

**Д.В. Зедгенизов, В.В. Лопатин, А.Б. Еремкин**

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ  
НА МАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ  
РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРА  
ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТВОРЧАТОГО ТИПА  
ДЛЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Приведено описание экспериментального стенда и методики исследования на модели регулировочных характеристик регулятора воздухораспределения створчатого типа для управления расходом воздуха в тоннелях метрополитена. Представлен анализ экспериментальных данных.

Ключевые слова: регулировочная характеристика, управление проветриванием, регулятор воздухораспределения, метрополитен.

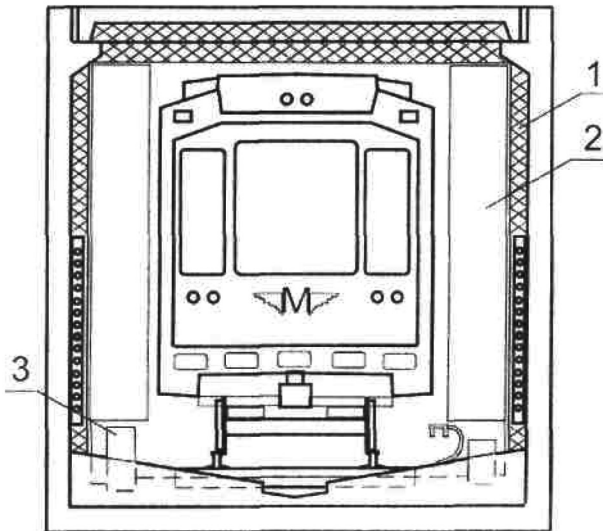
**В** метрополитенах мелкого заложения значительное влияние на распределение воздуха в тоннелях и на платформах станции оказывают метропоезда [1]. При их движении по тоннелям создается так называемый «поршневой» эффект, благодаря ко-

торому значительные массы воздуха перемешаются через станцию, тоннели и пути следования пассажиров. Для эффективного регулирования объемов воздуха, проходящих через платформу станции, в путевых тоннелях, непосредственно примыкающих к платформе, предлагается установка регуляторов воздухораспределения (РВ) створчатого типа [2], представленных на рис. 1.

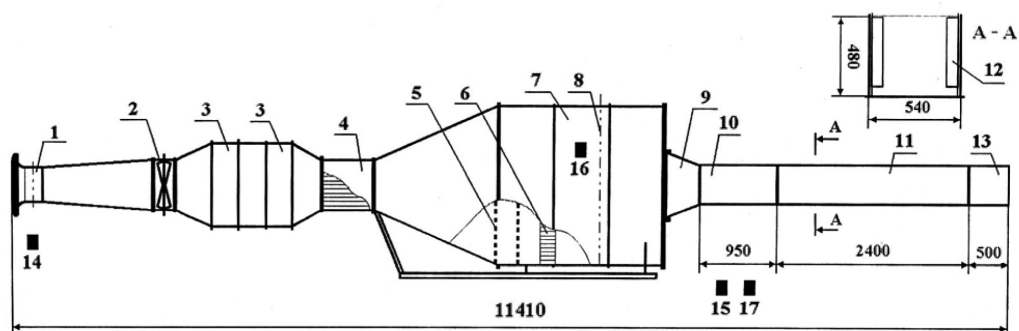
Предлагается регулировать объемы воздуха, проходящего из тоннеля на станцию, путем перекрытия «живого» сечения тоннеля створками регулятора. Путевой тоннель вблизи станции имеет прямоугольное сечение, что позволяет эффективно использовать регулятор с прямоугольными створками.

