

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены основные факторы, определяющие особенности безаварийной эксплуатации железнодорожных тоннелей в условиях сурового климата. Показано, что особую опасность представляет процесс образования наледей, определяемый сочетанием двух неблагоприятных факторов: сравнительно низкой температурой тоннельного воздуха и высокой обводненностью тоннелей. Приведены данные экспериментальных исследований, свидетельствующие о том, что газовый состав воздушной среды железнодорожных тоннелей определяют не только вредные газообразные примеси, источниками которых являются транспортные средства, но и выделение из пород и воды метана, углекислого газа, сероводорода, радона. Изучен механизм воздействия радона на персонал, обслуживающий железнодорожные тоннели, и дана характеристика масштабов его возможного влияния на ухудшение качества воздуха. Отмечено, что радоноопасными могут считаться многие регионы РФ, в том числе районы, где расположены одни из самых протяженных в России Байкальский и Северо-Муйский тоннели.

Основным средством достижения необходимого качества воздуха в железнодорожных тоннелях следует считать создание рационального вентиляционного режима, который оказывает влияние не только на радиационную обстановку, но и на термодинамические параметры тоннельного воздуха. Исследована возможность применения для повышения устойчивости вентиляционного режима различных регулирующих устройств. Наибольшее воздействие на воздушный поток оказывают вентиляционные ворота, установка которых позволяет изменять расход поступающего воздуха на 70 % от первоначальной величины. Разработаны оригинальные конструкции вентиляционных ворот. Предложены и проверены в натурных условиях принципы создания в железнодорожных тоннелях положительного теплового режима – одного из наиболее надежных способов предотвращения наледи.

The main factors, determining peculiarities of accident-free operation of railway tunnels in conditions of bleak climate have been considered. It was shown that a special hazard is ice formation, determined by a combination of two unfavourable phenomena: relatively low temperature of the tunnel air and high tunnel watering. Results of experimental investigations are stated, which testify to the fact that gas composition of the tunnel air is determined not only by detrimental gaseous impurities, produced by carriers, but also by methane, carbon dioxide, hydrogen sulphide and radon discharged from the surrounding rocks and water. The mechanism of radon influence on the tunnel personnel has been studied and a scale description of its possible impact on air quality in the tunnel has been given. Many regions of the Russian Federation, including those with the longest railway tunnels of Russia: the Baikal and the North Muysk tunnels, may be considered radon-hazard. Creation of rational ventilation conditions, which influence not only radiation environment, but also thermodynamic characteristics of the air, should be considered the principle means to achieve the required air quality in the tunnels. Possible application of different regulating devices has been studied to increase stability of ventilation conditions. A vent door installation has the maximum impact on the air flow, enabling air input alteration by 70% from the initial figure. Principles of creation of a favourable temperature condition in the railway tunnels, which is one of the effective means of preventing ice formation, have been introduced and tested in-situ.

* * *

При достаточно высокой стоимости строительства эффективность функционирования железнодорожных тоннелей в районах с суровым климатом будет зависеть от возможности обеспечения безаварийных условий их эксплуатации, реализация которых в значительной степени определяется необходимым уровнем качества воздушной среды. Говоря о качестве воздуха, мы предполагаем такую совокупность его термодинамических, химических и физико-химических параметров, которые приводят

к достижению необходимого уровня безопасности при минимальных энергетических затратах.

Рассматривая термодинамические параметры (температуру, относительную влажность, атмосферное давление, скорость движения воздуха), следует иметь в виду, что их влияние не ограничивается воздействием на самочувствие и здоровье обслуживающего тоннели персонала. Они также могут оказывать определенное влияние на особенности проветривания тоннельных выра-

боток, запыленность воздуха, процессы образования наледей, надежность работы противопожарного водоснабжения, защитного заземления электрооборудования и т.п. [1]. Во многих случаях эти процессы оказываются взаимосвязанными. Так, в районах с суровой зимой при системах проветривания, использующих шахтные стволы, негативное влияние на вентиляцию оказывает обмерзание их устьевых частей при резком охлаждении сравнительно теплого и влажного воздуха исходящей струи, сопровождающемся обильной конденсацией водяных паров. В тоннелях, пройденных в мерзлых горных породах, поверхность крепи нередко столь интенсивно зарастает снежной «шубой» (кристаллизация водяных паров при охлаждении воздуха), что существенно увеличивает аэродинамическое сопротивление и затрудняет проветривание выработок. При отрицательной температуре тоннельного воздуха система пожарного водоснабжения в штатных ситуациях, как правило, не заполняется водой, которая подается в нее в случае возникновения аварии. Необходима оценка теплового режима трубопровода при его заполнении и опорожнении водой соответственно в периоды возникновения аварийной ситуации и после ее ликвидации. Такая оценка дает возможность исключить несанкционированное замерзание воды в трубопроводе, что обеспечивает необходимый уровень надежности его работы [10].

