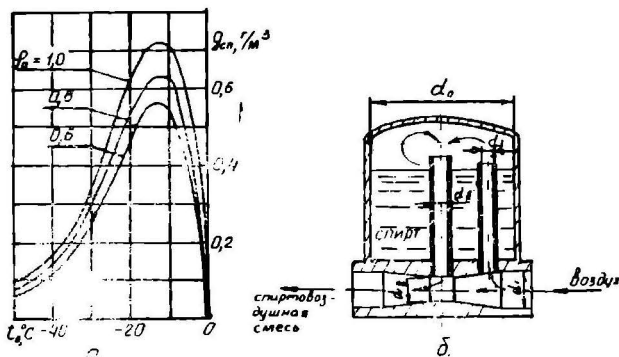


Рис. 1. а — зависимость расхода спирта от температуры атмосферного воздуха; б — спиртоиспаритель

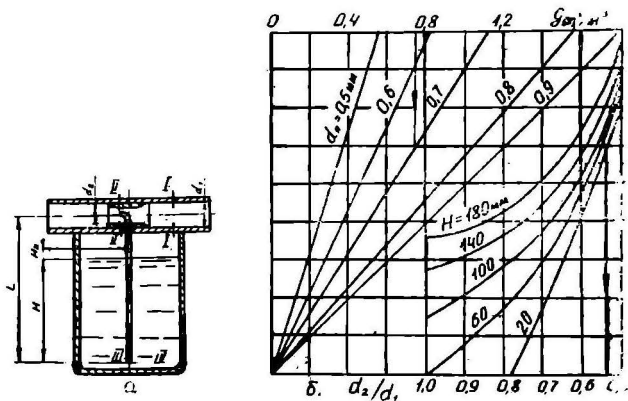


Рис. 2. — спиртораспылитель; б — номограмма производительности спиртораспылителя

ционных испытаний, выполненных в ЦНИИ МПС. Получение пужного разрежения автором достигнуто введением в зону питателя вставки в виде трубки Вентури. По (3) построена номограмма, представленная на рис. 2, б. Из нее следует, что при прочих равных условиях производительность спиртораспылителя зависит от уровня спирта в его резервуаре. Этот недостаток устраняется в разработанном автором аппарате постоянного уровня, экономия спирта в котором достигается свыше 11%.

Производительность спиртораспылителя зависит также и от температуры атмосферного воздуха. Так, аппарат, обеспечивающий потребный расход спирта при минус 10—минус 15 °С, уменьшает свою производительность на 2,5% при повышении температуры до 0°С и увеличивает на 20% при снижении ее до минус 50°С. В связи с этим фактические годовые расходы спирта превышают потребные в 1,45—1,6 раза. Для обеспечения экономичной работы спиртораспылители должны иметь температурную регулировку производительности.

В третьей главе проведены исследования процесса короткоциклового безнагревной адсорбционной осушки сжатого воздуха. В качестве адсорбента в опытах использовался наиболее эффективный из них—синтетический цеолит NaA. Кроме того, с целью поиска более дешевых и менее дефицитных поглотителей проведены исследования ад-

НИИ  
ДНУЖТ

сорбционных свойств древесных опилок, являющихся отходами деревообрабатывающей промышленности.