**Описание экспериментального стенда**

Для управления проветриванием станции в автоматическом режиме необходимо знать регулировочную



**Рис. 1. Эскиз регулятора воздухораспределения створчатого типа, установленного в тоннеле метрополитена: 1 – закладка пространства над регулятором; 2 – створка регулятора; 3 – электропривод поворота створок**



**Рис. 2. Аэродинамический стенд с установленной моделью участка путевого тоннеля:** 1 – расходомер (измерительный коллектор ЦАГИ); 2 – дроссель; 3 – вентилятор вспомогательный В02,3–130-8 с переходниками; 4 – воздуховод короткий со струевыпрямителем; 5 – спрямляющие решетки; 6 – хонейкомб; 7 – камера всасывания; 8 – измерительное сечение; 9 – входной спрямляющий переходник; 10 – входной выравниватель потока; 11 – модель участка тоннеля с установленными створками; 12 – створки модели регулятора; 13 – выходной выравниватель потока; 14 – микроманометр ММН-240; 15 – микроманометр МКВ-2500–0,02; 16 – датчик температуры воздуха; 17 – барометр. Размеры элементов модели даны в мм

характеристику РВ, т.е. зависимость сопротивления регулятора  $R$  от угла поворота его створок  $\alpha$ . Для получения такой зависимости была рассчитана и изготовлена модель тоннеля метрополитена с установленными в нем створками регулятора. Для создания потока воздуха, имитирующего поршневое действие поездов, использовался стенд аэродинамических испытаний вентиляторов, представленный на рис. 2.

В качестве оригинала модели был использован участок перегона возле станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена. Для соблюдения условия геометрического подобия оригинала и его модели [3] с учетом реальных скоростей воздуха, возникающих в тоннеле при движении поездов [4, 5, 6], а также с учетом конструктивных ограничений аэродинамического стенда был выбран масштаб подобия  $M = 8,33$ . Характерный линейный размер модели составил  $d = 0,508$  м. Вентилятор стенда создает воздушный поток, величина которого может изменяться при помощи дросселя. После выравнивания в элементах стенда поток воздуха проходит

через створки РВ, расположенные под заданным углом к продольной оси модели. Расход воздуха регистрируется микроманометром ММН-240, перепад давления на створках измерялся микроманометром МКВ-2500–0,02. Также регистрировалась температура (индикатор температуры ИТ-1 и сухой термометр психрометра МВ-4М), влажность воздуха (психрометр аспирационный МВ-4М, класс точности 2%) и его атмосферное давление (барометр-анероид М98, класс точности  $\pm 1$  мм рт. ст.).

### Методика эксперимента

Для вычисления аэродинамического сопротивления регулятора  $R$  использовалась формула

$$R = \frac{\Delta P}{Q^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – разница давления на входе и выходе створчатого регулятора;  $Q$  – расход воздуха, проходящего через регулятор.

Перепад давления  $\Delta P$  на створках модели определялся как разница между суммарными потерями давления в системе «стенд + модель» и перепадом

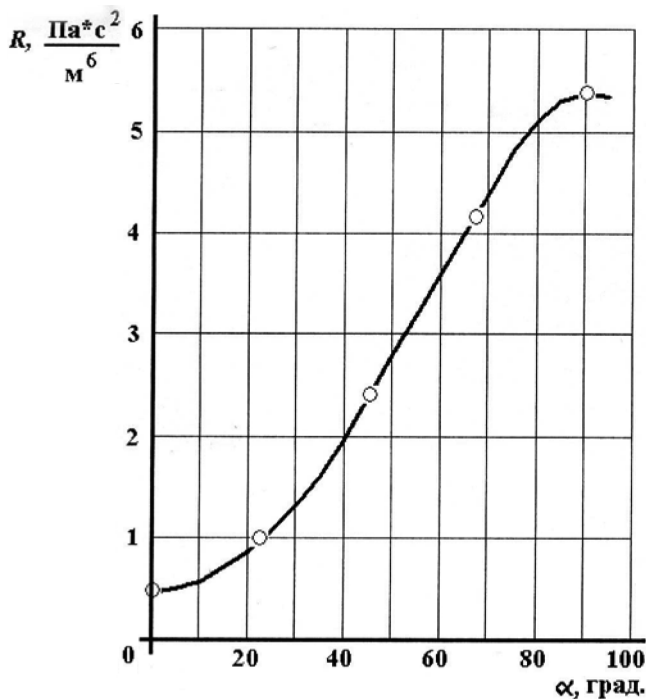


Рис. 3. График полученной на модели зависимости сопротивления регулятора от угла поворота створок  $R = f(\alpha)$

