

EDN: **BDYWXR**

УДК 697

В. Н. АНДРИЙЧУК, В. И. СОКОЛОВ, Н. Д. АНДРИЙЧУК

Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ MPC-ПОДХОДА

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос апробации MPC-подхода для управления системами отопления, вентиляции и кондиционирования, а также обоснована возможность совершенствования процесса регулирования его применением на примере вентиляционной системы. Изложен принцип управления с использованием прогнозирующей модели, отмечены особенности управления с использованием MPC-регулятора, рассмотрена структура регулятора и критерий выбора оптимальных значений управляющего сигнала. Показана реализация MPC-подхода на примере приточной вентиляционной системы VAV учебной аудитории. Для моделирования вентиляционной системы в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, для синтеза MPC-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox. Проведено исследование переходных процессов в вентиляционной системе VAV, сопоставлены переходные процессы в системе без регулятора с ПИД-регулятором и MPC-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование MPC-регулятора позволяет совершенствовать процесс регулирования теплового режима в помещении за счет повышения качества регулирования.

Ключевые слова: микроклимат, MPC-регулятор, вентиляционная система VAV, температура, переходной процесс

ВВЕДЕНИЕ

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК), также HVAC (акроним от английского. Heating, Ventilation and Air Conditioning), являются одной из наиболее важных составляющих проектирования и разработки промышленных и административных зданий и жилых помещений [1–3]. Системы ОВК с помощью подачи наружного воздуха поддерживают в них безопасные и комфортные условия по температуре, влажности, скорости движения воздуха и чистоте воздушной среды.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ

Основными задачами управления системами ОВК (или HVAC) являются [3–5]:

- создание и поддержание микроклимата в пределах здания, сооружения или помещения, комфортного для человека или животных и растений, а также материальных предметов (оборудования, вещей, изделий, произведений искусства и т. п.);
- энергосбережение или экономия энергии, затрачиваемой на создание и поддержание микроклимата;
- технологическая безопасность системы и снижение затрат на ее эксплуатацию.

Затраты на системы ОВК составляют значительную часть затрат на эксплуатацию здания и во многом определяются правильным построением автоматизированных систем управления микроклиматом. При анализе совокупных затрат в ряде случаев получается, что покупная стоимость составляет иногда очень небольшую часть, часто около 10 %. Остальные 90 % идут на эксплуатационные затраты.

Для эффективного управления системами ОВК необходимо вести оперативный контроль параметров микроклимата и состояния параметров исполнительных механизмов, а также формировать

© В. Н. Андрийчук, В. И. Соколов, Н. Д. Андрийчук, 2022



разные режимы работы оборудования [3, 5, 6]. Так, в системах вентиляции следует выбирать режим работы в соответствии с внешними и внутренними факторами (температура и влажность воздуха, загруженность помещений, концентрация вредных веществ). Чаще всего такое задание возникает в переходной период, когда диапазон изменения температуры варьируется в больших границах. Автоматизация и диспетчеризация требуют достижения определенных условий: комфортность, энергосбережение, технологическая безопасность, снижение затрат на эксплуатацию.

В этой связи актуальной задачей является совершенствование процессов регулирования систем ОВК.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В настоящее время появились новые тенденции в построении систем автоматического управления [7, 8], которые дают возможности совершенствования процессов управления инженерным оборудованием зданий и помещений. И здесь следует отметить активно обсуждаемый подход для управления различными технологическими процессами, использующий прогнозирующие модели – Model Predictive Control (MPC) [9, 10].

Идея MPC-подхода к адаптивному управлению с обратной связью состоит в том, чтобы найти последовательность оптимальных управляющих воздействий, которая обеспечит наилучшее прогнозируемое состояние объекта управления на ограниченном горизонте прогнозирования [9, 11]. Задача синтеза адаптивного управления нелинейными объектами на основе данного подхода состоит из трех основных шагов. Сначала дифференциальные уравнения нелинейного объекта представляются приближенными линеаризованными системами на каждом интервале управления. Далее с использованием линеаризованных моделей строятся прогнозирующие модели по выходным сигналам объекта управления на определенное количество шагов вперед. И на последнем этапе на основе прогнозирующих моделей минимизируется функционал качества по алгоритму квадратичного программирования для определения оптимального управляющего воздействия на систему.

