

Тепловые режимы тоннелей и станций метрополитенов мелкого заложения в условиях умеренно континентального климата

Сизов В. Д.¹, Белениник О. И.², Кононов Д. А.¹
Белорусский национальный технический университет,
² ОАО «Минскметропроект»
Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрено формирование температурного режима подземных сооружений метрополитена, основные системы и способы вентиляции тоннелей и станций метрополитена.

Основными источниками тепла на станциях метрополитенов являются: электропоезда; пассажиры; трансформаторы; отопление и вентиляция, горячее водоснабжение; освещение; электропривод эскалаторов.

Тепловой баланс всей станции метрополитена складывается из общего количества тепловых поступлений и тепловых потерь за рассматриваемый период эксплуатации. При этом учитываются только те тепловые потери станции, которые происходят в результате теплового потока из внутренних помещений в грунт. Отрицательное значение тепловых потерь со станции в грунт означает противоположное направление теплового потока, т. е. в этом случае происходят не тепловые потери со станции в грунт, а тепловые поступления из грунта на станцию.

Прогнозирование температурного режима подземных сооружений метрополитенов. Температура внутреннего воздуха в тоннелях и на станциях метрополитена зависит от температуры атмосферного воздуха и от глубины заложения подземного сооружения. Изменения температуры атмосферного воздуха влияют на воздушную среду метрополитенов при мелком заложении намного сильнее, чем при глубоком. Это обусловлено двумя факторами: малым аэродинамическим сопротивлением вентиляционных трактов, связывающих подземные выработки с атмосферой, и низкими теплоаккумулирующими возможностями массива окружающих грунтов.

Для нормального функционирования подземных сооружений в них должна обеспечиваться и сохраняться в течение всего времени эксплуатации требуемая температура внутреннего воздуха. Основное отличие подземного сооружения от его наземного аналога – характер теплообмена с окружающей средой. В наземных объектах такой средой является атмосферный воздух с температурой, изменяющейся по закону, близкому к гармоническому (с периодом сезонных изменений, равным 1 году). По тому же закону изменяются поля температур в наружных ограждениях.

В подземных сооружениях мелкого заложения окружающей средой является массив грунтовых пород с переменной температурой [1]. В связи с этим формирование в них заданных температур требует значительно большего времени, чем у аналогичных наземных объектов. Изменение температуры воздуха в подземном сооружении и температуры грунтовых пород носит выраженный нестационарный характер [2]. При этом если период формирования заданного теплового режима (предэксплуатационный) характеризуется четко выраженным неустановившимся режимом теплообмена, то большая часть эксплуатационного периода удовлетворительно описывается закономерностями, характерными для непериодического режима.

Направления и интенсивность тепловых потоков через ограждения подземных сооружений метрополитена непосредственно зависят от температуры окружающего грунта. На динамику изменения температур по глубине оказывает влияние сезонное изменение температуры наружного воздуха, в то же время колебания температуры наружного воздуха в течение суток не влияют на температурные поля в земле.

Выраженный нестационарный характер процессов теплового взаимодействия воздушной среды подземных сооружений с окружающим массивом грунта приводит к изменяющимся во времени условиям теплообмена и определяет необходимость осуществления непрерывного управления параметрами и системами регулирования теплового режима.

Основные способы вентиляции тоннелей. Вентиляция тоннелей метрополитена предусматривается для извлечения на поверхность выделяющихся в них вредностей (тепло, влага, пыль, газы и др.), а также поддержания в тоннелях заданных метеорологических условий и химического состава воздуха. Она может осуществляться с естественным и искусственным побуждением распределения воздуха.

При вентиляции с естественным побуждением воздух в тоннель поступает вследствие поршневого действия проходящих по тоннелям поездов и под действием гравитационных сил (вследствие разницы удельных весов наружного и внутреннего тоннельного воздуха). При вентиляции с искусственным побуждением воздух в тоннель или только подается, или только из него извлекается, или одновременно подается и извлекается принудительно (вентиляторами).

Для обеспечения основного принципа вентиляции сооружений метрополитена, заключающегося в поддержании в допустимых пределах параметров и состава воздуха, необходимо подавать чистый воздух к местам наибольшего скопления пассажиров и длительного пребывания обслуживающего персонала с последующим распределением воздуха по всем тоннелям. Обслуживающий персонал в основном находится на станциях и в при-

станционных сооружениях. Наибольшее скопление пассажиров также бывает на станциях (особенно на пересадочных станциях), потому чистый воздух следует подавать на станции и через перегон извлекать отработанный воздух.

