

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Алферова Е.Л.,

научный руководитель д-р техн. наук Красюк А.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала

Сибирского отделения Российской академии наук

Из опыта эксплуатации Новосибирского метрополитена следует, что в холодный период проветривание с использованием механической вентиляции ведет к переохлаждению тоннельного воздуха ниже допустимых по нормам значений, поэтому тоннельная вентиляция в этот период осуществляется только за счет поршневого действия поездов и естественной тяги (ЕТ).

Для исследования действия естественной тяги на воздухораспределение в сети тоннельной вентиляции метрополитена мелкого заложения при различных условиях были проведены шесть численных экспериментов/ Действие естественной тяги моделируется установкой в сеть фиктивных источников тяги – «вентиляторов», депрессия естественной тяги задается перепадами давлений между соседними выходами в атмосферу (рисунок 1) по принципу суперпозиции. Расчет производился в программе расчета шахтного воздухораспределения «SibRV», разработанной в Институте горного дела.

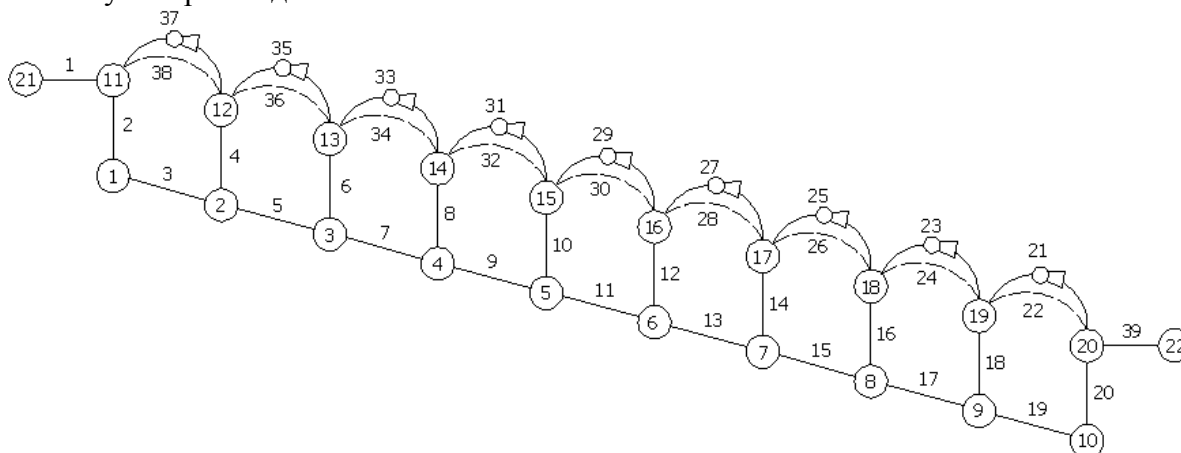


Рисунок 1. Расчетная схема исследуемой сети для расчета в программе «SibRV»

Влияние топологии на воздухораспределение

Это базовый численный эксперимент, он проводился для того, чтобы в дальнейшем оценить влияния начальных условий. В самом же эксперименте использовались опытные исходные данные по заданию топологии и сопротивлений участков сети. Тоннельная вентиляция отключена, вентиляционные тоннели перекрыты. Исследование проводится на линии из десяти станций, расчетная схема для расчета в программе «SibRV» представлена на рисунке 1.

Эксперимент №1. Исходные данные:

Температура наружного воздуха – $t_1 = -20$ °С; тоннельного – $t_2 = +16$ °С;

Плотность наружного воздуха – $\rho_1 = 1.396$ кг/м³; тоннельного – $\rho_2 = 1.223$ кг/м³;

Превышение между пассажирскими выходами при длине перегонов 1 км и уклоне тоннеля 0,01‰ – $h_1 = 10$ м; глубина заложения станции – $h_2 = 5$ м;

Аэродинамическое сопротивление перегонов – $R_1 = 0,00036$ кц, выходов – $R_2 = 0,00464$ кц.

