

termining factor of the water-heat regime of the roadbed / И.И. Леонович, Н.П. Вырко. – Строительная наука и техника. – 2011. – № 5. – С. 27–35.

10. Лысенко, М. П. Состав и физика-механические свойства грунтов / М. П. Лысенко. – М.: «НЕДРА». – 1980. – 272 с.

11. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. – М.: Стройиздат. – 1973. – 13 с.

12. ОДМ218.2.061-2015 Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов. – Москва. – 2015. – 74 с.

13. Михайлусова, Т. Н. Физические свойства теплоизоляционных материалов и конструктивные способы теплоизоляции помещений / Т. Н. Михайлусова [и др.]. Вестник Псковского государственного университета. Серия «Естественные и физико-математические науки». – Вып. 8. – 2016. – С. 45–55.

14. Гаврильев, Р. И. Определение теплофизических характеристик мерзлых грунтов расчетным методом/ Р. И. Гаврильев, Г. П. Кузьмин. – Наука и образование. – Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2009. – № 4 – С. 52–59.

15. СНиП II-A6—72. Строительные нормы и правила. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат. – 1972. – 320 с.

УДК 697.3/4

### **Структура и виды ограждающих конструкций тоннелей Минского метрополитена и их теплофизические характеристики**

Белениник О. И.<sup>1,2</sup>, Кононов Д. А.<sup>1,2</sup>, Сизов В. Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены виды тоннелей Минского метрополитена, их конфигурация, способы прокладки и конструкции обделки, теплофизические характеристики обделки и грунтов.*

Метрополитен – это вид городского скоростного внеуличного железнодорожного транспорта, линии которого прокладываются в подземных тоннелях, по поверхности земли и на эстакадах [1, с. 5]. От других видов городского пассажирского транспорта метрополитен отличается высокой скоростью и регулярностью движения маршрутных поездов, а также большой провозной способностью. Метрополитен является наиболее эффективным видом общественного транспорта для крупных городов.

Линии Минского метрополитена прокладываются в подземных тоннелях, на мелком заложении от поверхности земли. Наземные участки сооружаются для перегона подвижных составов в электродепо для ночного отстоя, осмотра, проведения технического обслуживания и ремонта.

**Виды тоннелей Минского метрополитена.** Тоннели метрополитена – подземные сооружения железной дороги, протяжённость которых значительно превышает поперечные размеры. По назначению тоннели метрополитена делятся на перегонные, станционные, служебные ветки и пересадочные.

Перегонные тоннели соединяют станции метрополитена.

Станционный тоннель метрополитена состоит из среднего, где размещается посадочная пассажирская платформа и двух боковых тоннелей, в которых размещаются главные железнодорожные пути.

Служебные ветки предназначены для соединения между собой линий метрополитена и для связи с наземными электродепо.

Пересадочные тоннели соединяют пересадочные станции и служат для прохода пассажиров.

По глубине расположения различают тоннели метрополитена мелкого и глубокого заложения, по способу производства работ – закрытого и открытого типов.

В данной работе рассмотрим ограждающие конструкции перегонных тоннелей Минского метрополитена.

**Функции и конструкции крепи перегонных тоннелей Минского метрополитена.** При сооружении тоннелей метрополитена крепь должна служить не только ограждающей конструкцией для предотвращения обрушения окружающих тоннель грунтов и сохранения необходимых размеров поперечного сечения. Она должна сразу после ее монтажа включаться в работу, воспринимать внешние нагрузки и обеспечить максимальную гидроизоляцию тоннеля.

В практике находит применение большое число различных конструкций крепи из сборных элементов. Они обладают достаточной прочностью, коррозионной стойкостью и технологичностью. Изготовление таких крепей освоено специализированными заводами, что позволяет выпускать ее отдельные элементы с необходимой точностью и высокого качества [2, с. 87].

В тоннелях Минского метрополитена широко используются чугунные и железобетонные тубинги.