Эффективность процесса осушения сжатого воздуха в установках КБА (содержание влаги в осушенном воздухе  $C$ ) зависит от длительности полуцикла адсорбции—десорбции  $\tau_{\text{пн}}$ , содержания влаги  $C_0$  в осушенном воздухе, массы адсорбента  $G$ , количества осушаемого  $V_0$  и регенерационного воздуха  $V_p$ , степени использования адсорбента  $a_d$ . Основной объем экспериментальных исследований проводился в термовлагокамере при  $t_0=20^\circ\text{C}$  и  $\phi_0=80\%$  в соответствии с требованиями п. 3.15 ГОСТ 15150-69. Продолжительность включения компрессора принималась равной 33% по ТУ 34-856-76 на локомотивный компрессор КТ 6-Эл. Одной из важнейших характеристик КБА является длительность полуцикла адсорбционного процесса. На рис. 3 представлены зависимости температуры точки росы осушенного сжатого воздуха  $t_p$  от значения  $\tau_{\text{пн}}$  соответственно для цеолита NaA и древесных опилок; в качестве параметра принято  $V_p/V_0$ . Из графиков следует, что каждому  $V_p/V_0$  соответствует  $\tau_{\text{пн}}$ , при котором достигается наилучшая степень осушки. Положение экстремума кривых практически не зависит от величины  $V_p/V_0$ ; для цеолита оно наблюдается при  $\tau_{\text{пн}}=3,5$  мин, для древесных опилок при  $\tau_{\text{пн}}=8$  мин. Удлинение цикла уменьшает частоту срабатывания управляющей аппаратуры, уменьшает износ адсорбента, т. е. повышает надежность установки в целом. Кроме того, сокращаются непроизводительные расходы сжатого воздуха, неизбежные при переключении адсорберов с режима адсорбции на режим регенерации. Это снижает нагрузку на компрессор, повышает его срок службы. Что касается эффективности обоих типов адсорбента, то получаемые величины  $t_p$  и цеолитом, и древесными опилками практически равны при соответствующих им оптимальных значениях  $\tau_{\text{пн}}$ .

Обработка опытных данных привела к расчетной зависимости  $t_p=f(\tau_{\text{пн}})$ , имеющей вид: для цеолита NaA

$$t_p = \left[ 304,1 \left( 10 \frac{V_p}{V_0} \right)^{-2,845} + \left( 806 \frac{V_p}{V_0} - 182,35 \right) \tau_{\text{пн}} - \left( 151,69 \frac{V_p}{V_0} - 32,53 \right) \tau_{\text{пн}}^2 \right]^{0,5} \quad (4)$$

для древесных опилок

$$t_p = 0,0339 \tau_{\text{пн}} (\tau_{\text{пн}} - 17) \left( \frac{V_p}{V_0} \right)^{-1} + 1,41 \left( \frac{V_p}{V_0} \right)^{-1,4} \quad (5)$$

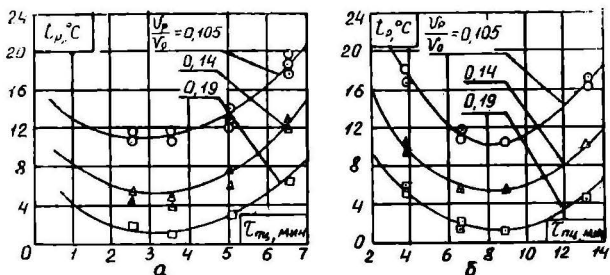


Рис. 3. Зависимость величины  $t_p$  от  $\tau_{\text{пц}}$  при осушении сжатого воздуха: а — цеолитом NaA; б — древесными опилками

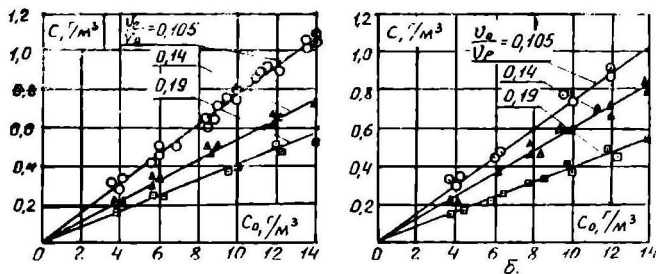


Рис. 4. Зависимость содержания влаги в осушенном воздухе от ее количества в осушаемом воздухе при адсорбции на: а — цеолите NaA; б — древесных опилках

На степень осушки сжатого воздуха оказывает влияние влагосодержание осушаемого воздуха  $C_0$ . Эта зависимость изучалась при оптимальных  $\tau_{\text{пц}}$ , равных 3,5 мин. для цеолита и 8 мин. для древесных опилок. Результаты экспериментов представлены на рис. 4. Исследуемая зависимость описывается уравнением: для цеолита NaA

$$C = C_0 \left[ 4,22 \left( \frac{V_p}{V_0} \right)^2 - 1,66 \frac{V_p}{V_0} + 0,205 \right], \quad (6)$$

для древесных опилок

$$C = C_0 \left( 0,118 - 0,452 \frac{V_p}{V_0} \right) \quad (7)$$

Сравнение результатов исследований показывает, что оба адсорбента обеспечивают достаточную степень осушки.

