

К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОННЕЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Дмитрий Владilenович Зедгенизов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Красный проспект, 54, г. Новосибирск, Россия, к.т.н., доцент, с.н.с. лаборатории рудничной аэродинамики, тел. (383) 205-30-30, доб. 339, e-mail: dimzed2001@mail.ru

Проведен анализ существующих методов расчета коэффициентов пропорционально-интегрального регулятора системы автоматического управления производительностью осевого вентилятора метрополитена мелкого заложения. Представлена методика расчета коэффициентов регулятора в среде Matlab (Simulink).

Ключевые слова: Тоннельный вентилятор, регулятор, производительность, расчет коэффициентов

TO CALCULATION OF THE COEFFICIENTS OF AUTOMATIC REGULATOR OF TUNNEL FAN CAPACITY

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

Analysis of the existing methods for calculating the coefficients of the proportional-integral regulator of the automatic control system for the capacity of the axial fan of the shallow subway was carried out. The technique of calculating the controller coefficients in the Matlab (Simulink) environment is presented.

Keywords: Tunnel fan, regulator, performance, calculation of coefficients

В настоящее время при модернизации вентиляторных агрегатов метрополитенов, либо при строительстве новых станций у служб эксплуатации вентиляторов появляется возможность оперативного регулирования частоты вращения рабочего колеса вентилятора [1]. В большинстве таких случаев скорость вращения вала вентилятора регулируется преобразователем частоты (ПЧ) тока статора приводного электродвигателя вентилятора [2]. При настройке ПЧ службами эксплуатации возникает проблема задания числовых значений коэффициентов пропорциональной и интегральной части пропорционально-интегрального регулятора (ПИР) частоты вращения ротора вентилятора, встроенного в ПЧ. Ввод некорректных значений указанных коэффициентов и последующее регулирование производительности тоннельного вентилятора может привести к поломке оборудования и опасности нарушения требований документов, нормирующих микроклиматические параметры воздуха в подземных сооружениях [3-5]. Поэтому создание инженерной методики настройки ПИР системы автоматического

управления производительностью (САУП) тоннельного вентилятора (ТВ) является актуальной задачей.

В теории автоматического управления разработан ряд методов расчета коэффициентов настройки для систем автоматического регулирования [6]. Однако использование этих методов на практике имеет ряд недостатков.

Так, например, известен графо-аналитический (тангенциальный) метод нахождения коэффициентов пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора. Однако данный метод чувствителен к выбору точки, относительно которой проводится касательная к кривой переходного процесса исследуемой координаты. Метод требует определенной квалификации и опыта инженерно-технического персонала на производстве.

Также существует аналитический метод расчета (метод Шубладзе А.М.). Однако, помимо громоздких расчетов, в литературе не приведены формулы для получения промежуточных величин при равенстве показателя степени знаменателя передаточной функции объекта единице (как в случае с САУ ТВ), что затрудняет практические вычисления по данной методике.

Вместе с тем в настоящее время существует признанный специалистами пакет программ Simulink, который позволяет рассчитать коэффициенты ПИР регулятора быстрее и точнее. Моделирование переходных процессов осуществляется путем численного интегрирования методом Дормана-Принса 4-5 порядка с автоматическим изменением шага интегрирования (ODE 45 Dormand-Prince variable-step). Описанные далее шаги по расчету коэффициентов основаны на применении именно этой программы. Для получения числовых значений коэффициентов пропорциональной и интегральной части ПИР, согласно этой методике, необходимо выполнить следующее:

Шаг 1: Сбор исходных данных с объекта управления.

На этом этапе снимаются переходные процессы исследуемой координаты (например, производительности вентилятора при его запуске) [7]. Уточняются технические характеристики электродвигателя (номинальная частота вращения, момент инерции ротора) и самого вентилятора (момент инерции вала вентилятора).

Шаг 2: Составление структурной схемы САУП ТВ с электроприводом от преобразователя частоты тока статора электродвигателя (рис. 1).

Шаг 3: Расчет параметров структурной схемы.

Здесь необходимо рассчитать все коэффициенты передачи, постоянные времени, начальные условия, параметры линеаризации, диапазоны изменения входного и выходного воздействий. Влияние возмущений, вносимых движущимися поездами метро на воздушный поток, создаваемый вентилятором при его регулировании также необходимо оценить [8-10].