**Виды поперечных сечений тоннелей Минского метрополитена и их размеры.** Внутренние размеры поперечного сечения перегонных тоннелей на линиях метрополитенов регламентируются габаритом проезда в тоннеле, но также, как и внешние размеры поперечного сечения, зависят от спо-

соба прокладки тоннелей и вида проходческих щитов. По конструкции различают перегонные тоннели метрополитена со сводчатой обделкой тоннеля и тоннели с плоскими перекрытиями. Обделки перегонных тоннелей метрополитена – замкнутые конструкции – выполняются сборными из железобетонных или чугунных тубингов.

Для безопасного обслуживания тоннеля метрополитена предусматривается пешеходная дорожка с одной его стороны.

Участки тоннелей прямоугольного сечения сооружаются только открытым способом, прокладка конструкций осуществляется в котлованах. Данные участки встречаются при въезде и выезде в перегонный тоннель со станции метрополитена, а также в перегонных тоннелях в местах установки притоннельных сооружений, таких как водоотливные установки, венткамеры тоннельной вентиляции и др. Также прямоугольные сечения перегонных тоннелей сооружаются в местах, где невозможна подземная щитовая проходка.

Тоннели круглого сечения образуются при строительстве закрытым способом, не нарушая целостности земляного покрова с помощью проходческих щитов. При строительстве тоннелей с помощью немеханизированного проходческого щита ЩН-1 внешний диаметр тоннеля составляет 5,5 м, внутренний – 5,1 м. Сборка отделки ведется вручную из железобетонных или чугунных тубингов. Щит выполняет роль временной опоры, предотвращая обвал грунтов, пока ведется установка постоянных опорных конструкций. После завершения монтажа кольца отделки, щит отталкивается от него с помощью домкратов для дальнейшего бурения почвы режущей головкой. Проходка тоннелей немеханизированным щитом является тяжелым и трудоемким процессом. В среднем за сутки удается собрать одно кольцо отделки из тубингов.

Проходка тоннелей механизированным щитом «Алеся» минимизирует ручной труд. «Алеся» – единственный механизированный проходческий комплекс в Беларуси. С 2016 года активно используется при проходке тоннелей Минского метрополитена. Практически все операции выполняются оператором с пульта управления. Грунт разрабатывается резами на рабочем органе щита. Для размягчения грунта через отверстия подается суспензия под высоким давлением. Далее разработанный грунт подается на конвейерную ленту, а с нее — на вагонетки и вывозится за пределы щита. В то же время к блокоукладчику щита доставляются железобетонные тубинги для укладки кольца [3; 4]. После монтажа кольца щит отталкивается от него домкратами тем самым плотно прижимая кольца друг к другу и продвигая режущую головку щита. Внешний диаметр тоннеля при данном способе проходки составляет 6,28 м, внутренний – 5,4 м. Толщина железобетонных тубингов составляет 0,3 м. Для заполнения пустот между обделкой и грунтом в отверстия в тубингах подается тампонажный раствор.

**Перегонный тоннель с обделкой из железобетонных и чугунных блоков.** Железобетонные блоки используются при проходке тоннелей как механизированным, так и немеханизированным щитом. Данная обделка может выполняться как из ребристых блоков, так и из сплошных, в зависимости от вида грунта, в котором выполняется обделка. Ребристые блоки (рис.1) применяются в песках, между собой тубинги стягиваются болтами, межблочные стыки заполняются быстросхватывающейся уплотняющей смесью, расширяющейся при твердении. При застывании проникает во все микротрещины, образует монолит и создает плотную водонепроницаемость. Дополнительно стыки тубингов обвариваются арматурой.