Расход воздуха на локомотивах при ведении поезда непостоянен во времени. Ввиду этого и продолжительность включения компрессоров является величиной переменной. С целью установления зависимости  $t_p = f(PB)$  для фиксированных значений ПВ компрессора в установленном режиме адсорбционного процесса определялись величины  $t_p$ . Опыты проводились при  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  и  $\phi_0 = 80\%$ . Из графиков на рис. 5 следует, что во всем реальном диапазоне значений ПВ компрессора оба типа адсорбента обеспечивают нужное качество сжатого воздуха.

Уравнение зависимости  $t_p = f(PB)$  имеет вид:  
для цеолита NaA.

$$t_p = \left[ 0,955 \left( 10 \frac{V_p}{V_0} \right)^{5,873} + 12,5 \right] (PB)^{0,663 - 2,528 \frac{V_p}{V_0}} - 7500 \left( \frac{V_p}{V_0} \right)^2 + 1620 \frac{V_p}{V_0} - 128, \quad (8)$$

для древесных опилок

$$t_p = \left[ 0,476 \left( 10 \frac{V_p}{V_0} \right)^{0,123} + 14,5 \right] (PB)^{0,257 + 2,3 \frac{V_p}{V_0}} - 15 \left( \frac{V_p}{V_0} \right)^2 - 7500 \left( \frac{V_p}{V_0} \right)^2 + 1620 \frac{V_p}{V_0} - 128. \quad (9)$$

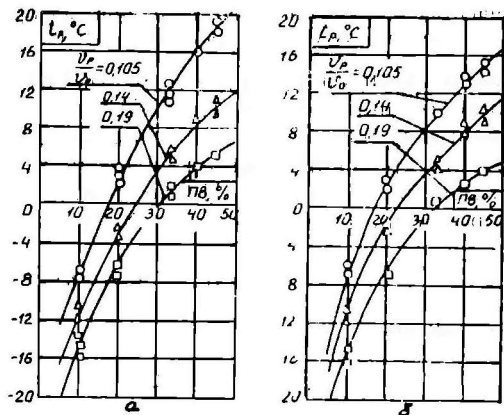


Рис. 5. Зависимость величины  $t_p$  от ПВ компрессора и адсорбции на: а — цеолите NaA; б — древесных опилках

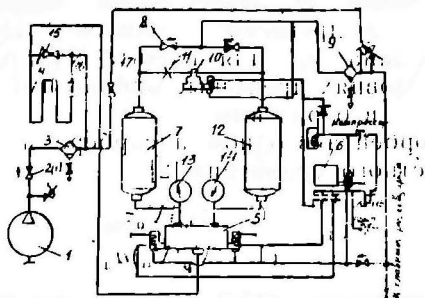


Рис. 6. Принципиальная электропневматическая схема короткоцикловой безнагревной адсорбционной установки

Значительный практический интерес представляет процесс осушения сжатого воздуха при различных  $t_0$ . Зависимость величины  $t_p$  от  $t_0$  определялась обработкой экспериментальных данных  $C=f(C_0)$ . В результате получены формулы зависимости  $t_p-f(t_0)$ : для цеолита NaA

$$t_p = \left( 0,986 - 0,823 \frac{V_p}{V_0} \right) t_0 - 98,8 \frac{V_p}{V_0} + 2,976, \quad (10)$$

для древесных опилок

$$t_p = \left( 0,97 - \frac{V_p}{V_0} \right) t_0 - 114,1 \frac{V_p}{V_0} + 4,58. \quad (11)$$

Расчеты показывают, что при любых значениях температур атмосферного воздуха от минус 50°C до плюс 50°C процесс осушения сжатого воздуха будет осуществляться с запасом по температуре точке росы 8—10°C.

