

- 4 (78). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. – С. 276 – 283.
7. Внутренние санитарно-технические устройства: справочник в 3-х частях. Ч. 1. Отопление / под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
8. Харченко, Н.В. Индивидуальные солнечные установки / Н.В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
9. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.

УДК 533.6.013.11

Грязнова С. А.

Харківський національний університет міського господарства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА В ТОННЕЛЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА С УЧЕТОМ ПОРШНЕВОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Проблема пассажирских перевозок современных крупных городов решается за счет применения скоростных систем – метрополитенов, обеспечивающих высокую скорость, надежность, безопасность и способность перевозить пассажиропотоки, превосходящие возможности других видов городского транспорта. Для решения данной проблемы необходимы эффективные схемы проветривания тоннелей и станций по удалению избыточного тепла, расчета необходимого количества воздуха для вентиляции участков трассы с использованием текущей информации о состоянии воздушной среды в метрополитене [1].

Анализ последних достижений и публикаций существующих методов расчета необходимого количества воздуха, разработанных В.С. Казаковым [2], В.Я. Цодиковым [3,4] и др., показал, что эти методы либо вовсе не учитывают рециркуляцию воздуха в сети тоннелей, либо учитывают ее недостаточно точно, вследствие чего результаты расчетов по анализируемым зависимостям отличаются между собой на 100 – 400%. Расчет скорости циркуляционных потоков воздуха, возникающих в тоннелях при движении поездов, производится по формулам Г.Н.Абрамовича [5] с учетом эмпирических коэффициентов, полученных В.Я.Цодиковым [3,4]. Однако эти зависимости не учитывают соединения тоннелей вентиляционными сбойками, вследствие чего скорости и объемы циркуляционного воздуха

определяются недостаточно точно. Поршневой эффект, возникающий в тоннелях при интенсивном движении поездов, создает нестационарный режим течения воздушных потоков, влияющий на работу тоннельных вентиляторов. Однако ни одна из существующих методик расчета необходимого воздухообмена этого не учитывает.

Таким образом, становится очевидным, что многообразие применяемых схем проветривания и методов расчета не позволяют достаточно обоснованно определять потребный воздухообмен на участках трассы метрополитена. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования по совершенствованию схем и методов расчета проветривания метрополитенов, что будет способствовать обеспечению на станциях и в тоннелях нормальных гигиенических условий воздушной среды и повышению безопасности движения.

Воздухообмен внутри тоннеля метрополитена является одним из основных факторов, определяющих санитарно-гигиенические условия метрополитена. При интенсивном движении поездов и значительных пассажиропотоках состояние воздушной среды метрополитена зависит от количества выделяющихся газов, пыли, влаги и тепла. Основными источниками углекислого газа в метрополитене являются пассажиропоток и обслуживающий персонал. Пыль в подземных сооружениях образуется в результате выветривания железобетонных тоннельных обделок, бетонного

основания пути, истирания бандажей колес. Значительная часть пыли вносится пассажирами. Влага поступает из грунтов, облегающих тоннели, вносится с атмосферным воздухом и выделяется людьми. Определяющим фактором является избыточное тепло, выделяющееся поездами (до 74%), освещением (до 6%), силовыми нагрузками (до 5%) и людьми (до 15%). Постоянный рост пассажирооборота на метрополитенах ведет к повышению интенсивности движения, а это увеличивает количество выделяющегося тепла в атмосферу тоннелей и станций. Анализ фактических данных об интенсивности движения поездов, величине пассажиропотоков и состоянии воздушной среды в метрополитенах показал, что даже при частоте движения значительно более низкой, чем при максимальном развитии, температура воздуха на станциях в теплый период года превышает норму на 1,4 - 6,4°C, а в холодный период - на 9 - 10°C. Тепловые условия в метрополитене глубокого заложения зависят от трех основных факторов: 1) интенсивности выделения тепла; 2) теплофизических свойств грунтов, вмещающих тоннели, и тепло-массообменных процессов; 3) воздухообмена и мер, направленных на поддержание параметров воздушной среды в пределах установленных норм. Допустимое содержание вредных веществ в воздухе метрополитенов регулируется органами охраны труда и санитарии. Для обеспечения нормальных условий воздушной среды в метрополитенах предусматривается принудительная вентиляция тоннелей. Разработано большое количество схем проветривания, отличающихся числом и расположением вентиляционных шахт на участках трассы. Бессистемное и в ряде случаев необоснованное применение той или иной схемы проветривания является причиной ухудшения санитарно-гигиенических условий на станциях метрополитена.

Движение воздушной массы внутри тоннеля условно можно разделить на две составляющие: циркуляционные потоки, возникающие вследствие выталкивающего (поршневого) воздействия дви-

жущегося состава и вентиляционные потоки, возникающие вследствие работы системы вентиляции. Поршневой эффект в тоннелях возникает при движении с высокой скоростью и частотой пассажирских поездов, изменяющих «живое» сечение и создающих перед собой зону повышенного, а позади – пониженного давления, что приводит к интенсивному движению воздуха, находящегося в тоннелях.