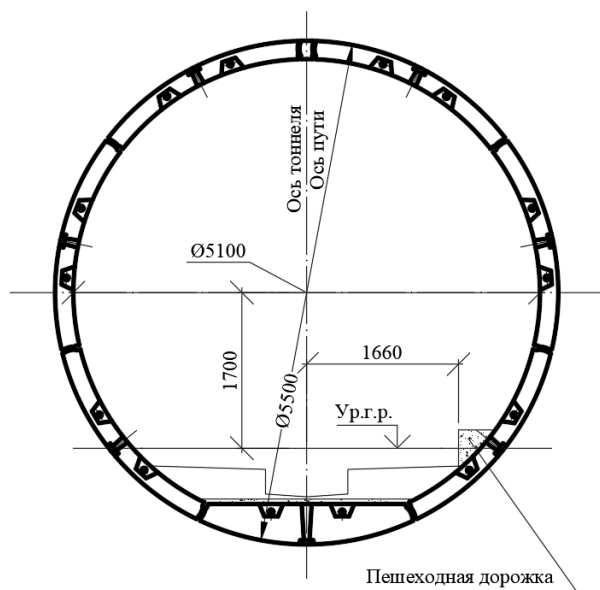


Рис. 1. Обделка тоннеля из железобетонных ребристых блоков.  
Ур.г.р. – уровень головки контактного рельса.

Сплошная железобетонная обделка (рис.2) используется в несыпучих грунтах. Тубинги крепятся друг к другу болтами, а стыки между кольцами герметизируются с помощью резиновых прокладок, плотно прижимаемых друг к другу во время прижатия колец обделки домкратами щита.

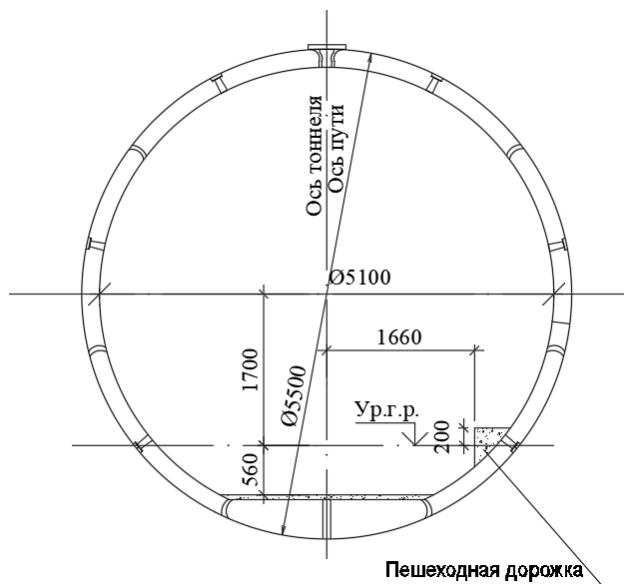


Рис. 2. Обделка тоннеля из железобетонных сплошных блоков.  
Ур.г.р. – уровень головки контактного рельса.

Обделка из чугунных блоков (рис.3) используется в обводненных грунтах. Блоки крепятся друг к другу болтами, а стыки между кольцами заполняются быстросхватывающейся уплотняющей смесью и чеканятся свинцовой проволокой обеспечивая тем самым полную герметизацию тоннеля.

#### **Теплофизические характеристики обделки тоннелей и грунтов.**

Основными теплофизическими характеристиками материалов являются теплопроводность, теплоемкость и температуропроводность. Теплопроводность – способность материала проводить тепло. Она зависит от влажности, температуры, пористости и структуры материала.

Структура обделки тоннелей неоднородна, так как заделка стыков между тубингами производится быстросхватывающейся уплотняющей смесью, характеристики которой отличны от железобетона и чугуна. Отличные характеристики имеют и болты крепления тубингов, резиновые прокладки, свинцовая проволока.

Плотность и структура материала обделки в процессе эксплуатации практически не изменяется. Изменение влажности зависит от параметров наружного воздуха, подаваемого в тоннель тоннельной вентиляцией.