Особую опасность для эксплуатации железнодорожных тоннелей представляет образование наледей. Этот негативный процесс, как правило, связан с сочетанием двух неблагоприятных факторов: сравнительно низкой температурой тоннельного воздуха и высокой обводненностью тоннелей. Например, по данным работы [17] количество водобильных тоннелей на восточных дорогах страны составляет более 90 %. Мероприятия по снижению поступления воды в тоннельные выработки, направленные на осуществление дренажных работ [17] или гидроизоляции обделки тоннеля [20], не позволяют добиться полного отсутствия воды в тоннелях. Кроме того, при выполнении этих мероприятий возникают дополнительные про-

блемы, связанные с необходимостью тепловой защиты самих дренажных устройств (например, их пассивной или активной теплоизоляции).

Наледеи, образующиеся в тоннельных выработках, угрожают безопасности обслуживающего персонала (сосульки на своде), приводят к выходу из строя контактной электросети (обмерзание контактного провода), препятствуют движению транспортных средств (уменьшение габаритов тоннеля вследствие появления льдообразований на стенках тоннеля), способствуют разрушению обделки тоннеля. В большинстве случаев наледеи убирают механическим способом.

Это требует не только привлечения дополнительных людских ресурсов для выполнения работ по скалыванию льда и его последующей транспортировке, но и временного закрытия тоннеля. Например, в Козинском тоннеле в один из зимних периодов только для вывоза сколотого льда со среднего участка тоннеля потребовалось 69 «окон» общей продолжительностью 200 ч (т.е. на борьбу с наледями потребовалось закрыть перегон почти на 1/3 месяца). За этот период было вывезено около 1000 м³ льда. Ежедневно на его скалывании работали 4-5 человек. Аналогичные явления наблюдались и на Крольском тоннеле, где поступающая из-за обделки вода, попадая на путь, образовывала мощную действующую наледь. Ежесуточный объем скалываемого льда на этом участке достигал 50-60 м³, а для его вывоза требовались ежедневные «окна» продолжительностью до четырех часов. Следует отметить, что с похожими проблемами сталкиваются и на железных дорогах Севера Японии [20], а также ФРГ и Швейцарии [19].

Таким образом, образующиеся в железнодорожных тоннелях наледеи не только препятствуют их безопасной эксплуатации, но и приводят к дополнительным затратам на их ликвидацию. Величина этих затрат определяется как стоимостью работ по скалыванию льда, так и экономическими потерями, связанными с закрытиями перегона, ограничением скорости движения поездов, их разгоном, торможением и остановкой.

