

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Дмитрий Владilenович Зедгенизов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики, тел. (383)205-30-30, доп. 339, e-mail: dimzed2001@mail.ru

Проведён анализ основных показателей качества автоматического управления с позиций их применимости в управлении проветриванием метрополитенов мелкого заложения. Обоснован выбор перечня показателей качества автоматического управления системами регулирования частоты вращения ротора тоннельного вентилятора и системы регулирования угла открытия створок регулятора воздухораспределения.

Ключевые слова: показатели качества, управление воздухораспределением, автоматическое регулирование, тоннельный вентилятор, метрополитен.

CHOICE OF QUALITY FACTORS OF AUTOMATIC CONTROL OF UNDERGROUND VENTILATION

Dmitry V. Zedgenizov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Associate Professor, Senior Researcher, Mine Aerodynamics Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 339, e-mail: dimzed2001@mail.ru

The analysis of main quality factors of automatic control under the position of its application in control of ventilation at underground of small depth is carried out. The choice of quality factors list of automatic control of regulating system of tunnel ventilator rotor speed and regulating system of throttle angle of air distribution controller is justified.

Key words: quality factors, control of air distribution, automatic control, tunnel ventilator, underground.

Во время разработки систем автоматического управления проветриванием метрополитенов (АСУПМ), особенно на этапе синтеза алгоритмов управления регуляторами вентиляционного режима, значительное внимание должно уделяться постановке задачи синтеза, обоснованию начальных и граничных условий, а также определению требуемых характеристик качества процесса управления всеми требуемыми величинами технологического процесса.

К основным выходным координатам АСУПМ можно отнести расход воздуха через стационарный вентилятор и угол открытия створок регулятора воздухораспределения в циркуляционной вентсбойке.

В соответствии с теорией автоматического управления оценка качества процесса регулирования на этапе численного моделирования может производиться по виду переходного процесса исследуемой величины на основе прямых критериев оценки [1]. Среди последних можно выделить время регулирования

$t_{\text{РЕГ}}$, перерегулирование σ и ошибку управления в установившемся режиме ε . Проведем обоснование данных критериев, опираясь на требования нормативных документов.

Функционирование метрополитена как сложного техногенного объекта регламентируется соответствующими 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;

- СП 2.5.1337-03. Санитарные правила эксплуатации метрополитенов.

Анализ требований, предъявляемых действующими нормативными актами к системам обеспечения воздушно-теплового 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 периодов года. Регламентированы также требуемые по пассажиропотоку и воздухообмену объёмные расходы воздуха, которые должны обеспечиваться средствами тоннельной вентиляции. Однако, требования к точности поддержания температур и скоростей воздуха, времени регулирования и перерегулированию со стороны нормативных документов не предъявляются. Требования к номенклатуре параметров, подлежащих контролю и сигнализации в диспетчерских пунктах станций и линий, в нормативных документах не содержится. Так же не регламентируется состав управляющих воздействий на установки тоннельной вентиляции, воздушно-тепловые завесы и т.п.

Поэтому задача формирования требований к качеству автоматического управления тоннельными вентиляторами и регуляторами воздухораспределения является актуальной, особенно при переходе к оптимальному проветриванию всего метрополитена.

Цель работы: обобщить многолетний опыт численного моделирования переходных процессов, возникающих в системах автоматического управления проветриванием в метрополитенах мелкого заложения (ММЗ); формализовать требования к основным показателям качества управления расходом воздуха стационарного вентилятора и углом открытия створок регулятора воздухораспределения.

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

Время регулирования $t_{\text{РЕГ В}}$.

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) [3-5]. Разгон вентилятора с большим

темпом может привести к возникновению в обмотках электродвигателя вентилятора токов, превышающих максимально допустимые значения. Величина времени регулирования ограничена мощностью электродвигателя вентилятора, конструкцией и типоразмером преобразователя частоты, а также моментом инерции вращающихся масс вентиляторного агрегата.

В соответствии с принципами оптимального управления проветриванием линии ММЗ [5] регулирование производительности стационарных вентиляторов предполагается проводить не чаще четырёх раз в час. Так как минимальный интервал времени между парами поездов составляет три минуты, то целесообразно ограничить время регулирования на таком уровне, чтобы вентилятор завершал единичный цикл регулирования до прихода очередного поезда, т.е. $t_{\text{РЕГ В MAX}} = 120$ с.

