УДК 628.854.001.572

© Т. А. Дацюк, д-р техн. наук, профессор
© В. М. Уляшева, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
© А. В. Цыганков, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет информационных
технологий, механики и оптики)
© Е. А. Анишук, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail:tdatsuk@mail.ru, ulyashevavm@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-6-235-239

© Т. А. Datciuk, Dr. Sci. Tech., Professor
© V. M. Ulyasheva, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
© A. V. Tsygankov, Dr. Sci. Tech., Professor
(ITMO University)
© E. A. Anshukova, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail:tdatsuk@mail.ru, ulyashevavm@mail.ru

ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ И СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПЕРЕХОДОВ

AIR REGIME AND CONDITION OF BUILDING STRUCTURES OF UNDERGROUND PASSAGES

Увеличение потоков автотранспорта приводит к необходимости строительства подземных переходов. Повышенная влажность воздуха в подземных переходах оказывает неблагоприятное влияние как на ограждающие конструкции, так и на пешеходов. Проветривание подземных переходов позволит улучшить их тепловлажностный режим. В работе представлены результаты численного моделирования воздушного режима подземного пешеходного перехода. Выявлен характер движения воздуха. Получены поля распределения скорости движения воздуха при различных направлениях ветра. Обоснована необходимость организованного проветривания подземных переходов.

Ключевые слова: пешеходный переход, строительные конструкции, воздушный режим, численное моделирование.

The increase in traffic flows leads to the need for the construction of underground passages. The high air humidity in the underpasses has an adverse effect both on the building envelope and on pedestrians. Ventilating the underground passages will improve the heat and humidity conditions there. The paper presents the results of numerical modeling of the air regime of an underground pedestrian crossing. The nature of the air movement is revealed. There have been obtained fields of air velocity distribution for various wind directions. The necessity of organized ventilation of underground passages is substantiated.

Keywords: pedestrian crossing, building structures, air mode, numerical simulation.

Увеличение количества транспорта в крупных и развивающихся городах приводит не только к ухудшению экологической ситуации, но и к проблемам организации дорожного движения.

С точки зрения безопасности пешеходов, бесспорно, предпочтение следует отдать подземным переходам. Кроме того, они, в отличие от наземных, не нарушают архитектурный облик города и могут быть совмещены с выходами станций метрополитена и крупных торговых центров.

Подземные переходы для пешеходов рекомендуются располагать:

- в черте города на центральных улицах, проспектах с интенсивным движением;
- на сложных и загруженных перекрестках;
- в местах скопления большого количества людей, например, у торговых центров, автовокзалов, железнодорожных станций.

Однако при строительстве и эксплуатации подземных переходов возникает ряд проблем:

- существенные финансовые затраты;

- отсутствие комфортных условий для пешеходов с ограниченными возможностями и женщин с детскими колясками, особенно в зимний период года;

- недолговечность строительных конструкций, плохое санитарное состояние воздушной среды.

Ограждающие конструкции подземных переходов эксплуатируются в более сложных условиях, чем наземные. Наличие грунтовой влаги, нестационарные тепловлажностные условия, отсутствие вентиляции — все это приводит к переувлажнению материалов строительных конструкций и снижению их долговечности.

Дефекты конструкций подземных переходов связаны, в основном, с проникновением грунтовых вод через трещины, возникающие в результате усадки бетона во время отверждения или вследствие температурных деформаций. Это приводит к эрозии и коррозии конструкций, а также к развитию грибковых поражений. Типичные дефекты конструкции подземных переходов показаны на рис. 1.

Тепловлажностный режим подземных переходов оказывает также неблагоприятное влияние на пешеходов из-за повышенной влажности воздуха и наличия различных запахов. Большинство переходов, особенно I типа, используются для пересечения пешеходами транспортных магистралей. Однако нередко в подземных переходах, ширина и геометрические размеры которых позволяют, располагаются торговые точки с длительным пребыванием людей. В связи с этим определенный интерес представляет оценка качества проветривания подземных переходов.