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации (сохранение отделочных материалов, исключение возможности замораживания систем водопровода, водопровода и канализации) температура воздуха на станциях по существующим нормам [3] должна быть не менее $t_{ст.} \geq +5^{\circ} \text{C}$. Исходя из этого в климатических районах, где средняя температура самого холодного месяца $t_{х.м.} < 0^{\circ} \text{C}$, систему вентиляции следует сооружать реверсивной: в теплое время года воздух необходимо подавать на станцию и извлекать через перегон, а в холодное – на перегон и извлекать через станцию. В теплое время года на станции будет поддерживаться наиболее низкая температура, а в холодное время года воздух, поступающий на перегон, подогревается за счет тепла, выделяемого в тоннелях различным оборудованием, и на станцию поступает с наиболее высокой температурой.

Описание систем вентиляции тоннелей мелкого заложения. Системы вентиляции с естественным побуждением. В связи с незначительным напором ($10\text{--}15 \text{ кгс/см}^2$), возникающим под влиянием поршневого действия поездов и гравитационных сил, системы вентиляции с естественным побуждением могут применяться только в тоннелях мелкого заложения. Ограниченный радиус действия таких систем вызывает необходимость расположения вентиляционных шахт на небольшом расстоянии между собой. В противном случае сопротивление движению вентилируемого воздуха будет превышать располагаемый напор, вследствие чего количество вентиляционного воздуха будет поступать меньше необходимого.

В таких системах вентиляционные шахты располагаются по всей длине перегона между станциями. Расстояние между шахтами должно быть в пределах $100\text{--}150 \text{ м}$. Наиболее рационально располагать вентиляционные шахты с примыканием к каждому путевому тоннелю в шахматном порядке. Однако условия поверхности не всегда позволяют так располагать шахты, что приводит к необходимости их расположения вдоль «красной» линии улиц с одной стороны какого-либо тоннеля или вдоль шоссе в средней его части (в нейтральной зоне). В этом случае допускается разделение параллельных путевых тоннелей колоннами или в крайнем случае средней перегородкой, имеющей проемы площадью не менее 60% площади перегородки. Однако такое расположение вентиляционных шахт резко снижает поршневое действие поездов, а, следовательно, и эффективность вентиляции. В зависимости от положения поезда на перегоне вентиляционные шахты работают или на приток, или на вытяжку.

Станции в этих системах оборудуются, как правило, реверсивной системой вентиляции с искусственным побуждением, подающей или удаляющей воздух в количестве, необходимом только для станции.

Для снижения амплитуды колебания давления воздуха на станциях с целью уменьшения явления «дутья» (сквозняки) через их входы и выходы на расстоянии 30–100 м от каждого торца станции в перегонных тоннелях, не имеющих между собой сплошных соединений (проемов), следует предусматривать соединение их между собой циркуляционными сбойками. При наличии таких сбоек значительная часть воздуха выталкивается проходящими поездами не на станцию, а в расположенный рядом перегонный тоннель, снижая объем воздуха, поступающего на станцию и вытягиваемого из нее поршневым действием движущихся поездов, в связи с чем уменьшается амплитуда колебания давления воздуха на станции и вследствие этого снижается «дутье» во входах и выходах.

Системы вентиляции с искусственным побуждением воздуха в умеренно континентальном климате применяются реверсивные. В реверсивных системах вентиляции наружный воздух для вентиляции тоннелей в теплый период года подается с поверхности через станционные вентиляционные шахты. Отработанный воздух удаляется из перегонных тоннелей через перегонные вентиляционные шахты или заменяющие их шахты, расположенные у станций. В холодный период года система вентиляции реверсируется, и наружный воздух подается на перегон, а вытягивается через станции. Такие системы вентиляции целесообразны для метрополитенов, расположенных в любых климатических районах. Они позволяют поддерживать на станциях в теплый период года наиболее низкую температуру, а в холодный – поступление на станцию теплого (подогретого на перегоне) наружного воздуха при меньшем его расходе (по сравнению с теплым периодом).

Вентиляция станций. При вентиляции с искусственным побуждением станции и перегонные тоннели проветриваются совместно. Поэтому на станции подается и вытягивается значительно большее количество воздуха, чем требуется.