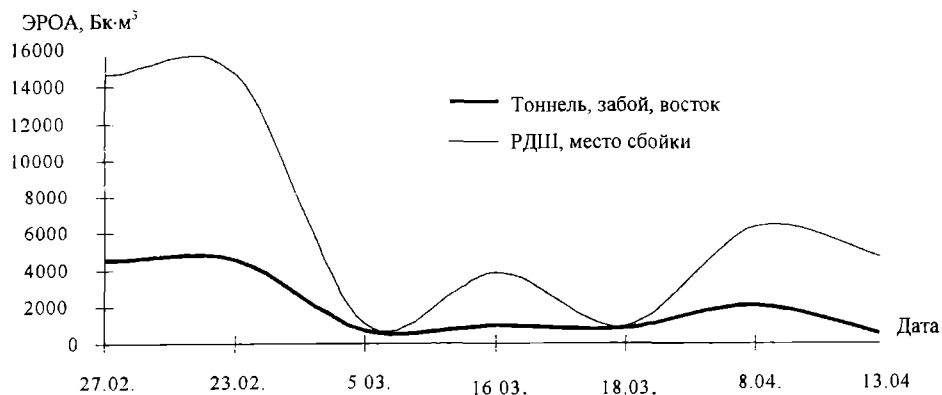


Рис.1. Изменение ЭРОА радона в горных выработках СМТ в зимне-весенний период

Говоря о химических параметрах, характеризующих воздушную среду железнодорожных тоннелей, не следует ограничиваться рассмотрением вредных газообразных примесей (оксид углерода, оксид азота, сажа), источниками которых являются транспортные средства. Причинами, приводящими к ухудшению качества воздуха, может быть выделение из пород и воды, окружающих выработки, различных газов: метана, углекислого газа, сероводорода, радона. Присутствие этих газов в тоннельном воздухе представляет опасность прежде всего для персонала, обслуживающего эти тоннели. Показателем в этом отношении пример радона ^{222}Rn , который образуется при распаде ^{226}Ra , входящего в состав уранового радиоактивного семейства и присутствующего практически во всех горных породах. Для оценки содержания в воздухе радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) используется понятие *эквивалентной равновесной объемной активности* (ЭРОА). Эта величина характеризует уровень воздействия дочерних продуктов радона на человека, вдыхающего воздух, их содержащий, и выражается как объемная активность равновесной смеси дочерних продуктов радона, имеющей такую же дозообразующую способность, как и фактическая смесь ДПР, которую этим значением описывают [16].

Характеризуя масштабы возможного влияния радона на ухудшение качества воздуха в железнодорожных тоннелях, следует отметить, что по имеющимся геологическим

данным, радоноопасными могут считаться многие регионы Российской Федерации [15]. К ним, в частности, относятся и районы, где расположены одни из самых протяженных в России тоннели – Байкальский (длина 6,7 км) и Северо-Муйский (длина 15,3 км). Это предположение подтверждается данными инструментальных наблюдений радиационной обстановки в строящемся Северо-Муйском тоннеле (рис.1). В условиях этого тоннеля ЭРОА радона в воздушной среде зависит не только от величины выделения радона, но и от направления движения воздуха по выработкам. При этом изменение режима движения воздуха на сквозных участках выработок приводит к тому, что ЭРОА радона изменяется в достаточно широком диапазоне (рис.1).

Таким образом, при выборе способов управления качеством воздуха в подземных сооружениях транспортного назначения необходимо, в первую очередь, оценивать влияния термодинамических параметров воздуха на безопасность эксплуатации подземных объектов в условиях пониженных температур, а также характеристики их газового режима и радиационной обстановки.

Основным средством достижения необходимого качества воздуха в железнодорожных тоннелях следует считать создание рационального вентиляционного режима, который оказывает влияние не только на радиационную обстановку, но и на термодинамические параметры тоннельного воздуха. Последнее дает возможность в опре-

деленной степени управлять процессами образования наледей. Например, при малой обводненности тоннелей (дебит воды не превышает 5 л/ч) обеспечение в зимний период за счет вентиляции по всей длине тоннеля отрицательной температуры воздуха дает возможность полностью исключить образование наледей [3, 10, 21].

Вместе с тем, при достаточно большой протяженности тоннельных выработок организация отрицательного теплового режима будет сопряжена с необходимостью подачи в тоннель значительного количества воздуха, что приведет к повышенным затратам на вентиляцию. Например, для Байкальского железнодорожного тоннеля отрицательная температура воздуха $-15 \div -20^\circ\text{C}$ на всем его протяжении может быть достигнута лишь при непрерывной, попеременной подаче с одного и другого порталов не менее $150 \text{ м}^3/\text{с}$ наружного воздуха.

При выборе схем и режимов проветривания железнодорожных тоннелей необходимо принимать во внимание ряд специфических особенностей. В первую очередь, вентиляционные системы железнодорожных тоннелей вследствие их малого аэродинамического сопротивления оказываются слабо защищенными от изменения климатических условий на поверхности. Здесь необходимо отметить связь вентиляционного режима со скоростью и направлением ветра, а также особенностями рельефа местности, где расположен тоннель [2, 14]. На рис.2 приведены данные, характеризующие динамику из-

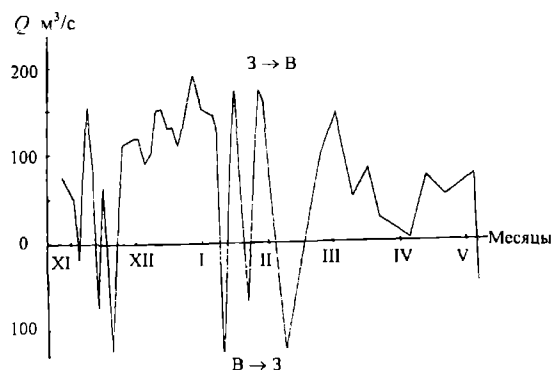


Рис.2. Характер изменения расхода воздуха в Байкальском тоннеле в зимний период; 3 → В, В → 3 – направление движения воздуха с запада на восток и с востока на запад

менения количества воздуха в Байкальском тоннеле в зимний период времени за счет влияния естественных факторов. Несмотря на расположение Западного портала на 82 м ниже Восточного и, казалось бы, явную очевидность движения воздуха с запада на восток ввиду действия гравитационного напора, примерно треть времени воздушный поток имеет противоположное направление движения. Причиной этого является влияние на вентиляцию метеорологических условий у порталов тоннеля.

