

УДК 62—543.2: 624.191.94

Д.В. Зедгенизов

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ПРОВЕТРИВАНИЯ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Предложено математическое описание системы регулирования температуры воздуха, поступающего на платформу станции метрополитена мелкого заложения, имеющей выход в атмосферу. Система состоит из канала регулирования производительности воздушно-тепловой завесы портала и канала управления расходом воздуха в тоннеле, непосредственно примыкающем к платформе. Приводятся результаты численного эксперимента по проверке адекватности предложенной модели.

Ключевые слова: метрополитен, атмосфера, метромост, метропоезд, проветривание, вентилятор.

Семинар № 11

Целью исследований является изучение возможности управления температурой в холодное время года на станции метрополитена мелкого заложения, имеющей выход в атмосферу. В качестве объекта исследований взят участок вентиляционной сети станции «Речной вокзал» Новосибирского метрополитена, имеющий с одной стороны выход в атмосферу в виде метромоста.

Для предотвращения переохлаждения станции воздушными потоками, поступающими с метромоста в холодное время года, между мостом и платформой стоит воздушно-тепловая завеса (ВТЗ). На рис. 1 представлена технологическая схема процесса управления воздушно-тепловым режимом проветривания на станции «Речной вокзал». Вентиляция метрополитена в зимний период осуществляется за счет поршневого действия поездов в тоннелях и за счет естественной тяги. При этом на крайних станциях линии метрополитена (на тупиковых станциях и станциях вблизи выхода в атмосферу) может сло-

житься неблагоприятная ситуация, при которой совместное действие естественной тяги и поршневого действия поездов вызовут переохлаждение пассажирских помещений станции холодным атмосферным воздухом. Снижение общего количества поступающего на станцию холодного воздуха возможно с помощью повышения аэродинамического сопротивления на путях движения холодного атмосферного воздуха с метромоста. При повышении аэродинамического сопротивления снижается расход воздуха через участок тоннеля вне зависимости от того, каким источником давления (поршневым действием поездов или естественной тягой) он инициируется. Повышение сопротивления возможно вследствие установки на участке метромост — платформа так называемых шиберов [1]: конструкций из листового металла или листов асбоцемента, представляющих собой диафрагмы, уменьшающие площадь живого сечения тоннеля для прохода воздуха и существенно повышающих аэродинамическое сопротивление участка

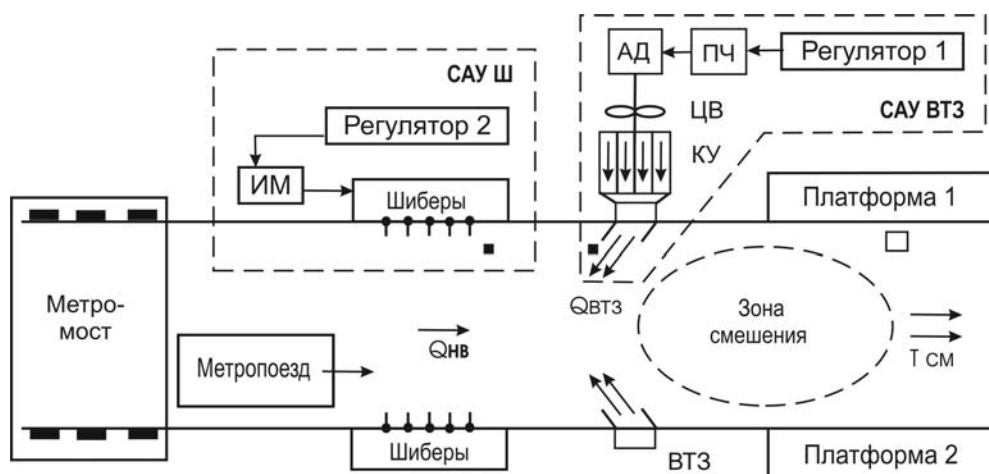


Рис. 1. Технологическая схема процесса управления воздушно-тепловым режимом проветривания на станции «Речной вокзал» Новосибирского метрополитена:

■ — места установки датчиков расхода воздуха, □ — место расположения датчика температуры, Q_{VT3} — расход воздуха, нагнетаемый вентилятором воздушно-тепловой завесы, Q_{HB} — расход наружного воздуха, проходящего через шиберы с метромоста, t_{CM} — температура смешанного воздуха, поступающего на платформу станции

тоннеля. Размеры внутреннего отверстия для прохода воздуха ограничены габаритными размерами метропоездов для соблюдения безопасности их движения.