Установим основные соотношения между воздушным сопротивлением поезда и составляющими движения на различных участках тоннеля. Тоннельный воздух набегает на поезд с относительной скоростью:

$$V_T = V_0 - C \quad (1)$$

и двигается в зазоре с относительной скоростью

$$V_3 = V_0 - \omega, \quad (2)$$

где C - скорость воздуха в тоннеле (рис.1).

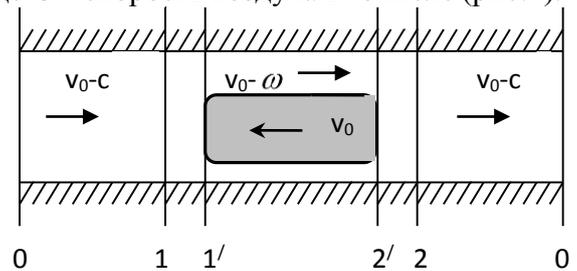


Рис.1. Скорости относительного движения в тоннеле

Избыточное давление в переднем участке тоннеля h_1 расходуется на преодоление воздушного сопротивления в переднем участке тоннеля, вызванного трением воздуха о стенки этого участка: $h_1 = \Delta h_{тр1}$.

Разрежение в заднем участке тоннеля h_2 расходуется на:

1. потери напора при входе воздуха в тоннель $\Delta h_{вх}$;
2. преодоление сопротивления трения в заднем участке тоннеля $\Delta h_{тр2}$;
3. компенсацию разрежения, вызванного созданием скоростного напора в тоннеле $h_{ск}$.

Отсюда, потери напора в тоннеле или, что то же самое, перепад давлений перед головным и за последним вагонами поезда:

$$h_1 - h_2 = \Delta h_{тр1} + \Delta h_{тр2} + \Delta h_{вх} + h_{ск}.$$

Сопротивление трения по длине свободной части тоннеля:

$$\Delta h_{тр} = \Delta h_{тр1} + \Delta h_{тр2}.$$

В связи с тем, что величина $\Delta h_{тр}$ определяет сопротивление трения от потока воздуха, вызванного движением поезда в тоннеле, можно принять:

$$\Delta h_{тр} = \lambda \frac{L_T - L_n}{D_r} \rho \frac{c^2}{2},$$

где $D_r = 4 \frac{f}{u}$ - гидравлический диаметр тоннеля, М; f - площадь поперечного сечения тоннеля, М²; u - периметр поперечного сечения, М; λ - коэффициент трения воздуха об стенку тоннеля; L_T - длина тоннеля между станциями, М; L_n - длина поезда, М; ρ - массовая плотность воздуха, кг сек²/м²;

В окончательном виде выражение для потерь напора в тоннеле имеет вид:

$$h_1 - h_2 = \xi_T \cdot \rho \cdot \frac{c^2}{2} = (\xi_{вх} + \xi_{вых} + \xi_{тр}) \cdot \rho \cdot \frac{(v_0 - v_T)^2}{2}, \quad (3)$$

где $\xi_T = \xi_{вх} + \xi_{вых} + \lambda \frac{L_T - L_n}{D_r}$ - коэффициент полного сопротивления для данного тоннеля; $\xi_{вх}, \xi_{вых}$ - коэффициенты местных сопротивлений, вызванных резким изменением конфигурации живого сечения воздушного потока, соответственно, сзади и спереди движущегося состава. Необходимо отметить, что в работах [5,6] величины коэффициентов местных сопротивлений предлагаются определять для случаев внезапного сужения и внезапного расширения потока ($\xi_{вх} = 0,5; \xi_{вых} = 1$). Такой подход не

учитывает перетекания воздуха между параллельными однопутными тоннелями через циркуляционные сбойки. Поэтому величины указанных коэффициентов должны быть конкретизированы для каждого перегона метрополитена [7].

Разность давлений перед головным и за последним вагонами поезда уравнивается сопротивлением поезда Q_T и дополнительными потерями в зазоре Q_3 , следовательно, величина сопротивления воздушной среды при движении поезда в тоннеле определяется выражением:

$$Q_T = (h_1 - h_2) \cdot f - Q_3. \quad (4)$$

С учетом (4) и вышеизложенных допущений можно записать:

$$\xi_T = \xi_{вх} + \xi_{вых} + \lambda \frac{L_T - L_n}{D_r} = f(t),$$

где $\lambda_{нест}$ - коэффициент трения при неустановившемся движении воздуха в тоннеле. Величину $\lambda_{нест}$ предлагается вычислять

$$\lambda_{нест} = \lambda_{ст} + \Lambda, \quad \Lambda = f \left(\frac{dv}{dt}; \frac{d^2v}{dt^2} \right) \quad (5)$$

Величина Q_T может быть определена из формулы:

$$Q_T = f \left[\xi_T \left(1 - \frac{v_T}{v} \right)^2 - \xi_{\text{Э}} \left(\frac{v_T}{v} \right)^2 \right] \rho \frac{v^2}{2 \cdot 3,6^2},$$

$$\xi_{\text{Э}} = \frac{\alpha(1 + \alpha)}{1 - \alpha}, \quad (6)$$

где $\alpha = \frac{F}{f}$ - коэффициент заполнения тоннеля; F - площадь миделевого сечения вагонов, м².