Важнейшей характеристикой адсорбционного процесса является степень использования адсорбента, то есть количество влаги, поглощаемое единицей массы поглотителя. Ее величина может быть определена из уравнений: для цеолита NaA

$$a_d = C_0 \left( 0,03 \frac{V_p}{V_0} + 0,0258 \right), \quad (12)$$

для древесных опилок

$$a_d = C_0 \left( 0,32 \frac{V_p}{V_0} + 0,144 \right) \quad (13)$$

Сравнение величины  $a_d$  обоих типов адсорбентов свидетельствует в пользу древесных опилок. Например, при  $C_0 = 14 \text{ г/м}^3$  величина  $a_d$  для цеолита NaA составляет 0,4%. При этих же условиях древесные опилки имеют  $a_d = 2,46\%$ , то есть более чем в 6 раз выше.

Масса адсорбента в одном адсорбере может быть определена из известного уравнения [2]

$$G = \frac{(C - C_0)V_0\tau_{\text{пл}}}{(1 - V_p/V_0)a_d} \quad (14)$$

Значения входящих в (14) величин определяются из выражений (4)—(13).

Проведенные исследования процесса адсорбции позволили создать установку КБА для осушения сжатого воздуха на электроподвижном составе. Принципиальная электропневматическая схема установки приведена на рис. 6.

Короткоцикловая безнагревная адсорбционная установка внедрена на серии электровозов ВЛ10, прошла длительные эксплуатационные испытания, показала высокую эффективность и надежность, что и подтверждено актом межведомственной комиссии от 13 октября 1977 г. В настоящее время адсорбционная установка внедрена на электровозах переменного тока ВЛ84 для Байкало-Амурской магистрали и на электровозах постоянного тока ВЛ14.

Годовой народнохозяйственный экономический эффект от внедрения установок составляет 500 руб. на один электровоз при адсорбции на цеолите NaA и 585 руб. при адсорбции на древесных опилках.

Предложена принципиально новая система управления адсорбционной установкой, защищенная авторским свидетельством 610550.

Четвертая глава посвящена разработке эффективных маслоотделителей. Для очистки сжатого воздуха от примесей масла в пневматических схемах отечественных и зарубежных локомотивов применяются различные маслоотделители и фильтры. Эти аппараты недостаточно эффективны, коэффициент очистки наиболее эффективного из них не превышает 20—22%. Поэтому значительное количество масла с отработанным воздухом попадает на электроизоляционные поверхности и электрические контакты аппаратов, вызывая утечку тока, перекрытия по поверхности изоляции, отказы и разрушения оборудования.

Автором разработаны две конструкции патронных фильтров, имеющих коэффициент очистки 72—80%. Новизна технических решений подтверждена авторскими свидетельствами 554876 и 603405.

Патронный фильтр по а. с. 554876 внедрен на электровозах серии ВЛ10, ВЛ14, ВЛ84. Класс чистоты воздуха по содержанию в нем примесей масла по ГОСТ 17433-72 повышается с 12-го до 4-го.

## ВЫВОДЫ

1. Основной причиной отказов и повреждения пневматического оборудования подвижного состава является наличие в сжатом воздухе влаги и масла. Надежных устройств для подготовки сжатого воздуха на локомотивах в настоящее время нет, поэтому проблема получения качественного воздуха практически важна и актуальна.

2. Получены аналитические выражения для определения температур внутренней стенки трубопровода по длине магистрали, исследовано термодинамическое состояние в ней паровоздушной смеси. Установлено, что замерзание влаги может происходить не только в тормозной магистрали, но и в главных резервуарах. Следовательно, устройства для подготовки сжатого воздуха, как элементы пневматической схемы локомотива, должны размещаться перед главными резервуарами.

3. Исследовано термодинамическое состояние водно-спиртовой смеси в пневматической магистрали и установлены нормы расхода спирта, вводимого в сжатый воздух для предотвращения замерзания влаги. Максимальный его расход ( $0,73 \text{ г/м}^3$ ) имеет место при температурах атмосферного воздуха минус 10—минус 15°C.