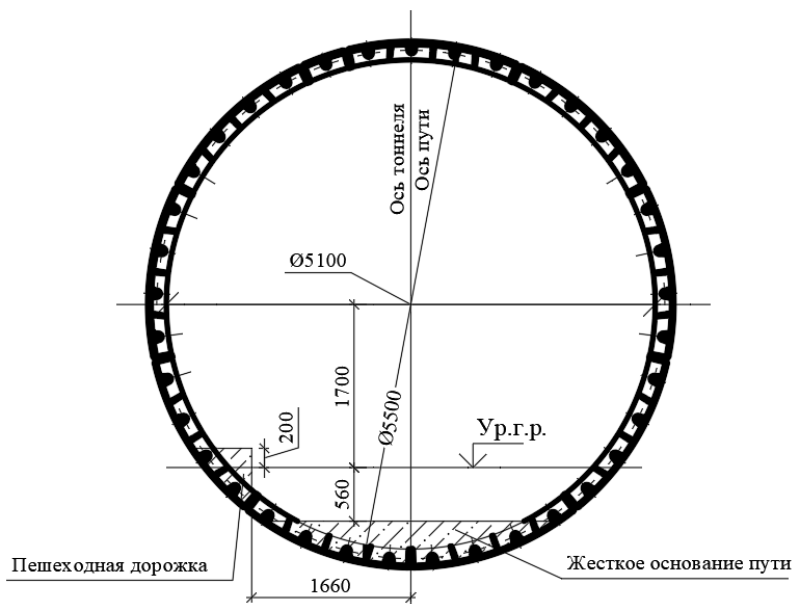


Рис. 3. Обделка тоннеля из чугунных блоков.  
Ур.г.р. – уровень головки контактного рельса.

Многообразие факторов, влияющих на теплофизические характеристики материалов, требует экспериментального их определения в каждом отдельном случае для конкретных грунтов и строительных конструкций.

Значение теплофизических характеристик материалов строительных конструкций обделки тоннелей при различных их температурных и влажностных состояниях можно определить по таблицам [5, с. 38–49].

Сложнее обстоит дело с определением теплофизических характеристик грунтов, окружающих тоннельные сооружения. Они зависят от типа грунта, его структуры, пористости, влажности, льдистости и засоленности и изменяются в широком диапазоне.

Для решения данной задачи необходимо проводить экспериментальные исследования теплофизических свойств грунтов в г. Минске.

### Выводы

Так как метрополитен является подземным сооружением, важной задачей является обеспечение комфортного температурно-влажностного режима на станциях. Пассажирские платформы станций вентилируются с помощью тоннельной вентиляции. Воздух, забираемый с улицы, проходящий через тоннель и поступающий на станцию в холодный период года

должен иметь температуру +10 °С. Нагрев воздуха происходит за счет ассимиляции теплопоступлений в тоннель, в том числе от грунта. Для корректного выполнения данной задачи необходимо более подробно изучить процесс теплопереноса из тоннеля в грунт и обратно.

### Литература

1. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В. Я. Цодиков. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 568 с.
2. Эткин, С. М. Сооружение подземных выработок проходческими щитами / С. М. Эткин, В. М. Симоненко – М.: Недра, 1980. – 303 с.
3. Цейко, М. Г. Проходка тоннелей механизированными щитом «Алесья» / М. Г. Цейко; науч. рук. В. А. Ходяков // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений: материалы VII Международной студенческой конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (пред.) [и др.]; сост. В. А. Ходяков. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 161–163.
4. Цейко, М. Г. Новые конструкции тоннелей метро. Проходка тоннелей щитовым методом / М. Г. Цейко; науч. рук. В. А. Ходяков // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Международной научно-технической конференции: материалы Международной научно-технической конференции / сост.: С. Н. Соболевская, Е. М. Жуковский. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 301–305.
5. СП 2.04.01-2020 Строительная теплотехника – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2021. – 76 с.

УДК: 502.174

### **Экологические предпосылки диверсификации энергии для городов Таджикистана**

Шарипова Н. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены актуальные экологические предпосылки диверсификации системы энергоснабжения городов Таджикистана, как важнейшей задачи обеспечения энергетической безопасности страны в контексте национальных программ правительства Республики Таджикистан. Использование экологически возобновляемых источников энергии, диверсификация и локализация систем энергоснабжения путем внедрения «зеленой энергетики» и реализации концепции «зеленый» город представляется лучшим подходом к формированию энергетических систем будущего.*