



**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОВЕТРИВАНИЕМ МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

Д. В. Зедгенизов

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: dimzed2001@mail.ru,
Красный проспект, 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Выполнен анализ основных показателей качества автоматического управления проветриванием метрополитенов мелкого заложения. Обоснован выбор ряда показателей качества автоматического управления системами регулирования частоты вращения ротора тоннельного вентилятора и угла открытия створок регулятора воздухораспределения.

Качество управления, воздухораспределение, регулирование, тоннельный вентилятор, метрополитен

**JUSTIFICATION OF THE QUALITY REQUIREMENTS FOR AUTOMATIC CONTROLS
OF VENTILATION SYSTEM OF SUBWAYS**

D. V. Zedgenizov

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: dimzed2001@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The main quality parameters of automatic control and its application to ventilation system control in shallow-depth subways are analyzed. The choice of a number of quality factors for automatic control of subway tunnel ventilation system by variation of rotor speed and opening angle of the valve of air distribution controller is justified.

Quality of automatic control, air distribution, automatic control, tunnel ventilator, underground railway

Создание систем автоматического регулирования вентиляционных параметров метрополитенов, особенно на этапе синтеза алгоритмов управления регуляторами, невозможно без обоснования начальных и граничных условий моделирования, а также определения требуемых характеристик для обеспечения качеством управления всеми координатами технологического процесса. К основным выходным координатам систем управления проветриванием можно отнести расход воздуха через стационарный вентилятор и угол открытия створок регулятора воздухораспределения в циркуляционной вентсбойке (рис. 1).

Согласно теории автоматического управления, качество регулирования на этапе численного моделирования оценивается по виду переходного процесса исследуемого показателя на основе прямых критериев оценки [1]. Среди них обычно выделяют время регулирования $t_{\text{пер}}$, перерегулирование σ и ошибку управления в установившемся режиме ε .

Функционирование метрополитена как сложного техногенного объекта регламентируется нормативными документами, основными из которых являются: СП 32-105-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены [2], СНиП 32-02-2003. Строительные нормы и правила. Метрополитены и СП 2.5.1337-03. Санитарные правила эксплуатации метрополитенов.

Анализ требований, предъявляемых действующими нормативными актами к системам обеспечения воздушно-теплого режима метрополитена, показал, что указанные критерии оценки качества в упомянутых документах не регламентируются. Документами определены требуемые диапазоны изменения параметров микроклимата пассажирских помещений станций — температуры воздуха и скорости его движения для теплого и холодного времени года, объемные расходы воздуха по пассажиропотоку и воздухообмену. Однако требований к точности поддержания температур и скоростей воздуха, времени регулирования и перерегулирования, к номенклатуре параметров, подлежащих контролю и сигнализации в диспетчерских пунктах станций и линий, а также к составу управляющих воздействий на установки тоннельной вентиляции, воздушно-тепловым завесам в нормативных документах не содержится.

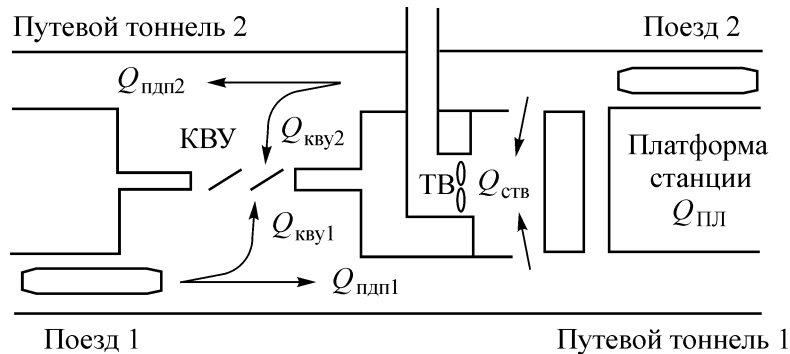


Рис. 1. Схема типового участка метрополитена: $Q_{плп}$ — расход воздуха, вызванный поршневым действием поезда; $Q_{кву}$ — расход воздуха через створки регулятора воздухообмена; $Q_{пл}$ — расход воздуха через платформенный зал станции; $Q_{ств}$ — расход воздуха через тоннельный вентилятор; КВУ (клапан вентиляционный утепленный) — створчатый регулятор воздухообмена; ТВ — тоннельный вентилятор