С помощью подвижных шиберов можно регулировать поступление холодного наружного воздуха в тоннель. Далее холодный воздух с метромоста смешивается с горячим воздухом, идущим из ВТЗ. Температура полученной смеси регистрируется датчиком температуры, расположенном в тоннеле. Эта температура должна составлять $+10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ по п. 3.1 Санитарных правил 2.5.1337—03 «Санитарные правила эксплуатации метрополитенов» от 30.06.2003.

Рассмотрим уравнение теплового баланса на участке вентиляционной сети [2]:

$$t_{cm} G_{VT3} + t_{cm} G_{HB} = G_{VT3} t_{TH} + G_{HB} t_{HB},$$

где t_{CM} — температура смешанного воздуха, t_{TH} — температура теплоносителя (воды), t_{HB} — температура наружного воздуха, G_{VT3} — массовый расход воздуха ВТЗ, G_{HB} — массовый расход наружного воздуха.

Из уравнения теплового баланса t_{CM} вычисляется по формуле:

$$t_{cm} = \frac{G_{VT3} t_{TH} + G_{HB} t_{HB}}{G_{VT3} + G_{HB}}. \quad (1)$$

Полагая температуру наружного воздуха и температуру теплоносителя ВТЗ величинами постоянными, для поддержания температуры на платформе станции на необходимом уровне необходимо управлять расходом наружного воздуха G_{HB} (изменяя аэродинамическое сопротивление участка тоннеля с помощью управляемых шиберов, температуру воздуха из ВТЗ величинами постоянными, необходимо управлять расходом наружного воздуха) и расходом воздуха ВТЗ G_{VT3} (меняя производительность центробежного вентилятора воздушно-тепловой завесы).

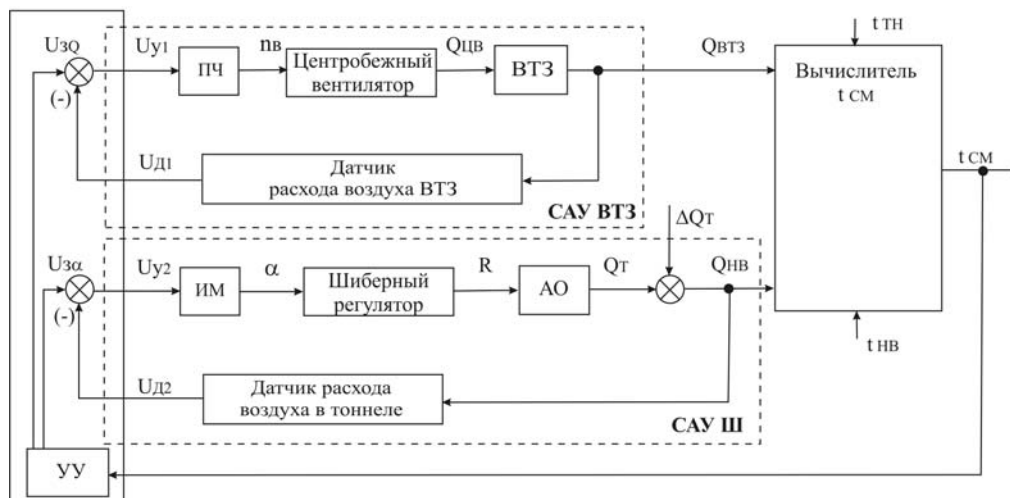


Рис. 2. Функциональная схема системы управления воздушно-тепловым режимом проветривания станции «Речной вокзал»: АО — аэродинамический объект (участок вентиляционной сети); УУ — устройство управления; U_3 — сигнал задания; U_y — сигнал управления; U_d — сигнал с датчика обратной связи; n_B — частота вращения вала центробежного вентилятора; R — аэродинамическое сопротивление участка вентиляционной сети; ΔQ_T — приращение расхода воздуха в тоннеле, вызванное поршневым действием поездов, естественной тягой и пр.