Другой важной причиной, влияющей на вентиляционный режим, является поршневое действие транспортных средств, результат которого определяет значительно изменение расхода воздуха в тоннелях [5, 13].

Сказанное подтверждается результатами измерения величины поршневого эффекта в Байкальском тоннеле (рис.3). Анализ

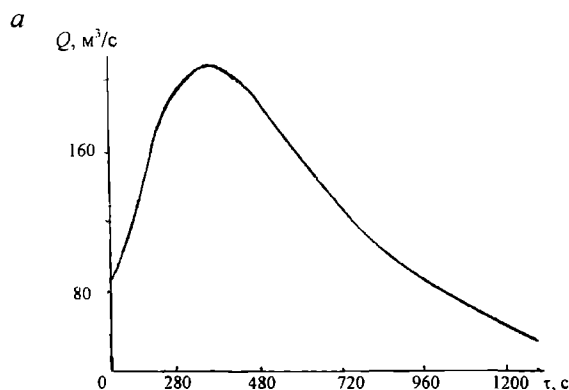
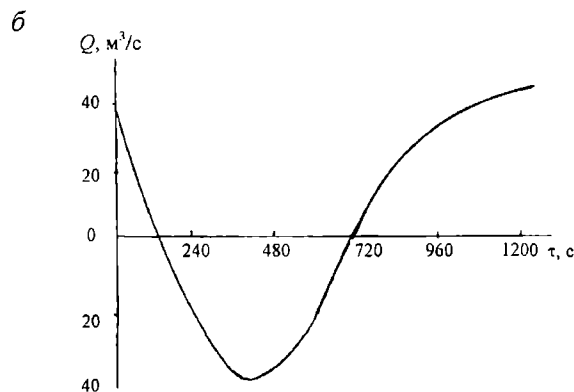


Рис.3. Характер расхода воздуха в Байкальском тоннеле при одинаковых (а) и противоположных (б) направлениях движения транспортных средств и естественного воздушного потока

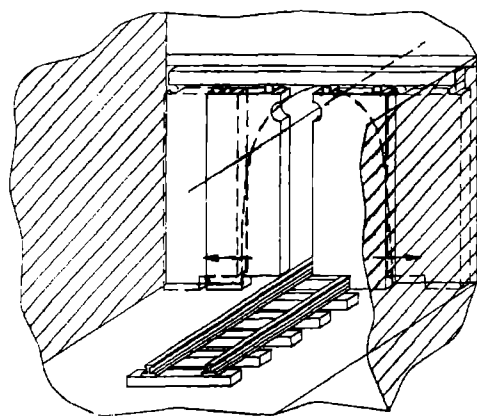


Рис.4. Двухстворчатый вентиляционный затвор

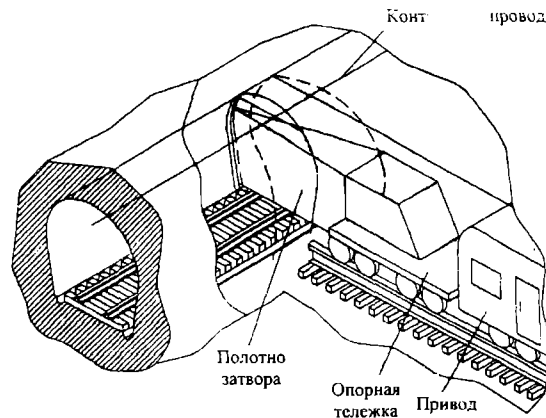


Рис.5. Одностворчатый вентиляционный затвор

показывает, что при совпадении направления перемещения транспортных средств и естественного воздушного потока скорость движения последнего возрастает в 2-4 раза. Причем суммарное действие поршневого эффекта превосходит время непосредственного пребывания поезда в тоннеле примерно в 1,5-2 раза. При противоположных направлениях движений транспортных средств и естественного воздушного потока происходит опрокидывание потока, причем продолжительность обратного по сравнению с естественным направлением перемещения воздушного потока примерно совпадает со временем нахождения поезда в тоннеле.