Цель исследований — обобщить опыт численного моделирования и натурного наблюдения за переходными процессами, возникающими в системах автоматического управления проветриванием метрополитенов мелкого заложения (ММЗ); сформулировать требования к основным показателям качества управления расходом воздуха станционного вентилятора и углом открытия створок регулятора воздухообмена.

Рассмотрим прямые критерии оценки качества переходного процесса применительно к регулированию производительности тоннельных вентиляторов.

Время регулирования $T_{рег в}$. На основе данных эксплуатации тоннельных вентиляторов Новосибирского метрополитена, оборудованных преобразователями частоты, установлено, что время регулирования производительности вентилятора от начала разгона до максимальной скорости не должно быть меньше 30–45 с (в зависимости от мощности электродвигателя вентилятора) [3, 4]. Разгон вентилятора с большим темпом может привести к возникновению в обмотках его электродвигателя токов, превышающих максимальные значения. Таким образом, минимальное время регулирования производительности вентилятора ограничено допустимыми пусковыми токами электродвигателя, конструкцией преобразователя частоты и инерционностью вращающихся масс вентиляторного агрегата.

В соответствии с принципами оптимального управления проветриванием линии ММЗ регулирование производительности станционных вентиляторов предполагается проводить не чаще четырех раз в 1 ч. Так как минимальный интервал между парами поездов составляет 3 мин, то целесообразно ограничить время регулирования на таком уровне, чтобы вентилятор завершал единственный цикл регулирования до прихода очередного поезда, т. е. $t_{рег в max} = 120$ с.

Перерегулирование $\sigma_{в}$. Для тоннельных вентиляторов перерегулирование выходной координаты (производительности) недопустимо ($\sigma_{в} = 0\%$), так как ведет к повышению износа механического и электрического оборудования. Частые ускорения и замедления вращающихся

масс вентиляторного агрегата из-за наличия шпоночных соединений снижают долговечность работы и увеличивают затраты на ремонт. Таким образом, график переходного процесса не должен иметь максимумов, превышающих установившееся значение.

Ошибка управления в установившемся режиме ε_b . Данный критерий характеризует точность поддержания системой управления требуемого значения производительности тоннельного вентилятора в установившемся (статическом) режиме. Доля расхода воздуха на платформе, создаваемого тоннельным вентилятором, не может быть определена достаточно точно из-за большого количества утечек воздуха по примыкающим к станции вентиляционным каналам, переменности аэродинамического сопротивления тоннелей и по ряду других причин. Кроме того, оптимальное по энергопотреблению регулирование производительности вентиляторов подразумевает осреднение по времени, при котором на станцию должно подаваться определенное количество воздуха за 1 ч. В связи с этим целесообразно принять ошибку управления в установившемся режиме $\varepsilon_b \leq 10\%$.

Типовой вид переходных процессов, возникающих в системе регулирования воздухораспределения, приведен на рис. 2.