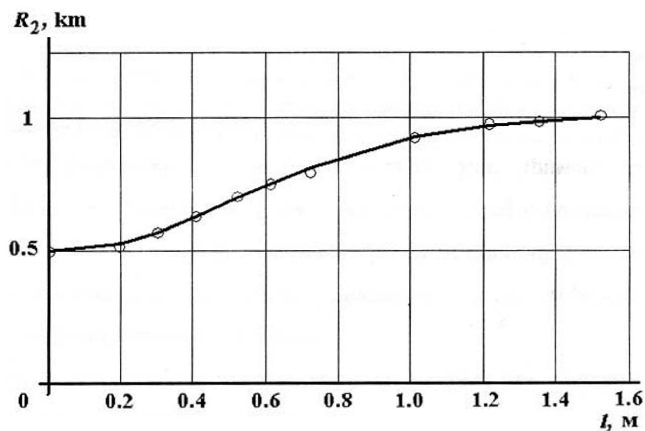


Рис. 4. График зависимости сопротивления регулятора с двумя парами створок от расстояния между ними

давления в модели без створок по формуле

$$\Delta P = \Delta P_{\Sigma} - R_k \cdot Q^2, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{\Sigma}$  – разница между осредненным статическим давлением воздуха в камере всасывания стенда и атмосферным давлением;  $R_k$  – аэродинамическое сопротивление канала и модели при отсутствии створок.

Сопротивление  $R_k$  определялось вначале продувок по измеренным значениям  $\Delta P_{\Sigma}$  и  $Q$  в системе «стенд + модель без створок».

Расход воздуха  $Q$  находился через показания микроманометра по формуле

$$Q = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2P_Q}{\rho}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент расхода в расходомере ( $\alpha = 0,985$ );  $d$  – измерительный диаметр расходомера ( $d = 0,53$  м);  $P_Q$  – перепад давлений в расходомере ММН-240;  $\rho$  – плотность воздуха, определяемая с учетом его температуры и атмосферного давления.

### Анализ данных экспериментов

График регулировочной характеристики модели РВ створчатого типа приведен на рис. 3. Сопротивление регулятора при угле  $\alpha = 0^\circ$  (створки открыты) обусловлено ненулевым сопротивлением поворотной оси открытой створки. График достигает максимума при угле  $\alpha = 90^\circ$  (створки полностью закрыты). При

дальнейшем увеличении угла, сопротивление регулятора уменьшается. Характеристика имеет нелинейный характер, однако, в рабочей области

изменения углов  $\alpha$  с достаточной степенью точности может быть линеаризована.

Для увеличения глубины регулирования расхода воздуха створчатым регулятором необходимо увеличить количество пар створок. Очевидно, что при расположении двух пар створок РВ рядом они работают как одна пара, т.е. суммарное сопротивление такого регулятора близко к сопротивлению одной пары створок. При расстоянии между парами створок намного превышающем высоту створки (т.е. характерный размер модели) сопротивление регулятора удваивается. Задача нахождения минимального количества пар створок РВ для получения максимальной глубины регулирования расхода воздуха при условии ограничения на длину участка, где возможна установка РВ, является оптимизационной. Такая задача может быть решена после нахождения зависимости сопротивления  $R_2$ , создаваемого двумя парами створок РВ от расстояния  $l$  между ними. График зависимости  $R_2 = f(l)$  представлен на рис. 4. Очевидно, что при удалении мобильной пары створок от базовой суммарное сопротивление регулятора возрастает от сопротивления одной пары створок (при их установке рядом друг с другом) до удвоенного сопротивления (при удалении мобильной пары створок на определенное расстояние). При дальнейшем увеличении

расстояния между парами створок суммарное сопротивление регулятора увеличивается незначительно (на величину сопротивления, оказываемого движению воздуха стенками модели).

Дальнейшие исследования показали, что при изменении расстояния между парами створок  $2 \times d \leq l \leq 3 \times d$  сопротивление регулятора возрастает незначительно (не более 10%). Участок тоннеля, на котором возможна установка створок регулятора, ограничен ста метрами от края платформы. Поэтому для повышения эффективности регулирования потока воздуха расстояние между парами створок следует принимать не более двух характерных размеров.

Минимальное расстояние между парами створок определяется также по показателю глубины регулирования и не должно быть меньше характерного размера  $d$ .