4. Исследованы и разработаны аппараты для введения в сжатый воздух спирта (испарители и распылители). Получены аналитические выражения, связывающие производительность спиртодозаторов с их основными геометрическими параметрами, характеристикой пневматической сети и погодноклиматическими условиями их эксплуатации. Созданы методики инженерного расчета спиртодозаторов. Спиртоиспаритель внедрен на тяговых агрегатах ОПЭ-1, серийно выпускаемых Новочеркасским электровозостроительным заводом.

5. Проведены исследования короткоцикловой безнагревной адсорбционной осушки сжатого воздуха применительно к условиям работы пневматических систем подвижного со-

Железнодорожный транспорт  
им. М. И. Калинин

БИБЛИОТЕКА

Основной отдел

НИИ  
ДНУЖТ

ВЛ10

става. Установлена зависимость степени осушки от основных параметров адсорбционного процесса, предложены уравнения и номограммы для расчета адсорбционных процессов и адсорбционной аппаратуры.

Предложен и исследован эффективный, дешевый и недефицитный тип адсорбента—древесные опилки.

6. Разработана адсорбционная установка, которая внедрена на серии электровозов ВЛ10, на электровозах ВЛ14 и ВЛ84 для Байкало-Амурской магистрали. Система управления адсорбционной установкой защищена авторским свидетельством № 610550. Годовой народнохозяйственный эффект от внедрения адсорбционных установок в расчете на один электровоз составляет 500 руб при адсорбции на цеолитах и 585 руб при адсорбции на древесных опилках.

7. Разработаны и внедрены на электровозах ВЛ10, ВЛ14 и ВЛ84 патронные фильтры, обеспечивающие в 5,5 раза лучшую степень очистки сжатого воздуха от примесей масла по сравнению с существующими локомотивными маслоотделителями. При этом чистота воздуха по ГОСТ 17433-72 повышается с 12-го до 4-го класса. Аппараты защищены авторскими свидетельствами № 554876 и № 603405.

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\varphi_0, p_0, \rho_0$  — относительная влажность, давление атмосферного воздуха и плотность насыщенных водяных паров  $p_1$ —давление сжатого воздуха;  $t_{\text{вх}}$  — температура внутренней стенки трубы в начале участка длиной  $l$ ;  $p_{\text{н-р}}, p_{\text{сп}}$  — упругость водяных и спиртовых паров над водно-спиртовым раствором концентрации  $a$ ;  $K$ —константа для спирта;  $\alpha, \nu$  —коэффициент объемного расширения и кинематическая вязкость воздуха;  $\zeta_e, \zeta_T, \zeta_{II}$  — коэффициенты местных сопротивлений;  $T_{\text{вс}}, T_{\text{сж}}$  — абсолютная температура всасываемого и сжатого воздуха;  $g$ —ускорение силы тяжести;  $\rho_{\text{вс}}$  и  $\rho_{\text{сп}}$  —плотность всасываемого воздуха и спирта;  $F_{\text{п}}$  —площадь канала питателя.

#### ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А. В. Теория сушки.—М.-Л.; Госэнергоиздат, 1950.—416 с.
2. О влиянии изотермы адсорбции на эффективность короткоцикло-вой безнагревной адсорбции./Торочешников Н. С. Бочавер К. З. Кельцев Н. В. и др.—Адсорбенты, их получение, свойства и применение. Л., 1969 Материалы конф.—Л.: Наука, 1971, с. 183—187.

*Основное содержание диссертации опубликовано в работах:*

1. *Скогорев И. В., Головач Ю. Н.* Исследование возможности предотвращения замерзания конденсата в папорной и тормозной магистралях электроподвижного состава.—Динамика и меры повышения эксплуатационной надежности локомотивов в условиях железных дорог Урала и Сибири. Омск, 1972. Материалы конф.—Омск, 1973, с. 461—467.—(Омск. ин-т инж. ж.-д. трансп.).