MPC-подход хорошо зарекомендовал себя в различных областях управления нелинейными объектами, в том числе при решении задач управления тепловым режимом зданий [12]. К основным преимуществам MPC-подхода необходимо отнести то, что оптимальный регулятор, синтез которого проведен согласно данному подходу, обеспечивает отсутствие статической ошибки в системе, выполнение требуемых ограничений на управляющие и выходные переменные, а также достижение компромисса между работоспособностью и качеством регулирования [9, 10]. Вместе с тем, как и большинство других оптимальных систем, он требует наличия модели объекта управления. Поскольку MPC-подход реализует закон управления с обратной связью по состоянию, а управление рассматривается и выполняется на очень коротком временном промежутке, то важным его достоинством является то, что для синтеза системы управления можно использовать приближенные линейные модели.

В этой связи несомненный интерес вызывает апробация MPC-подхода для управления системами ОВК, его реализация на конкретном примере и сопоставление качества регулирования с традиционными подходами, в частности, с использованием ПИД-регуляторов.

Целью работы является апробация MPC-подхода для управления системами ОВК и обоснование возможности совершенствования процесса регулирования его применением на примере вентиляционной системы.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для наглядности реализации MPC-подхода рассмотрим систему ОВК как одномерную систему, т. е. рассматриваем ее как объект управления (ОУ) с одной выходной величиной y . Также считаем, что система автоматического управления (САУ) воспринимает одно задающее воздействие g и одно возмущающее воздействие f . Тогда САУ с MPC-регулятором можно представить структурной схемой, показанной на рис. 1.

На рис. 1 обозначены: g – задающее воздействие (уставка); f – возмущающее воздействие (возмущение); u – управляющее воздействие (сигнал управления); W_u – передаточная функция ОУ по сигналу управления; W_f – передаточная функция ОУ по возмущению; y – выходная (регулируемая) величина (переменная); ε – ошибка управления, $\varepsilon = g - y$.

На рис. 2 показана структурная схема MPC-регулятора. В состав регулятора входит прогнозирующая модель ОУ и оптимизатор.

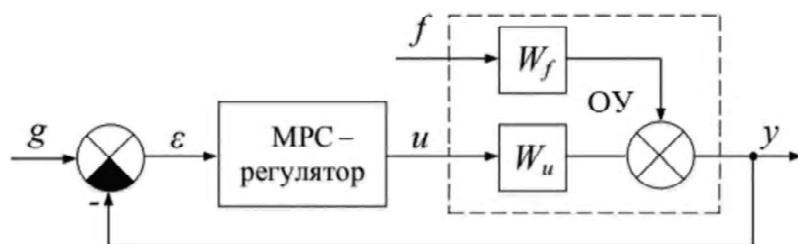


Рисунок 1 – Структурная схема САУ с MPC-регулятором.

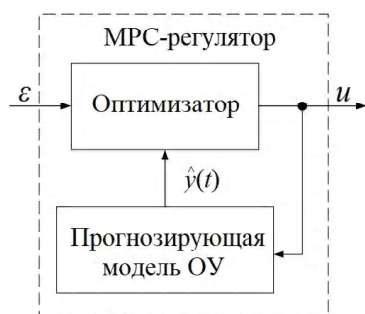


Рисунок 2 – Структурная схема MPC-регулятора.

Основная идея управления с прогнозирующей моделью заключается в следующем. Пусть имеются вход объекта по управлению $u(t)$ и выходная регулируемая переменная $y(t)$. Задающее воздействие $g(t)$ является желаемой величиной (зависимостью) изменения регулируемой переменной. Систему рассматриваем в дискретные моменты времени, т. е. только в моменты времени $t = k\Delta T$, где ΔT – период квантования, а k – целое число.