Повышение устойчивости вентиляционного режима к действию естественных и эксплуатационных факторов может быть достигнуто за счет применения различных регулирующих устройств, например пластинчатых регуляторов, прикрепляемых к поверхности бетонной отделки, воздушных вентиляционных завес, вентиляционных ворот. Работоспособность перечисленных устройств была проверена во время натурных испытаний на Байкальском тоннеле. На основании этих испытаний установлено, что наибольшую эффективность воздействия на воздушный поток оказывают вентиляционные ворота, установка которых позволяет изменять расход поступающего воздуха на 70 % от первоначальной величины. Проведенные испытания привели к разработке оригинальных конструкции вентиляцион-

ных ворот. Выполняемые из легко разрушаемого при соприкосновении с поездом материала, они позволяют при гарантированно высоком уровне безопасности перекрывать сечение тоннелей как у порталов [18], так и в его центральной части [7] в период отсутствия в тоннеле подвижного состава (рис.4, 5). Оценки свидетельствуют о том, что с помощью вентиляционных ворот независимо от действия естественных факторов и поршневого эффекта можно направить воздушный поток в необходимую сторону и обеспечить заданную величину расхода воздуха. Их установка дает возможность не только изменять количество воздуха в тоннеле до величины, не превышающей необходимого уровня, но и обеспечивать необходимое распределение воздуха по выработкам или крыльям тоннеля.

Правильно организованное проветривание выработок железнодорожных тоннелей обеспечивает нормализацию газовой и радиационной обстановки [12]. На рис.6. приведены результаты прогнозного расчета распределения ЭРОА радона по длине разведочно-дренажной штольни Северо-Муйского тоннеля для схемы ее проветривания, предусматривающей подачу наружного воздуха в один из порталов основного тоннеля, расположенного параллельно РДШ и соединенного с ней сбойками, последующий перепуск воздуха по сбойкам на каждый из участков РДШ, расположенных между стволами, и выброс загрязненного воз-

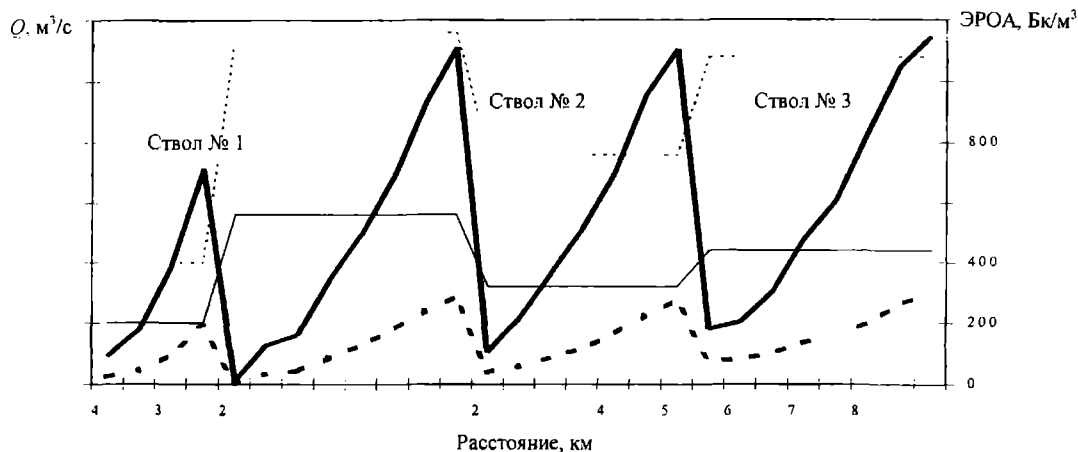


Рис.6. Распределение воздуха Q и ЭРОА радона в РДШ при раздельном проветривании участков штольни между стволами. Сплошными линиями показано распределение ЭРОА радона (жирные линии) и количество воздуха при обеспечении группы А, а пунктирными — для условий группы Б. Нулевая отметка относится к наиболее высокой относительно положения порталов части тоннеля