Перерегулирование $\sigma_{\text{В}}$.

Для тоннельных вентиляторов перерегулирование выходной координаты (т.е. производительности) недопустимо ($\sigma_{\text{В}} = 0\%$), так как ведет к повышенному износу 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 оборудования. Таким образом, график переходного процесса не должен иметь максимумов, превышающих установившееся значение и в идеале должен стремиться к виду равномерно возрастающей функции.

Ошибка управления в установившемся режиме $\varepsilon_{\text{В}}$.

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 в силу большого количества утечек воздуха по примыкающим к станции вентиляционным каналам, переменности аэродинамического сопротивления тоннелей и по ряду других причин. Кроме того, оптимальное в смысле энергопотребления регулирование производительности вентиляторов подразумевает осреднение по времени, при котором на станцию должно быть подано определенное количество воздуха за час. В связи с этим целесообразно принять ошибку управления в установившемся режиме $\varepsilon_{\text{В}} \leq 10\%$. Применение астатических алгоритмов управления приведет к неоправданному удорожанию системы, а большая ошибка управления нежелательна, так как кроме воздуха от вентилятора в общей картине распределении воздуха по платформе станции существенную роль играют потоки, приходящие из примыкающих тоннелей.

Далее рассмотрим прямые критерии оценки качества регулирования расхода воздуха в тоннеле с помощью регулятора воздухораспределения створчатого типа [6].

Время регулирования $t_{\text{РЕГ Р}}$.

Управление створками РВ в стационарных вентсбойках должно производиться в соответствии с числом и взаимным местоположением поездов на ли-

нии. Максимальное число поездов на линии Новосибирского метрополитена на текущий момент не превышает 20 пар в час. Минимальный интервал движения между поездами в одном направлении равен три минуты. За это время с противоположного направления может прибыть только один поезд, поэтому максимальное время регулирования расхода воздуха одним РВ не должно превышать полторы минуты. Минимальное время регулирования ограничивается нагрузками на механизм перемещения створок и определяет мощность (и стоимость) электропривода РВ. Целесообразно ограничить время регулирования расхода воздуха в диапазоне от 5 до 90 с.

Перерегулирование σ_p .

Исходя из необходимости 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 регулирования 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. $\varepsilon_p = 0\%$.

Таким образом, числовые характеристики прямых критериев оценки качества переходных процессов управления проветриванием в метрополитене мелкого заложения можно свести в следующую таблицу.

Числовые характеристики показателей качества управления

Управляемая величина	Время регулирования $t_{\text{РЕГ}}$, с	Перерегулирование σ , %	Статическая ошибка ε , %
Расход воздуха через стационарный вентилятор	30–120	0	10
Угол открытия створок регулятора воздухораспределения	5–90	0	0

Выводы:

1. Определены числовые характеристики прямых критериев оценки качества переходных процессов управления проветриванием в метрополитене мелкого заложения.

2. Установлено, что время регулирования производительности вентилятора от начала разгона до максимальной скорости не должно быть меньше 30-45 с. Статическая ошибка управления производительностью вентилятора не должна превышать 10 % от установившейся величины. Процесс управления производительностью вентилятора должен проходить без перерегулирования.

3. Для системы управления регуляторами воздухораспределения целесообразно ограничить время регулирования расхода воздуха в диапазоне 5-90 с.

Система управления регуляторами должна быть астатической, перерегулирование недопустимо.

Работа выполнена в рамках научного проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117091320027-5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – М. : Наука, 1975.
2. СП 32-105-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 18 с.
3. Зедгенизов Д. В. К вопросу учёта поршневого действия поездов при автоматическом регулировании частоты вращения ротора тоннельного вентилятора метрополитена // Интер-экспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 205–209.
4. Зедгенизов Д. В. Результаты экспериментального исследования процесса регулирования частоты вращения ротора тоннельного вентилятора метрополитена // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – № 1, Т. 4. – С. 11–14.
5. Зедгенизов Д. В., Попов Н. А. О повышении эффективности управления тоннельными вентиляторами метрополитена мелкого заложения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Изд. ИГД СО РАН. – Новосибирск. – 2018. – № 4. – С. 123–133.
6. Зедгенизов Д.В. Система регулирования воздухораспределения на станции метрополитена мелкого заложения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016. – № 3, Т. 2. – С. 64–68.

© Д. В. Зедгенизов, 2019