В отличие от [6] в выражении (6) учитывается нестационарный характер движения воздушных масс. Для учета вентиляционных потоков при расчете суммарного циркуляционного потока, необходимо учесть скорость воздушного потока, индуцированную работающей вентиляционной установкой

$$C_{\text{вент}} = \frac{G_{\text{вент}}}{f} = \frac{Q_{\text{наб}}}{((I_{\text{кон}} - I_{\text{нач}}) - \frac{Q_{\text{наб}}}{4G_{\text{ц}}}) \cdot f}, \quad (7)$$

где $G_{ц} \approx G_{общ} - G_{вент}$; $Q_{наб}$ - теплоизбытки в тоннелях, ассимилируемые воздухом, подаваемым системой тоннельной вентиляции; $I_{кон}$ - конечное, расчетное теплосодержание воздуха в тоннеле в конце расчетного участка станции, со стороны которого поезд входит на станцию, ккал/ч; $I_{нач}$ - начальное, расчетное теплосодержание наружного воздуха, соответствующее для теплого периода года, ккал/кг.

На рис. 2 приведены полученные зависимости сопротивления воздушной среды Q_T от скорости v с учетом конкретных значений коэффициентов местных сопротивлений.

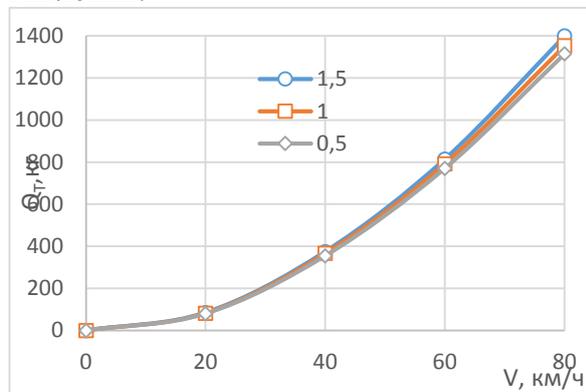


Рис. 2 - Зависимость сопротивления воздушной среды Q_T от скорости поезда с учетом конкретных значений коэффициентов местных сопротивлений

Анализ приведенных на рис.2 данных показывает, что при уменьшении ξ_T на 0,5 Q_T падает до 3%, а на 1 – до 6 %, что уменьшает удельное основное сопротивление движению вагонов.

Выводы

Таким образом, предложенный метод расчета расхода воздуха в тоннелях метрополитена в отличие от известных методов

учитывает нестационарный характер циркуляционного потока и влияние вентиляционных потоков в тоннеле. В качестве примера приведены результаты расчетов зависимостей сопротивления воздушной среды от скорости движения состава для различных значений коэффициентов местных гидравлических сопротивлений метрополитенов. Величины указанных коэффициентов должны быть определены для каждого конкретного тоннеля (перегона метрополитена).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Юшковский Э. М. Исследование вентиляции метрополитена глубокого заложения при интенсивном движении поездов / Э. М. Юшковский. – Ленинград, 1979 г. – 20 с.
2. Казаков В.С. О сезонном регулировании воздухообмена в метрополитенах / В. С. Казаков – М.: ЦНИИС, 1987. – 35 с.
3. Цодиков В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. / В. Я. Цодиков. – М.: Недра, 1975. – 313 с.
4. Цодиков В.Я. Взаимодействие системы тоннельной вентиляции и поршневого эффекта движущихся в метрополитене поездов / В. Я. Цодиков. – М.: Транспортное строительство, 1974. – №5, 47 – 49 с.
5. Абрамович Г. Н. К расчету воздушного сопротивления поезда на открытой трассе и в тоннеле / Г. Н. Абрамович // Труды ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. – 1939. – Вып. № 400. – 32 с.
6. Радченко В. Д. Сопротивление движению вагонов метрополитена. / В. Д. Радченко. – М.: Недра, 1957г. – 70 с.
7. Грязнова С.А. Метод расчета аэродинамических характеристик системы «тоннель-поезд» / С.А. Грязнова, С.А. Калкаманов, Н.В. Хворост// Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник /Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України. - Харків: 2011. – Вип. № 101. – С. 520-527.