Давление фиктивных источников естественной тяги ΔP_i , где i – номер соответствующей ветки:

для «вентилятора», находящегося между приточным и вытяжным отверстием (на ветке 29, рис.1):

$$\Delta P_{29} = (h_1 + h_2)(\rho_1 - \rho_2) \quad (1)$$

$$\Delta P_{29} = (10 + 5)(1.396 - 1.223) = 2.61 \text{ мм.вод.ст}$$

для остальных (на ветках 21, 23, 25, 27, 31, 33, 35, 37):

$$\Delta P_{21,23,25,27,31,33,35,37} = h_1(\rho_1 - \rho_2) \quad (2)$$

$$\Delta P_{21,23,25,27,31,33,35,37} = 10(1.396 - 1.223) = 1.74 \text{ мм.вод.ст}$$

Результат расчета в таблице 1.

Влияние температуры наружного воздуха

Эксперимент №2: Расчетная схема сети для расчета в программе «SibRV» и исходные данные такие же, как в первом эксперименте, за исключением того, что температуру наружного воздуха принимаем равной расчетной зимней для города Новосибирска, $t_1 = -39$ °С, соответствующая этой температуре плотность наружного воздуха $\rho_1 = 1.51$ кг/м³.

Давление фиктивных источников естественной тяги:

для «вентилятора», находящегося на ветке 29 по формуле (1):

$$\Delta P_{29} = (10 + 5)(1.51 - 1.223) = 4.31 \text{ мм.вод.ст}$$

для остальных (на ветках 21, 23, 25, 27, 31, 33, 35, 37) по формуле (2):

$$\Delta P_{21,23,25,27,31,33,35,37} = 10(1.51 - 1.223) = 2.87 \text{ мм.вод.ст}$$

Результат расчета в таблице 1.

Эксперимент №3: Чтобы оценить влияние изменения температуры наружного воздуха на воздухораспределение, была принята такая температура наружного воздуха, при которой включаются тоннельные вентиляторы, $t_1 = +10$ °С, соответствующая этой температуре плотность наружного воздуха $\rho_1 = 1.258$ кг/м³.

Давление фиктивных источников естественной тяги:

для «вентилятора», находящегося на ветке 29 по формуле (1):

$$\Delta P_{29} = (10 + 5)(1.258 - 1.223) = 0.52 \text{ мм.вод.ст}$$

для остальных (на ветках 21, 23, 25, 27, 31, 33, 35, 37) по формуле (2):

$$\Delta P_{21,23,25,27,31,33,35,37} = 10(1.258 - 1.223) = 0.35 \text{ мм.вод.ст}$$

Результат расчета в таблице 1.

Влияние сопротивления участков сети

Эксперимент №4: увеличение в два раза сопротивления перегонов. Расчетная схема сети для расчета в программе «SibRV», давления фиктивных источников естественной тяги и исходные данные такие же, как в первом эксперименте, кроме того, что $R_1 = 0,00072$ кц.

Результат расчета в таблице 1.

Эксперимент №5: увеличение в два раза сопротивления выходов на поверхность. Расчетная схема сети для расчета в программе «SibRV», давления фиктивных источников естественной тяги, исходные данные такие же, как в первом эксперименте, за исключением того, что $R_2 = 0,00928$ кц;

Результат расчета в таблице 1.

Влияние геодезических превышений между выходами на дневную поверхность

Эксперимент №6. Исходные данные:

Температура наружного воздуха – $t_1 = -20$ °С; тоннельного – $t_2 = +16$ °С;

Аэродинамическое сопротивление перегонов – $R_1 = 0,00036$ кц, выходов – $R_2 = 0,00464$ кц; глубина заложения станции – $h_2 = 5$ м. Расчетная схема для программы «SibRV» та же.