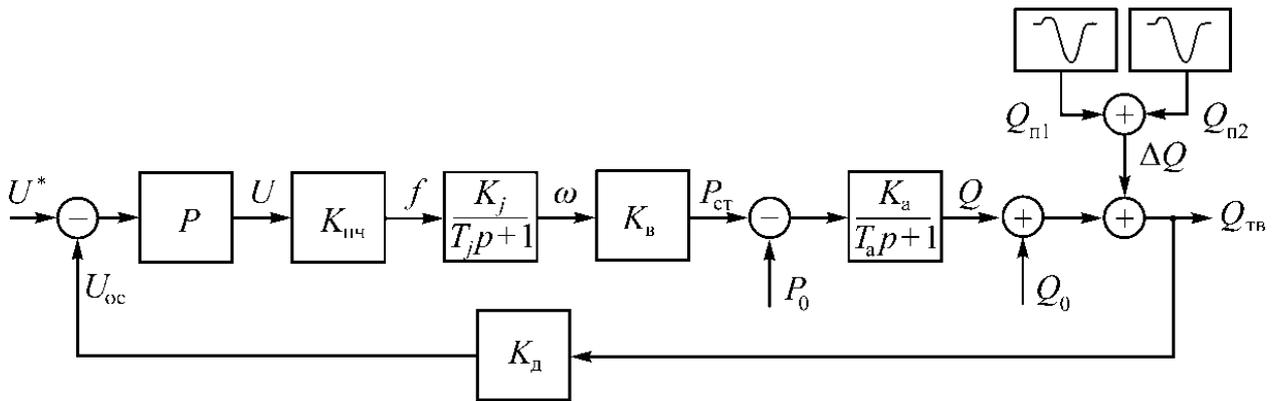


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического управления производительностью тоннельного вентилятора от преобразователя частоты:

$K_{пч}$ — коэффициент преобразователя частоты, Гц/В; K_j — коэффициент усиления двигателя, рад/(с·Гц); T_j — постоянная времени двигателя, с; K_b — коэффициент усиления вентилятора, Па·с/рад; K_a — коэффициент усиления участка вентиляционной сети, м³/Па·с; T_a — постоянная времени участка вентиляционной сети, с; K_d — коэффициент усиления датчика объемного расхода воздуха, В·с/м³; U^* — входное задающее воздействие, В; U — напряжение управления преобразователем частоты, В; U_{oc} — напряжение на выходе датчика производительности вентилятора, В; f — частота тока двигателя вентилятора, Гц; ω — частота вращения ротора вентилятора, рад/с; $P_{ст}$ — статическое давление, развиваемое вентилятором, Па; Q — производительность вентилятора, м³/с; ΔQ — объемный расход воздуха от поршневого действия поездов, м³/с; $Q_{тв}$ — расход воздуха, проходящий через тоннельный вентилятор, м³/с; $Q_{п1}$, $Q_{п2}$ — расход воздуха от поршневого действия поезда 1 и поезда 2, м³/с; P_0 — начальные условия по давлению, Па; Q_0 — начальные условия по производительности, м³/с; P — регулятор производительности вентилятора

Шаг 4: Определение требований к качеству переходного процесса регулирования производительности ТВ с учетом поршневого эффекта и выбранного режима управления вентилятором.

На этом этапе определяется требуемое время переходного процесса и величина перерегулирования [11-21]. При определении желаемого времени переходного процесса важно учесть, что при увеличении интенсивности движения поездов по линии процесс регулирования производительности вентилятора на текущем такте должен заканчиваться как можно раньше момента прохождения следующего поезда. Причем для повышения экономичности управления регулирование частоты вращения ротора должно заканчиваться не позднее 1/3 от интервала времени до следующего поезда метро.

Шаг 5: Составление структурной схемы САУП ТВ в программе Matlab (Simulink).

Здесь происходит ввод числовых значений параметров блоков, настройка входного блока «Step» и блока вывода переходных процессов «Scope». В качестве блока регулятора САУП используем блок «PID Controller» из стандартной библиотеки Simulink (рис. 2).