Исследованию тепловлажностного режима подземных переходов и повышению эффективности естественной вентиляции посвящены работы [1–9]. Большинство работ зарубежных авторов основано на использовании численного моделирования. Результаты натурных исследований и численного моделирования (CFD) параметров окружающей среды (скорость ветра, относительная влажность, температура воздуха) в подземных переходах [1, 2] подтвердили низкую эффективность проветривания подобных объектов. Относительная влажность воздуха в центральной части перехода увеличивается на 20–30 %, достигая 86–90 % при относительной

влажности поступающего атмосферного воздуха 60–65 %.

В отечественной литературе этому вопросу не уделялось достаточного внимания. В работе [9] рассматривается аэрация подземного перехода, но, к сожалению, не использованы возможности современной вычислительной техники, а приведенные результаты нельзя считать корректными. Для получения информации о движении воздуха в подземном переходе был выполнен численный расчет для подземного перехода I типа, исследованного в работе [9]. Модель подземного городского перехода построена в масштабе 1:1 в программе Solidworks. Длина перехода принята 80 м, поперечное сечение — 14×3 м. Для исследования движения воздуха в подземном переходе и аэрационного режима в месте его расположения, а также для формирования характеристик пограничного слоя размеры расчетной области приня-

Рис. 1. Типичные дефекты конструкций подземных переходов

ты: в горизонтальной плоскости — диаметр 1000 метров, высота над поверхностью земли 400 метров. Расчет проводился для трех направлений ветра: 0, 45 и 90 градусов по отношению к продольной оси перехода (рис. 2).

Для расчета использована математическая модель, основанная на системе уравнений Навье–Стокса в осреднении Рейнольдса, реализованная в программном комплексе «STAR-CCM+». Расчетная сетка и направления ветра, принятые при расчете, приведены на рис. 2.

Расчетная сетка состояла из 5 млн ячеек. Формирование профиля ветрового потока осуществлялось созданием призматического слоя у поверхности земли. Сгущение расчетной сетки выполнено как внутри перехода, так и снаружи на достаточном удалении от перехода для получения корректной картины обтекания бортов перехода. Модель перехода в формате 3D и расчетная сетка приведены на рис. 2.

Профиль скорости ветра формировался автоматически с учетом шероховатости ровной

поверхности земли и соответствовал степенной зависимости с показателем степени $n = 0,14$. Скорость потока на высоте 400 м принята 5 м/с. При расчете использована стандартная модель турбулентности k-ε. Результаты расчета представлены в виде:

- полей скоростей и векторов на плоскости в различных сечениях модели;
- линий тока воздуха, т. е. траекторий движения воздушных масс.

Результаты расчета (рис. 3) показали, что при всех рассмотренных направлениях ветра скорость на уровне бортиков перехода составляла 2,6–4 м/с.

В конце спуска скорость уменьшилась и составила для всех рассмотренных направлений ветра 0,5–0,6 м/с. На рис. 4 показано движение воздуха в горизонтальном сечении подземного перехода на уровне 1,5 м и в вертикальных сечениях для разных направлений ветра.

Выводы

Анализ полученных полей скорости показал, что:

- скорость движения воздуха в центральной части перехода практически равна нулю при всех направлениях ветра;
- при направлениях ветра под углом 45 и 90 градусов есть незначительное вихревое движение воздуха, особенно вблизи спусков;
- средняя скорость воздуха по сечению для направления ветра под углом 90 градусов равна 0,04 м/с;
- подвижность воздуха и характер инжекционного вихревого движения зависит от направления ветра и длины перехода;

Рис. 2. Вид модели перехода: направления ветра (а); модель перехода (б); расчетная сетка (в)

Рис. 3. Скорость воздуха у поверхности земли и в местах спуска (лестниц): ветер перпендикулярно оси перехода, угол 90 градусов

Рис. 4. Скорости воздуха в горизонтальных и вертикальных сечениях перехода при направлении ветра: а, б — 0 градусов; в, г — угол 45 градусов; д, е — угол 90 градусов

- определить воздухообмен в объеме перехода да не представляется возможным.

Проветривание подземного перехода I типа при рассмотренных геометрических размерах за счет естественной вентиляции не обеспечивается.