Превышение между выходами в атмосферу Δh , м, при длине перегонов 1 км, уклон тоннеля α и давления фиктивных источников естественной тяги ΔP_i , мм.вод.ст., занесены в таблицу 2.

Результат расчета в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета воздухораспределения экспериментов

№ ветки	Расход на ветке, м ³ /с						Тип отверстия
	№ эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	
2	26.5	34.1	11.8	22.7	21.7	25.6	выходное
3	26.5	34.1	11.8	22.7	21.7	25.6	–
4	19.6	25.2	8.9	14.9	17.3	18.3	выходное
5	46.1	59.3	20.7	37.6	39	43.9	–
6	13.2	17	5.9	8.2	13.1	12.4	выходное
7	59.3	76.3	26.6	45.8	52.1	65.3	–
8	8.7	11.2	3.8	4.4	9.5	9	выходное
9	68	87.5	30.4	50.2	61.6	72.4	–
10	7.7	9.8	3.4	6	7	7.1	выходное
11	75.7	97.3	33.8	56.2	68.6	65	–
12	7.7	9.8	3.4	6	7	7.4	входное
13	68	87.5	30.4	50.2	61.6	68	–
14	8.6	11.2	3.8	4.4	9.5	8	входное
15	59.3	76.3	26.6	45.8	52.1	57	–
16	13.2	17	5.9	8.2	13.1	12.5	входное
17	46.1	59.3	20.7	37.6	39	44.1	–
18	19.6	25.2	8.9	14.9	17.3	18.7	входное
19	26.6	34.1	11.8	22.7	21.7	25.4	–
20	26.6	34.1	11.8	22.7	21.7	25.4	входное

Таблица 2. Превышение между выходами в атмосферу

Номер ветки	Уклон тоннеля α	Превышение Δh , м	Давление фиктивных источников тяги ΔP_i , мм.вод.ст
3	0.0092	9.2	1.6
5	0.0089	8.9	1.55
7	0.0095	9.5	1.65
9	0.009	9	1.57
11	0.0086	8.6	2.37
13	0.0097	9.7	1.69
15	0.0085	8.5	1.48
17	0.0088	8.8	1.53
19	0.01	10	1.74

Выводы по численным экспериментам

1. Расход воздуха, идущий через вентиляторы, моделирующие действие ЕТ, составляет 26.8 – 75.9 м³/с и сравним с расходом воздуха от тоннельных вентиляторов ВОМД-24 (20 – 60 м³/с), установленных в метрополитене. При этом расход воздуха на станции составляет 26.5 – 75.7 м³/с, что позволяет сделать вывод о существенном влиянии естественной тяги на воздухообмен и воздухораспределение в вентиляционной сети метрополитена мелкого заложения.
2. Расположение станций на линии метро существенно влияет на воздухораспределение на них от действия естественной тяги. Для одностанционной линии из десяти станций при типовых условиях холодного периода года для города Новосибирска воздухообмен меняется от 26.5 для крайних станций до 75.7 м³/с для центральных, т.е. различие почти трехкратное.
3. При снижении температуры наружного воздуха от –20 до –39 °С, воздухообмен на станциях от действия естественной тяги увеличивается почти на треть, на 28–29 %, при повышении температуры от –20 до +10 °С (температура, при которой включаются тоннельные вентиляторы) расход снижается на 55%, т.е. более, чем на половину.
4. Влияние изменения сопротивления участков вентиляционной сети: при увеличении сопротивления перегонов в два раза, снижение расхода воздуха на станциях составляет 3 – 5%; увеличение сопротивления выходов в атмосферу (станций) в два раза снижает расход на 14 – 26%, таким образом, влияние сопротивления станционных вентиляционных путей на воздухообмен на станциях от действия естественной тяги значительнее.
5. Влияние уменьшения геодезических превышений соседних выходов в атмосферу линии метрополитена на воздухораспределение от действия естественной – снижение воздухообмена на 9 – 18% на станциях.