Исходя из рис. 1, математическая модель системы разделяется на две подсистемы: система управления расходом воздуха ВТЗ (САУ ВТЗ) и система управления расходом воздуха через шиберы (САУ Ш). САУ ВТЗ включает в себя следующие элементы: регулятор, преобразователь частоты (ПЧ), короткозамкнутый асинхронный двигатель (АД), центробежный вентилятор (ЦВ), воздушно-тепловую завесу, калориферную установку (КУ), датчик расхода воздуха. САУ Ш содержит следующие элементы: регулятор, исполнительный механизм (ИМ) поворота створок, управляемые шиберы, датчик расхода воздуха.

Температура смеси воздуха на выходе системы контролируется датчиком температуры. Подсистемы связывает логическое устройство управления, предназначенное для формирования и выдачи управляющих воздей-

ствий на соответствующие механизмы с учетом сигнала обратной связи с датчика температуры. Управляющими воздействиями на систему являются сигналы задания требуемых параметров работы вентилятора воздушно-тепловой завесы и угла установки шиберов (см. рис. 2).

Возмущающими воздействиями для данной системы является изменение $t_{тн}$ и $t_{нв}$. Температура наружного воздуха как правило изменяется крайне медленно и имеет, согласно СНиП 2.01.01-82, следующий диапазон: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура теплоносителя (воды) может изменяться в диапазоне $+70\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +95\text{ }^{\circ}\text{C}$, что связано с изменением теплового режима котельной [3].

На рис. 2 представлена функциональная схема системы управления воздушно-тепловым режимом проветривания станции «Речной вокзал».

Регулятор расхода воздуха ВТЗ по сигналу задания требуемого расхода воздуха U_{30} и сигналу обратной связи с датчика расхода воздуха ВТЗ подает команду на преобразователь частоты. ПЧ изменяет частоту вращения вала центробежного вентилятора, тем самым регулируя расход воздуха Q_{LB} , подаваемого в ВТЗ. В калориферной установке, являющейся частью ВТЗ, воздух нагревается до температуры 50°C и поступает в тоннель.

Регулятор положения шиберов по сигналу задания требуемого угла шиберов U_{3a} и сигналу обратной связи с датчика расхода воздуха через шиберы подает команду на включение ИМ вперед или назад, изменяя угол установки шиберов α [4]. При этом в тоннеле изменяется расход воздуха Q_{HB} , который контролируется датчиком расхода воздуха.

Таким образом, в зону смешивания поступают с одной стороны воздушные массы из ВТЗ, а с другой — воздух из тоннеля от действия поездов, естественной тяги и т.п. В зоне смешения происходит перемешивание двух воздушных потоков, имеющих разные температуры и объемы. Математически этот процесс можно описать формулой (1). На схеме рис. 2 процесс формирования однородной смеси постоянной температуры моделируется блоком «Вычислитель t_{CM} ». Зная параметры на входе этого блока, а также задавая значения возмущающим воздействиям, можно получить однозначную информацию о температуре воздуха, поступающего на платформу.

Составленная в результате исследований математическая модель САУ воздушно-тепловым режимом проветривания станции «Речной вокзал» имеет следующий вид

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{ПЧ}(p) = \frac{n_B(p)}{Uy1(p)} = K_{ПЧ} \cdot \frac{K_j}{T_j \cdot p + 1}; \\ W_{LB}(p) = \frac{Q_{LB}(p)}{n_B(p)} = K_B; \\ W_{BTЗ}(p) = \frac{Q_{BTЗ}(p)}{Q_{LB}(p)} = \frac{K_{BTЗ}}{T_{BTЗ} \cdot p + 1}; \\ W_{ДВТЗ}(p) = \frac{U_{Д1}(p)}{Q_{BTЗ}(p)} = K_{ДВТЗ}; \\ W_{ИМ}(p) = \frac{\alpha(p)}{Uy2(p)} = \frac{K_M}{p}; \\ W_{Ш}(p) = \frac{R(p)}{\alpha(p)} = K_{Ш}; \\ W_{АО}(p) = \frac{Q_T(p)}{R(p)} = \frac{K_{АО}}{T_{АО} \cdot p + 1}; \\ Q_{HB}(p) = Q_T(p) + \Delta Q_T(p); \\ W_{ДРТ}(p) = \frac{U_{Д2}(p)}{Q_{HB}(p)} = K_{ДРТ}; \\ t_{CM} = \frac{G_{BTЗ} \cdot t_{ТН} + G_{HB} \cdot t_{HB}}{G_{BTЗ} + G_{HB}} \end{array} \right.$$