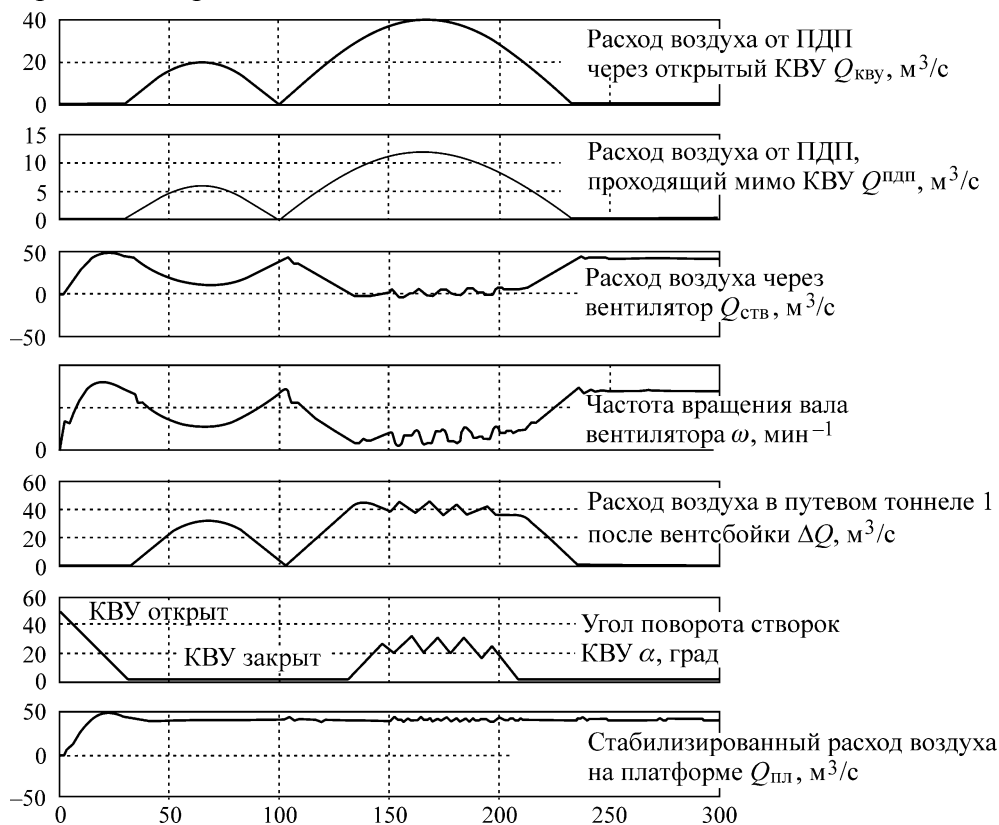


Рис. 2. Переходные процессы стабилизации расхода воздуха на платформе станции ММЗ

Далее рассмотрим прямые критерии оценки качества регулирования расхода воздуха в тоннеле с помощью регулятора воздухораспределения (РВ) створчатого типа.

Время регулирования $T_{рег.р.}$ Управление створками РВ в станционных вентиляционных сбойках должно проводиться в соответствии с числом и взаимным местоположением поездов на линии. Максимальное число поездов на линии Новосибирского метрополитена на текущий момент не превышает 20 пар/ч. Минимальный интервал движения между поездами в одном направлении равен 3 мин. За это время с противоположного направления может прибыть только один поезд, поэтому максимальное время регулирования расхода воздуха одним РВ не должно превышать 1.5 мин. Минимальное время регулирования расхода воздуха ограничивается нагрузками на механизм перемещения створок и определяет мощность (и стоимость) элек-

тропривода РВ. Целесообразно, чтобы оно варьировало от 5 до 90 с. Минимальное время регулирования створок РВ обусловлено необходимостью максимальной экономии электроэнергии тоннельного вентилятора за счет скорейшего перенаправления воздушных потоков от прошедшего или подходящего к платформе поезда.

Перерегулирование σ_p . Исходя из потребности сохранения ресурса механического и электрического оборудования регулятора, как и для тоннельного вентилятора, целесообразно принять $\sigma_p = 0\%$.

Ошибка управления в установившемся режиме ϵ_p . Регулятор воздухораспределения является основным средством энергосберегающего изменения расхода воздуха на платформе. От точности его работы зависит оптимальность перераспределения воздушных потоков в вентиляционной сети, поэтому система автоматического управления регулятором створчатого типа должна быть астатической, т. е. $\epsilon_p = 0\%$.

Один из переходных процессов уменьшения расхода воздуха, поступающего на платформу, показан на рис. 3.