Библиографический список

1. Yong Wang, Xiongwei Li, Min Wang, Yanli Wang, Jianbin Chen. Ventilation Effect and Optimum Design of an Urban I-Shaped Pedestrian Underpass. GeoShanghai International Conference GSIC 2018: Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Tunnelling and Underground Construction, pp. 652–665.
2. Wang G. D., Li A. G., Qiu S. H. Study on hot and humid environment test of underground pedestrian crossing in Xi'an. Build. Therm. Ventilating Air Conditioning 28(2), 25–28 (2009).
3. Li J. S. M., Chow W. K. Numerical studies on performance evaluation of tunnel ventilation safety systems. Tunn. Undergr. Space Technol. 18(5), 435–452 (2003).
4. Jiang Y., Alexander D., Jenkins H., Arthur R., Chen Q. Y. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large eddy simulation. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 91(3), 331–353 (2003).
5. Diego I., Torno S., Toraño J., Menéndez M., Gent M. A practical use of CFD for ventilation of underground works. Tunn. Undergr. Space Technol. 26(1), 189–200 (2011).
6. Jiang M. J., Zhang W. C. CFD-DEM coupling numerical method considering fluid equation of state. J. Geotech. Eng. 5, 793–801 (2014).
7. Van Der Voordt D. J. M., Van Wegen H. B. R. Underpasses for pedestrian and cyclists – user requirements and implications for design. Transp. Plan. Technol. 8, 1–14 (1983).
8. Xiongwei Li, Yu Qin, Yong Wang. Natural Ventilating Behavior of Z-Shaped Pedestrian Underpass

in Wuhan/GeoShanghai International Conference GSIC 2018: Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Tunnelling and Underground Construction, pp. 635–641.

9. Бодров В. И., Кучеренко М. Н., Сухов В. В. Интенсивность естественного воздухообмена в подземных пешеходных переходах // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 5. С. 41–48.

References

1. Yong Wang, Xiongwei Li, Min Wang, Yanli Wang, Jianbin Chen. Ventilation Effect and Optimum Design of an Urban I-Shaped Pedestrian Underpass. *GeoShanghai International Conference GSIC 2018: Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference. Tunnelling and Underground Construction*, pp. 652–665.
2. Wang G. D., Li A. G., Qiu S. H. Study on hot and humid environment test of underground pedestrian crossing in Xi'an. *Build. Therm. Ventilating Air Conditioning* 2009, no. 28(2), pp. 25–28.
3. Li J. S. M., Chow W. K. Numerical studies on performance evaluation of tunnel ventilation safety systems. *Tunn. Undergr. Space Technol*, 2003, no. 18(5), pp. 435–452.
4. Jiang Y., Alexander D., Jenkins H., Arthur R., Chen Q. Y. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large eddy simulation. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 2003, no. 91(3), pp. 331–353.
5. Diego I., Torno S., Toraño J., Menéndez M., Gent M. A practical use of CFD for ventilation of underground works. *Tunn. Undergr. Space Technol*, 2011, no. 26(1), pp. 189–200.
6. Jiang M. J., Zhang W. C. CFD-DEM coupling numerical method considering fluid equation of state. *J. Geotech. Eng.* 2014, no. 5, pp. 793–801.
7. Van Der Voordt D. J. M., Van Wegen H. B. R. Underpasses for pedestrian and cyclists – user requirements and implications for design. *Transp. Plan. Technol.*, 1983, no. 8, pp. 1–14.
8. Xiongwei Li, Yu Qin, Yong Wang. Natural Ventilating Behavior of Z-Shaped Pedestrian Underpass in Wuhan. *GeoShanghai International Conference GSIC 2018: Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Tunnelling and Underground Construction*, pp. 635–641.
9. Bodrov V. I., Kucherenko M. N., Sukhov V. V. *Intensivnost' estestvennogo vozdukhoobmena v podzemnykh peshekhodnykh perekhodakh* [Intensity of natural air exchange in underground pedestrian crossings]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo – Bulletin of Higher Schools. Construction*, 2014, no. 5, pp. 41–48.