где $K_{ПЧ}$ — коэффициент усиления преобразователя частоты; K_j — коэффициент передачи, который характеризует степень изменения скорости вращения вала вентилятора при изменении частоты тока статора двигателя; T_j — постоянная времени, характеризующая инерционность разгона вентилятора; K_B — коэффициент усиления вентилятора; $K_{BTЗ}$ — коэффициент усиления ВТЗ; $T_{BTЗ}$ — постоянная времени ВТЗ, характеризующая инерционность нагрева воздуха калорифером; $K_{ДВТЗ}$ — коэффициент усиления датчика расхода воздуха ВТЗ; K_M — коэффициент усиления исполнительного механизма поворота шиберов; $K_{Ш}$ — коэффициент усиления шиберного регулятора; $K_{АО}$ — коэффициент усиления аэродинамического объекта; $T_{АО}$ —

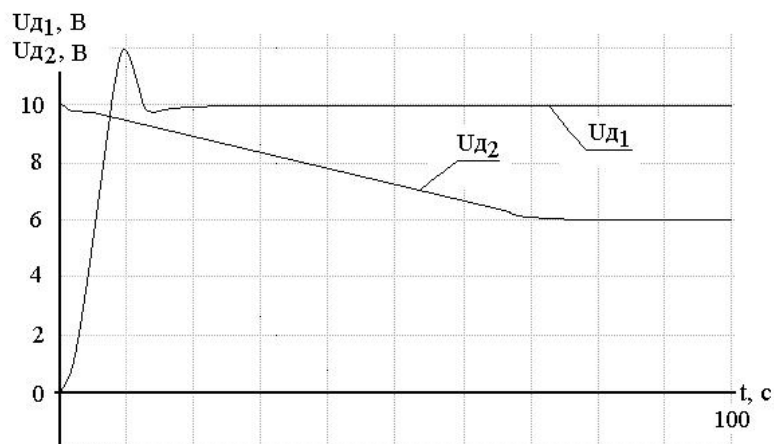


Рис. 3. Переходные процессы изменения расхода воздуха, проходящего через шиберный регулятор и производительности ВТЗ: $U_{д1}$ — сигнал с датчика расхода воздуха ВТЗ, пропорциональный $Q_{ВТЗ}$; $U_{д2}$ — сигнал с датчика расхода воздуха в тоннеле, пропорциональный $Q_{НВ}$

постоянная времени участка вентиляционной сети; $K_{ДРТ}$ — коэффициент усиления датчика расхода воздуха в тоннеле.

Результаты численного эксперимента по проверке предложенной модели представлены на рис. 3.

Переходные процессы, полученные при моделировании, соответствуют предъявляемым со стороны объекта требованиям к динамике и статике, что позволяет сделать вывод об адекватности предложенной математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Россовский В.Г. Электромеханические устройства метрополитенов. — М.: «Транспорт», 1989. — 351 с.
2. Попов В.П. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. — Ленинград, 1990. — 476 с.
3. Нефелов С.В., Давыдов Ю.С. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. — М.: Стройиздат, 1984. — 328 с.
4. Зедгенизов Д.В., Лугин И.В. Математическое описание регулятора воздухо-распределения в тоннеле метрополитена // Труды конференции с участием иностранных ученых «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды», Т II. — Новосибирск: Ин-т горного дела СО РАН, 2007. — С. 231—237. ■■■

Коротко об авторе

Зедгенизов Д.В. — кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия.
e-mail: dimzed2001@mail.ru