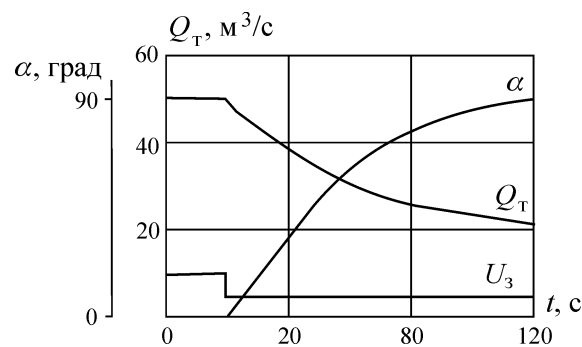


Рис. 3. Переходный процесс уменьшения расхода воздуха, поступающего на платформу: α — угол открытия створок регулятора; Q_T — расход воздуха, поступающий из тоннеля; U_3 — сигнал задания расхода воздуха, приходящего из тоннеля на станцию

Числовые оценки прямых критериев качества переходных процессов управления проветриванием в метрополитене мелкого заложения представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Числовые характеристики показателей качества управления

Управляемая величина	Время регулирования $t_{\text{рег}}$ (с) при интенсивности движения поездов 20 пар/ч	Перерегулирование σ , %	Статическая ошибка ϵ , %
Расход воздуха через стационарный вентилятор	30 – 120	0	10
Угол открытия створок РВ	5 – 90	0	0

В течение суток интенсивность движения поездов меняется в соответствии с пассажиропотоком. В связи с этим меняется и максимально допустимое время работы регулятора вентиляционного режима (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Время регулирования в зависимости от интенсивности движения

Интенсивность движения, пар/ч	7	12	15	20
Время между попутными поездами, с	514	300	240	180
Максимальное время регулирования ТВ, с	300	240	180	120
Минимальное время регулирования РВ, с	30			
Максимальное время регулирования ТВ, с	257	150	120	90
Минимальное время регулирования РВ, с	5			

Приведенные значения показателей качества управления получены для типовой промежуточной станции метрополитена. Обоснование указанных параметров для тупиковых станций и станций, имеющих выход в атмосферу, требует дополнительных исследований.

ВЫВОДЫ

Числовые характеристики прямых критериев оценки качества переходных процессов управления проветриванием в метрополитене мелкого заложения показали, что время регулирования производительности вентилятора от начала разгона до максимальной скорости не должно быть меньше 30–45 с, а статическая ошибка управления не должна превышать 10 % от установившейся величины. Необходимо, чтобы процесс управления производительностью вентилятора проходил без перерегулирования. Система управления регуляторами воздухораспределения должна быть астатической, время регулирования ограничено диапазоном 5–90 с, перерегулирование недопустимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Besekerskiy V. A. and Popov E. P.** Theory of automatic control systems, Moscow, Nauka, 1975, 285 pp. (in Russian) [**Бесекерский В. А., Попов Е. П.** Теория систем автоматического регулирования. — М.: Наука, 1975. — 285 с.]
2. **SP 32-105-2004.** Code of rules for design and construction. Undergrounds, Moscow, FGUP CPP, 2004, 18 pp. (in Russian) [**СП 32-105-2004.** Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены. — М.: ФГУП ЦПП, 2004. — 18 с.]
3. **Zedgenizov D. V.** The results of an experimental study of underground tunnel's rotor speed control, Fundamental and Applied Mining Science, 2017, issue. 4, no. 1, pp. 11–14 (in Russian) [**Зедгенизов Д. В.** Результаты экспериментального исследования процесса регулирования частоты вращения ротора тоннельного вентилятора метрополитена // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* — 2017. — Т. 4. — № 1. — С. 11–14.]
4. **Krasuk A. M. and Lugin I. V.** Ventilation of undergrounds, Novosibirsk, Nauka, 2019, 316 pp. (in Russian) [**Красюк А. М., Лугин И. В.** Вентиляция метрополитенов. — Новосибирск: Наука, 2019. — 316 с.]