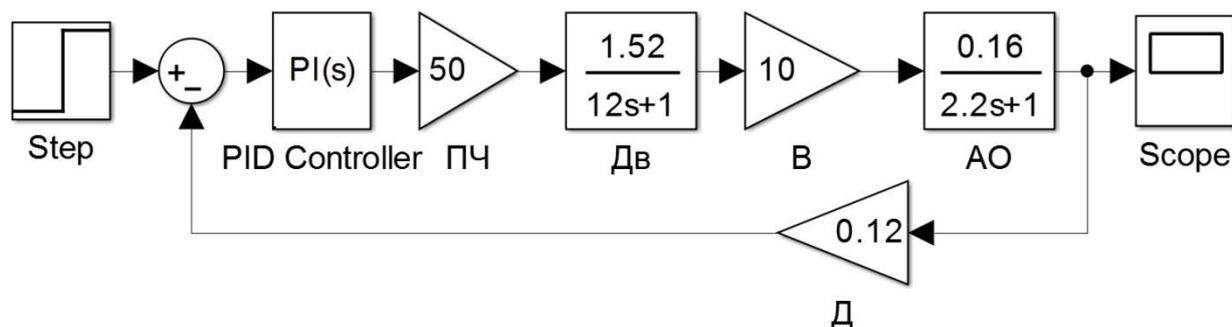


Рис. 2. Структурная схема САУП ТВ в программе Matlab:

Step — блок ввода параметров входного воздействия; PID Controller — блок настройки параметров регулятора; ПЧ — блок преобразователя частоты; Дв — блок моделирования двигателя вентилятора; В — блок параметров вентилятора; АО — блок расчета параметров вентиляционной сети (аэродинамический объект); Scope — блок вывода переходных процессов системы; Д — блок датчика обратной связи по расходу воздуха

Шаг 6: Настраиваем желаемый вид переходного процесса регулирования производительности.

Здесь в блоке «PID Tuner» устанавливаем требуемые параметры переходного процесса выходной координаты системы (перерегулирование и время переходного процесса) (рис. 3).

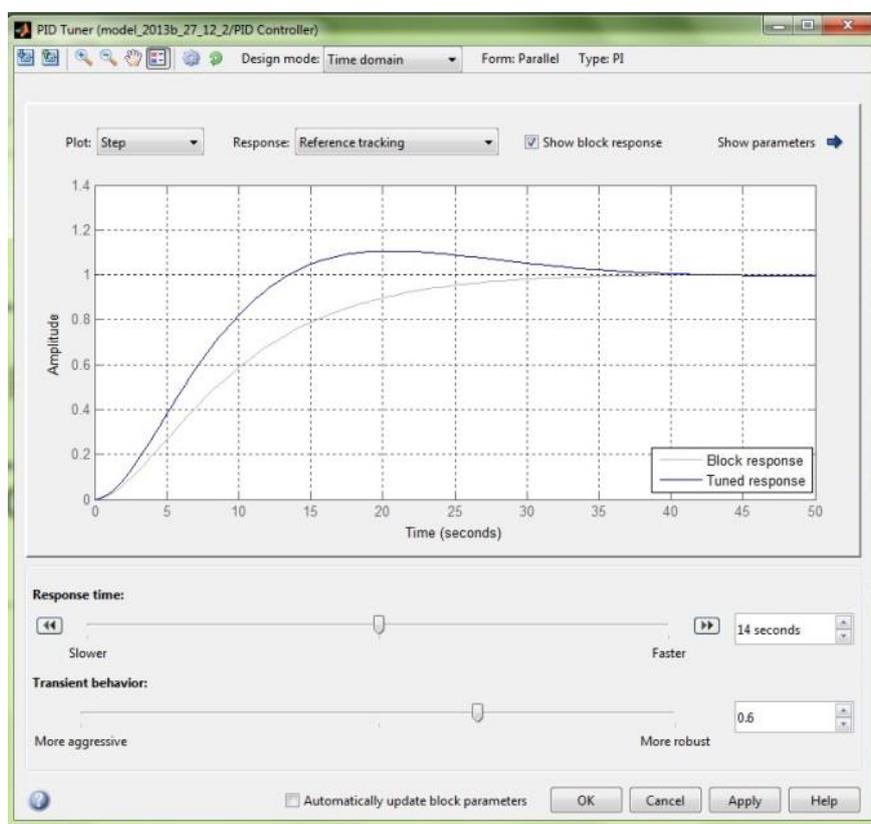


Рис. 3. Диалоговое окно настройки желаемого вида переходного процесса

Шаг 7: Запускаем расчет системы и контролируем вид переходного процесса по блоку «Score».