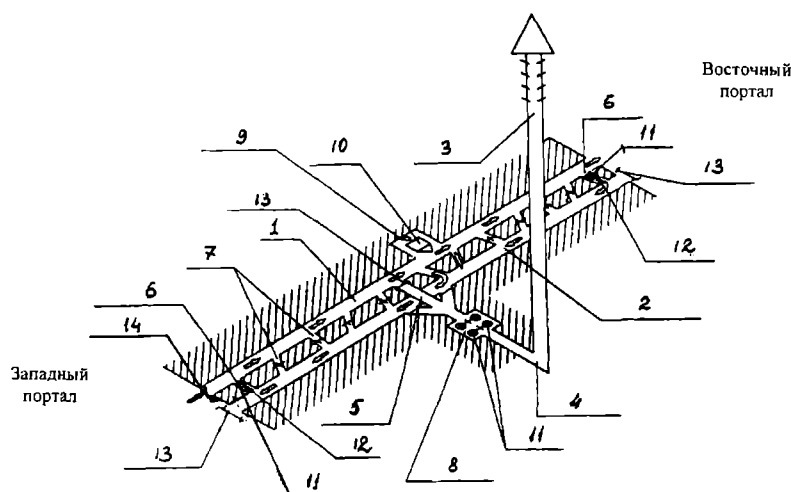


Рис.7 Принципиальная схема регулирования теплового режима Байкальского тоннеля

1 – железнодорожный тоннель; 2 – вентиляционная штольня; 3 – ствол; 4 – подходная штольня; 5 – кроссинг; 6 – технологическая сбойка; 7 – сбойка; 8 – камера вентиляторов; 9 – камера затвора; 10 – вентиляционный затвор; 11 – вентиляторы ВОВД-24; 12 – калориферы; 13 – вентиляционные ворота; 14 – порталная воздушная завеса

духа через стволы и противоположенный портал. Расчетный анализ выполнен по специальной программе на основании фактических данных о величинах выделения радона в горных выработках [22].

Анализ результатов расчета свидетельствует о том, что радиационная обстановка в РДШ определяется длинами участков между стволами, интенсивностью радоновыделения на этих участках, количеством подаваемого воздуха и принятой величиной максимально-допустимого значения ЭРОА радона в конце каждого участка. Эта величина в

зависимости от того, к какой группе персонала будут отнесены лица, обслуживающие тоннель, составляет: 1240 Бк/м^3 – группа А и 310 Бк/м^3 – группа Б [16].

Одним из наиболее надежных способов предотвращения образования наледей является создание в железнодорожных тоннелях положительного теплового режима. В этом случае система вентиляции должна быть дополнена системой подогрева воздуха. Основным требованием, открывающим широкое применение таких систем, является минимизация энергетических затрат на

подогрев воздуха. Данной принцип был положен в основу функционирования системы подогрева воздуха на Байкальском тоннеле (рис.7) [4, 5, 6, 11]. Для подогрева наружного воздуха в этой системе была задействована не только электрическая энергия, но и теплота горных пород и исходящей воздушной струи. Для этого в зимний период применялась схема проветривания с рециркуляционными контурами в пределах 1000 м от каждого из порталов тоннеля. В зависимости от направления действия естественной тяги (направление перемещения воздуха по тоннелю) в схеме вентиляции был задействован один из имеющихся рециркуляционных контуров. Подогрев воздуха в электрических калориферах при этом осуществлялся на том портале, где функционировал рециркуляционный контур и куда поступал холодный наружный воздух.

Многолетние опытно-промышленные испытания описанной системы управления тепловым режимом на Байкальском тоннеле подтвердили ее высокую эффективность (рис.8). На характер распределения температур воздуха и бетонной обделки оказали влияние режимы работы калориферов у порталов тоннеля, которые определялись их мощностью и порядком включения в работу рециркуляционных контуров у восточного (западного) порталов при соответствующем направлении действия естественной тяги.

При штатных режимах работы системы подогрева наружного воздуха его темпе-

ратура практически по всей длине тоннеля (за исключением областей вблизи порталов) имеет положительное значение (кривые 2, 3 на рис.8). Однако в случае нарушения работоспособности системы температура воздуха достаточно быстро принимает отрицательное значение с минимальной величиной вблизи западного портала (кривая 4), а ее распределение по длине тоннеля практически не отличается от распределения при нерегулируемом тепловом режиме (кривая 1). В отличие от температуры воздуха температура обделки тоннеля гораздо меньше подвержена периодическим нарушениям работоспособности системы регулирования теплового режима. Так, начиная с 1989 г. (начало функционирования системы регулирования с подогревом воздуха), температура обделки практически по всей длине тоннеля имеет положительное значение.

Выполненные исследования позволили сформулировать определенные принципы, которые могут быть использованы при управлении качеством воздуха в транспортных подземных сооружениях. Эти принципы связаны с необходимостью анализа всей совокупности негативных факторов, определяющих характеристики воздушной среды и ее влияние на безопасность и эффективность эксплуатации железнодорожных тоннелей: с учетом при выборе схем проветривания естественных и эксплуатационных факторов; с обеспечением отсутствия эффектов, затрудняющих безопасную экс-