Поршневым действием движущихся поездов вентиляционный воздух эффективно перемешивается с воздухом, выталкиваемым поездом с перегона, и продвигается вдоль путевых тоннелей станций.

На станциях колонного типа мелкого заложения средние тоннели (залы) также эффективно проветриваются за счет взаимного воздействия потоков воздуха в двух противоположных путевых тоннелях, создающих поперечные потоки воздуха в среднем тоннеле (зале). Воздух от станционных вентиляционных установок в теплый период года следует подавать сосредоточенно в два противоположных торца по ходу движения поезда. Выпуск воз-

духа осуществляется в путевые тоннели через решетчатые проемы, расположенные на уровне посадочных платформ. Так как вентиляционная установка расположена с одного торца станции под наклонным эскалаторным ходом или в вентиляционной камере шахты, воздух со стороны вентиляционной установки подается непосредственно в торец станции. В другой торец станции воздух подается по подплатформенному вентиляционному каналу, совмещенному с кабельным. Регулирование количества подаваемого воздуха в каждый торец станции осуществляется жалюзийными многостворчатыми клапанами.

Стоит отметить, что на станциях метрополитена довольно сложно подавать свежий воздух непосредственно в зону дыхания пассажиров. Основная масса пассажиров находится сравнительно далеко от жалюзийных решеток. Продольные же потоки воздуха, выталкиваемые поездом с перегона при входе на станцию, интенсивно перемешивают воздух перегона с воздухом, подаваемым из жалюзийных решеток, что в зону дыхания фактически поступает такая же смесь, как и при подаче воздуха в торец станции.

Опыт эксплуатации метрополитена показывает, что в вентиляционных каналах тоннельной вентиляции в значительном количестве осажается пыль, что вызывает необходимость ежегодной их промывки или прочистки. Поэтому основные магистральные вентиляционные каналы должны быть проходного сечения. Выпускные вертикальные каналы могут быть небольшого сечения, но должны располагаться так, чтобы они просматривались и их можно было очищать.

Выводы

Так как метрополитен является подземных сооружение установление его температурных режимов значительно отличается от наземных зданий и носит нестационарный характер. Для комфортного пребывания на станциях пассажиров и работников метрополитена в холодный период необходимо время для прогрева станции, т. е. для прогрева массива грунта, окружающего ограждающие конструкции станции метрополитена.

Очень важным фактором является вентиляция воздуха метрополитенов, так как там нет инфильтрации. Необходимо удалять избыточную теплоту и вредности и подавать свежий воздух. Актуальной проблемой остается подача чистого воздуха в зону дыхания людей. Это сложная задача, которую на практике конструктивно выполнить не удастся.

Литература

1. Красовицкий, Б. А. Методика прогнозирования термовлажностных режимов подземных сооружений / Б. А. Красовицкий, Е. Ю. Куликова // Строительство подземных сооружений и шахт. – М.: Изд-во МГИ, 1992. – С. 11–22.
2. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди // пер. с венг. В. М. Беляева; под ред. В. И. Прохорова, А. Л. Наумова. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.
3. СП 3.03.04-2022 Метрополитены. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2022. – 95 с.
4. Красюк, А. М. Вентиляция метрополитенов / А. М. Красюк И. В. Лугин. – Сиб. отд. РАН, Новосибирск: Наука, 2019. – 316 с.
5. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В. Я. Цодиков. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 568 с.

УДК 628.5+504.5

Экологические проблемы добычи сланцевого газа

Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании анализа литературных источников приведены основные этапы технологии добычи сланцевого газа и влияние его добычи на экологическое состояние окружающей среды.

Сланцевый газ (Shale Gas) – это природный газ, который добывается из сланцевых скважин, а именно из богатой газом горной породы – сланца.

Сланец – это весьма распространенная форма осадочной породы, которая встречается практически по всему миру. Данная порода формируется из песка, грязи, глины и других мелких частиц минералов, таких как кварц. Со временем данная смесь осаждается и сильно сжимается, образуя залежи сланца. Подобные пласты встречаются в породах палеозойского и мезозойского периода, что свидетельствует о их возрасте – в среднем от 500 до 700 миллионов лет. Помимо того, что в сланцах содержится природный газ, данная порода включает в себя целый набор полезных органических веществ, которые могут быть использованы людьми в различных целях. Довольно часто сланец используют в различных промышленных целях в качестве наполнителя для бетона или кирпича.