2. *Скогорев И. В., Головач Ю. Н.* Исследование динамического равновесия бинарной смеси спирт—вода в пневматических магистралях электропоездов.—Изв. Сев.-Кав. науч. центра высш. школы. Техн. науки., 1973, № 2, с. 88—90.

3. *Скогорев И. В., Головач Ю. Н.*, Методика расчета аппаратов для введения в сжатый воздух жидкостей с пониженной температурой замерзания.—Конструирование, технология изготовления и эксплуатация компрессорных машин различного назначения. Сумы, 1974. Материалы конф.—Сумы, 1974, с. 65.—(Сумской филиал Харьковского политехнического ин-та им. В. И. Ленина).

4. *Головач Ю. Н., Скогорев И. В.* О влиянии качества сжатого воздуха на надежность работы локомотивов.—Повышение надежности локомотивов и система их ремонта. Омск, 1975. Материалы конф.—Омск, 1976, с. 107—109.—(Омск. ин-т инж. ж.-д. трансп.).

5. *Головач Ю. Н., Скогорев И. В., Ушаков В. Г.* Исследование локомотивного спиртопарителя.—Изв. Сев.-Кав. научн. центра высш. школы. Техн. науки., 1976, № 4, с. 97—99.

6. *Головач Ю. Н., Скогорев И. В., Ушаков В. Г.* Спиртопаритель: Информ. листок № 400—76/Сев.-Кав. межотрасл. террит. центр. науч.-техн. информации и пропаганды.—Ростов н/Д, 1976,—2 с.

7. *Скогорев И. В., Головач Ю. Н.* Исследование дозаторов жидкостей для предотвращения замерзания конденсата пневматических магистралей электропоездов.—Науч. тр./Новочеркасский политехнический ин-т, Новочеркасск, 1976, вып. 5. Теплопередача и газодинамика,—с. 93—99.

8. Электровозная адсорбционная установка. Информ. листок № 696—76/Сев.-Кав. межотрасл. террит. центр науч.-техн. информации и пропаганды. *Головач Ю. Н., Скогорев И. В., Ушаков В. Г., Юдин А. Т.* Ростов н/Д, 1976.—4 с.

9. Маслоотделитель: Информ. листок № 1—77/Сев.-Кав. межотрасл. террит. центр науч.-техн. информации и пропаганды. *Головач Ю. Н., Скогорев И. В., Барбашов В. С., Черкашина Л. П.*—Ростов н/Д, 1977.—2 с

10. Сушка воздуха на электропоездах. *Головач Ю. Н., Чернов А. И., Юдин А. Т. и др.*—Электрическая и тепловозная тяга, 1977, № 11, с. 36.

11. А. с. 610550 (СССР). Система управления установкой для осушки сжатого воздуха. *Чернов А. И., Скогорев И. В., Головач Ю. Н., До-*

*шин В. П.*—Заявл. 8.08.75. № 2161441/23—26; Оpubл. в Б. И., 1977, № 22; МКИ, 05Д 16/00, В01Д 53/26.

12. А. с. 554876 (СССР). Патронный фильтр для очистки воздуха от примесей. *Скогорев И. В., Головач Ю. Н., Барбашов В. С., Черкашина Л. П.*—Заявл. 17.02.75, № 2106400/26; Оpubл. в Б. И., 1977, № 15; МКИ В01Д 27/08.

13. А. с. 603405 (СССР). Патронный фильтр для очистки воздуха от примесей. *Скогорев И. В., Головач Ю. Н., Барбашов В. С., Черкашина Л. П.*—Заявл. 27.07.76, № 2391123/23—26; Оpubл. в Б. И., 1978, № 15, 1 с. МКИ, В01Д 27/08.

Анн

НТБ  
ДНУЖТ

Подписано к печати 28.III.79 г. ПК 14238.  
Объем 1,16 усл. п. л. Заказ № 428. Тираж 130 экз.

---

Типография НПИ, ул. Просвещения, 132, г. Новочеркасск, Рост. обл.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ  
ДНУЖТ