### Заключение

1. С помощью натурального эксперимента на модели участка тоннеля метрополитена получена статическая регулировочная характеристика регулятора воздушораспределения створчатого типа.

2. Экспериментально определен диапазон значений расстояния между парами створок модели для эффективного регулирования расхода воздуха на участке вентиляционной сети метрополитена.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красюк А.М., Лугин И.В., Павлов С.А. Математическое моделирование воздухо-распределения в вентиляционной сети метрополитена с учетом поршневого действия поездов // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 13. Аэрология. – 2009. – С. 48–57.

2. Зедгенизов Д.В. Система управления расходом воздуха на участке вентиляцион-

ной сети метрополитена мелкого заложения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 1. – С. 83–91.

3. Петров Н.Н., Попов Н.А. Исследование нагрузочных параметров исполнительных механизмов САРВ методами теории подобия / Надежность, экономичность и автоматическое регулирование главных

вентиляторных установок шахт. Сборник трудов. – Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН, 1969. – С. 74–80.

4. Цодиков В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975.

5. Экспериментальное исследование воздухораспределения на станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена. Отчет

о НИР. – Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН, 1993. – 97 с.

6. Исследование на АЦВК и в натурных условиях переходных процессов и частотных свойств вентиляционных систем перегонов, получение математического описания. Институт горного дела СО РАН: Руководитель Н.Н. Петров. – № 493–15. – Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН, 1989. – 109 с. **ГИАС**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

Зедгенизов Дмитрий Владиленович – кандидат технических наук,  
Институт горного дела СО РАН,

Лопатин В.В. – ООО НЭМЗ «Тайра», e-mail: info@tayra.ru,

Еремкин А.Б. – ООО НЭМЗ «Тайра», e-mail: info@tayra.ru.

---

UDC 62–543.2: 624.191.94

## THE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL FINDINGS FOR CONTROL RESPONSES OF UNDERGROUND AIRFLOW CONTROL DEVICE WITH DOORS

Zedgenizov D.V., Candidate of Technical Sciences,

Mining Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,

Lopatin V.V., Novosibirsk Electric Machine Building Plant «Tayra», e-mail: info@tayra.ru,

Eremkin A.B., Novosibirsk Electric Machine Building Plant «Tayra», e-mail: info@tayra.ru.

---

*The experimental equipment description and the method of investigation of control responses of doors type of underground airflow control device are discussed. The analysis of experimental dates are given.*

*Key words: control response, airflow control, airflow control device, underground.*

## REFERENCES

1. Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Pavlov S.A. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. Special issue 13. Aerology, 2009, pp. 48–57.

2. Zedgenizov D.V. Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh, 2009, no 1, pp. 83–91.

3. Petrov N.N., Popov N.A. Nadezhnost', ekonomichnost' i avtomaticheskoe regulirovanie glavnykh ventilyatornykh ustanovok shakht. Sbornik trudov (Reliability, economic efficiency and automatic control of main mine fans. Collected papers), Novosibirsk, Izd. IGD SO RAN, 1969, pp. 74–80.

4. Tsodikov V.Ya. Ventilyatsiya i teplosnabzhenie metropolitenov. Izd. 2-e, pererab. i dop. (Ventilation and heating of subways, 2nd edition), Moscow, Nedra, 1975.

5. Eksperimental'noe issledovanie vozdukhoraspredeleniya na stantsii «Oktyabr'skaya» Novosibirskogo metropolitena. Otchet o NIR (Experimental research of air distribution at the Oktyabr'skaya platform of the Novosibirsk Metro. Research and Development Report), Novosibirsk, Izd. IGD SO RAN, 1993, 97 p.

6. Issledovanie na ATsVK i v naturnykh usloviyakh perekhodnykh protsessov i chastotnykh svoistv ventilyatsionnykh sistem peregonov, poluchenie matematicheskogo opisaniya. Institut gornogo dela SO RAN: Rukovoditel' N.N. Petrov, no 493–15 (Analog-digital computation and full-scale study of transient processes and frequency characteristics of ventilation in hauls, mathematical description. Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences: Project manager N.N. Petrov, no 493–15), Novosibirsk, Izd. IGD SO RAN, 1989, 109 p.