После проверки выполнения требований к переходному процессу считываем числовые значения коэффициентов пропорциональной и интегральной частей ПИР САУП ТВ.

Вывод

Разработана методика определения коэффициентов настройки преобразователя частоты тока электродвигателя тоннельного вентилятора, которая впервые учитывает время регулирования расхода воздуха для каждой интенсивности движения поездов. При этом время регулирования определяется по условию завершения текущего переходного процесса до начала следующего и не должно превышать 1/3 от фактического (текущего) интервала движения поездов.

Работа выполнена в рамках научной темы FWNZ-2021-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красюк А.М. Вентиляция метрополитенов /А.М. Красюк, И.В. Лугин. – Новосибирск: СО РАН: Наука, 2019. – 316 с.
2. Красюк А.М. Тоннельная вентиляция метрополитенов – Новосибирск: Наука, 2006. – 164 с.
3. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003: утв. Приказом Минрегион РФ 30.06.2012: дата введ. 01.01.2013. – М., 2013. – 260 с.
4. Цодиков В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 568 с.
5. Громов В.Н. Особенности обеспечения микроклимата метрополитенов. В сборнике: Транспортное планирование и моделирование. Сборник трудов II Международной научно-практической конференции. 2017. С. 96-103.
6. Нетушил А.В., Балтрушевич А.В., Бурляев В.В. Теория автоматического управления: Нелинейные системы управления при случайных воздействиях: Учебник для вузов; М.: Высш. школа, 1983. – 432 с.
7. 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.
8. Красюк А.М., Лугин И.В. Исследование динамики воздушных потоков от возмущающего действия поездов в метрополитене // ФТПРПИ. – 2007. – № 6. – С. 101-108.
9. Красюк А.М., Лугин И.В., Павлов С.А. Об эффекте возникновения циркуляционных колец и их влиянии на воздухораспределение в метрополитене мелкого заложения // ФТПРПИ. – 2010. – № 4. – С. 75-82.
10. Красюк А.М., Косых П.В., Русский Е.Ю. Влияние возмущений воздушного потока от поршневого действия поездов на тоннельные вентиляторы метрополитенов // ФТПРПИ. – 2014. – № 2. – С. 144-153.
11. Андреев А.И. Энергоэффективный автоматизированный электропривод для вентиляции метрополитена // Научный потенциал студентов и молодых ученых Новосибирской области. Сборник научных трудов. Новосибирск, 2014. С. 37-39.
12. Yurkevich V.D. PI/PID Control for nonlinear systems via singular perturbation technique, *Advances in PID Control, Publisher In Tech.*, 2011. – P. 113 – 142.

13. Лангеман Э.Г., Калугин М.В. Автоматизация вентиляционной системы метрополитена // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. 2013. № 2. С. 310-314.
14. Шишова М.А., Петрунькина П.В. Управление вентиляционной системой метрополитена с помощью нечеткой логики // Научный потенциал студентов и молодых ученых Новосибирской области. Сборник научных трудов. Новосибирск, 2016. С. 165-167.
15. Зедгенизов Д.В. Обоснование требований к качеству автоматического управления проветриванием метрополитенов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – №2. Т.6. – С. 108 – 112.
16. Ледовских А.В. Разработка алгоритмов управления станционными и перегонными вентиляторами в лабораторном стенде, выполненном в форме станции метрополитена // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых. 2014. С. 90-93.
17. Гиривой Д.В., Русский Е.Ю. Синтез алгоритмов автоматического управления проветриванием станции метрополитена // Наука Промышленность Оборона. Труды XVIII Всероссийской научно-технической конференции: в 4-х томах. Под ред. С.Д. Саленко. 2017. С. 141-145.
18. 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.
19. Петрунькина П.Д., Шишова М.А., Огнева Т.Д. АСУ ТП вентиляции Новосибирского метрополитена // Наука. Технологии. Инновации. Сборник научных трудов в 9 частях. Под редакцией Е.Г. Гуровой. 2015. С. 157-159.
20. Косов Н.В., Захаркина С.В. Система автоматического управления вентиляционными агрегатами метрополитена // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020). Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, посвященной Юбилейному году в ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина". 2020. С. 90-92.
21. Тетиор Л.Н., Дауров И.М. Системы автоматического управления вентиляционными агрегатами метрополитенов Метро и тоннели. 2017. № 5-6. С. 32-33.

© Д. В. Зедгенизов, 2021