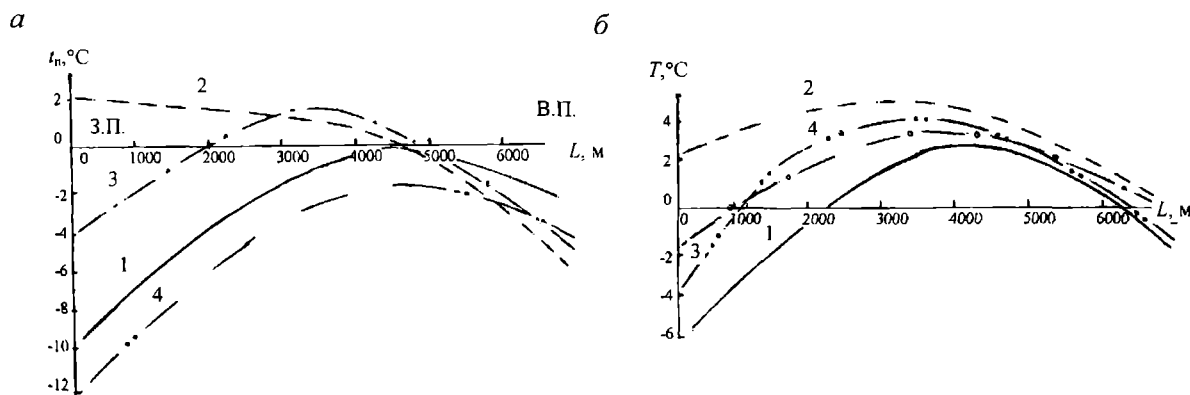


Рис.8. Распределение температур воздуха (а) и пород (б) в законтурном пространстве на глубине 1,5 м по длине тоннеля в различные периоды эксплуатации

1 – 16.03.88; 2 – 23.03.89; 3 – 27.02.92; 4 – 19.03.93

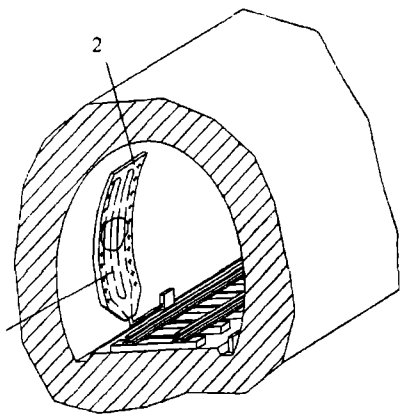


Рис.9. Устройство для активной тепловой защиты поверхности бетонной обделки от образования наледей

1 – теплозащитный экран; 2 – греющий кабель

плуатацию тоннелей, например туманообразования; с выполнением требований пожарной безопасности, дающих возможность осуществить реверсирование воздушной струи и обеспечить незадымленность путей эвакуации в случае возникновения аварийной ситуации; с осуществлением при необходимости оперативного переключения режимов вентиляции; с минимизацией энергетических и эксплуатационных затрат на создание необходимого вентиляционного и теплового режимов [8].

Принципы создания теплового режима, проверенные на Байкальском тоннеле, были использованы в проекте системы подогрева воздуха на Северо-Муйском тоннеле. Следует отметить, что при всей привлекательности приведенных способов предотвращения процессов наледеобразования, они оказываются достаточно энергоемкими. Поэтому в каждом конкретном случае необходима предварительная оценка энергетических затрат на их реализацию, выполненная в сопоставлении с другими известными способами [8]. В качестве одного из них необходимо упомянуть так называемый способ активной тепловой защиты поверхности бетонной обделки (рис.9) [9]. Данный способ реализуется за счет размещения на поверхности обделки в местах наиболее интенсивного развития процессов образования наледей гибких нагревательных элементов (например, нагревательных кабелей), которые

покрываются со стороны тоннеля эластичной теплоизоляцией.

Способ активной тепловой защиты тоннельной обделки от образования наледей был испытан на ряде железнодорожных тоннелей, расположенных в суровых климатических условиях (Нанхчульский тоннель, Медногорский тоннель, Кадарский тоннель), и показал достаточно высокую эффективность. Его применение, как правило, целесообразно в комбинации с искусственным обогревом водоотводных лотков, людских и путевых ниш для тоннелей, длина которых не превышает 2500-3000 м.

Таким образом, разработанные научно-методические основы управления вентиляционным и тепловым режимами железнодорожных тоннелей в условиях сурового климата обеспечивают необходимое качество воздуха и в определенной степени гарантируют повышение безопасности эксплуатации тоннелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дядькин Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера. М.: Недра, 1968. 253 с.
2. Вассерман А.Д. Специфика теплового режима подземных сооружений при передаче тепла массиву // Физические процессы горного производства. Тепломассоперенос в горных выработках и породных коллекторах: Сборник научных трудов / ЛГИ. Л., 1985. С.103-107
3. Гендлер С.Г. Оценка условий наледеобразования в транспортных тоннелях // Физические процессы горного производства: Всесоюзный межвуз. сб. / ЛГИ. Л. 1988. С.80-84.
4. Гендлер С.Г. Управление тепловым режимом тоннелей в суровых климатических условиях / С.Г.Гендлер, С.Е.Беспалов, В.А.Соколов, Ю.М.Горшков, Э.М.Юшковский // Транспортное строительство. 1990. № 4. С.18-22.
5. Гендлер С.Г. Управление тепловым режимом тоннелей в суровых климатических условиях // Транспортное строительство. 1991. № 11. С.15-17.
6. Гендлер С.Г. Способ регулирования теплового режима железнодорожных тоннелей в зимний период: А.с. № 1627723. СССР / С.Г.Гендлер, С.Е.Беспалов, В.А.Соколов, Э.М.Юшковский Ю.М.Горшков // Бюл. изобретений. 1991. № 6.

7. Гендлер С.Г. Вентиляционный затвор для железнодорожного тоннеля: Пат.РФ № 2013559 / С.Г.Гендлер, Ю.М.Горшков, В.А.Макаров, В.А.Хоминский // Бюл. изобретений. 1994. № 10.
8. Гендлер С.Г. Управление тепловым режимом железнодорожных тоннелей, расположенных в районах с суровым климатом // Наука в Санкт-Петербургском государственном горном ин-те (техническом ун-те). Вып.1. / СПГТИ. СПб, 1997. С.227-233.
9. Гендлер С.Г. Устройство для предупреждения образования льда в транспортных тоннелях: Пат. РФ № 2123117 / С.Г.Гендлер, В.А.Макаров, В.П.Лексин // Бюл. изобретений. 1998. № 34.
10. Гендлер С.Г. Защита транспортных тоннелей от образования наледей // Наука в Санкт-Петербургском государственном горном ин-те (техническом ун-те) Вып.2 / СПГТИ. СПб, 1998. С.149-154.
11. Гендлер С.Г. Способ регулирования теплового режима железнодорожных тоннелей в зимний период: Пат. РФ № 2124131 / С.Г.Гендлер, Ю.М.Горшков, В.Н.Шибалин // Бюл. изобретений. 1998. № 36.
12. Гендлер С.Г. Проблемы проветривания протяженных железнодорожных тоннелей в сложных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ, 1999. № 3. С.213-216.
13. Главатских В.А. Методы и результаты измерений скорости движения воздуха в эксплуатируемых железнодорожных тоннелях / Исследование работы искусственных сооружений // Труды НИИЖТа. Вып. 186. Новосибирск, 1977. С.23-29.
14. Курбаткин В.П. Влияние орографии на высоту пограничного слоя горной долины в зимний период // Труды САРНИГМИ. Вып.53 (68). Л.: Гидрометеиздат, 1971. С.34-38.
15. Максимовский В.А. Районирование территории России по степени радоноопасности В.А.Максимовский, М.Г.Харламов, А.В.Мальцев, И.А.Лучин, А.А.Смыслов // АНРИ. 1996/97 № 3 (9). С.45-51.
16. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). М.: Минздрав России, 1999. 113 с.
17. Третьяков Ю.Н. Некоторые рекомендации по предотвращению промерзания дренажных и железнодорожных тоннелей в зимнее время / Ю.Н.Третьяков, Б.Е.Славин, Н.Н.Протасов // Труды Всесоюзного совещания семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Т.7. Вып.4. Красноярск, 1970. С.55-61.
18. Хоминский В.А. Вентиляционный затвор для железнодорожного тоннеля: Пат. РФ № 2029872 / В.А.Хоминский, В.А.Макаров, В.А.Соколов, Ю.М.Горшков, С.Г.Гендлер, М.Л.Покрывалов, А.И.Салан // Бюл. изобретений. 1995. № 6.
19. Bogaert G. Maintaining the tunnels of French Railwags (SNCE) Tunnels and Tunneling, 1970, 5. pp. 455-459.
20. Coto I. Test of Icicle Prevention in Very Cold Zone. I. Coto, K. Ocada, I. Kawaquchi // Railway Technical Research Inst., Quarterly Reports, 1977, vol.16, N3. pp 257-263.
21. Gendler S.G. Control for heat regime of the railway tunnels located in severe climatic condition. 9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Italy, 6-8 October 1997, pp. 399-411.
22. A User's Manual for MFIRE: A Computer Simulation Program for Mine Ventilation and Fire Modelling.-US Department of the Interior. Bureau of Mines. 1989, 42 p.