Главной особенностью управления с помощью MPC-регулятора является наличие математической модели ОУ, которая достаточно точно описывает его поведение. Наличие адекватной математической модели ОУ позволяет прогнозировать значения регулируемой переменной на определенное число шагов вперед (рис. 3).

На рис. 3 значения регулируемой величины $y(t)$, предсказанные в момент времени t , обозначены через $\hat{y}(t)$. Горизонт предсказания стро-

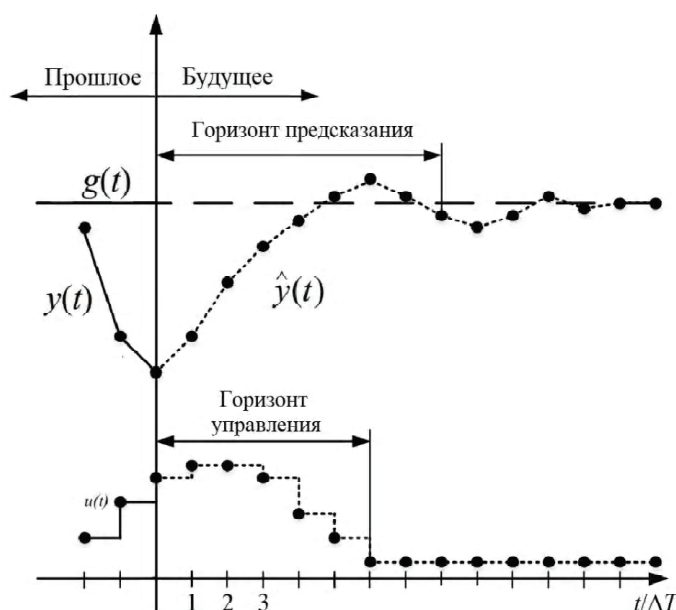


Рисунок 3 – Принцип управления на основе MPC-подхода.

ится на определенное число шагов n_p . Прогнозируемая траектория регулируемой переменной будет зависеть от будущих значений управляющего воздействия $u(t)$. Суть MPC-подхода состоит в определении последовательности значений управляющего сигнала $u(t)$, которая позволит обеспечить наилучшую прогнозируемую траекторию для регулируемой переменной $y(t)$. Длина последовательности n_c рассчитываемых управляющих воздействий $u(t)$ является фиксированной величиной и называется горизонтом управления. Необходимая последовательность значений управляющего воздействия устанавливается решением задачи оптимизации. Выбор наилучшей траектории регулируемой переменной определяется показателем качества регулирования, которым принимают квадрат рассогласования между прогнозируемой выходной переменной $y(t)$ и задающим воздействием (желаемой

траекторией) $g(t)$. Также оценивается изменение величины управляющего сигнала. Таким образом, для выбора оптимальных значений сигнала управления $u(t)$ MPC-регулятор стремится минимизировать следующий функционал

$$J = Q \sum_{i=k}^{k+n_p} (y(i) - g(i))^2 + R \sum_{i=k}^{k+n_c} (u(i) - u(k))^2, \quad (1)$$

где Q и R – весовые коэффициенты (для безразмерных переменных обычно принимают одинаковыми);
 $k = 1, 2, 3 \dots$ – целое число, соответствующее текущему моменту времени;
 n_p – число шагов, на которые строится прогноз поведения регулируемой переменной $y(t)$ (горизонт предсказания);
 n_c – длина последовательности будущих значений управляющего сигнала $u(t)$ (горизонт управления).

После подачи на ОУ вычисленного оптимального управляющего воздействия $u(t)$ на следующем шаге вся процедура повторяется заново с учетом вновь поступившей информации.

Для реализации MPC-подхода в пакете прикладных программ MATLAB имеется набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox для проектирования и моделирования MPC-регуляторов [11].

Покажем реализацию MPC-подхода для управления системами ОВК на примере приточной вентиляционной системы VAV (от английского названия «Variable Air Volume» – переменный объем воздуха) [13–14] учебной аудитории (рис. 4) в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим $T(t)$ в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха.

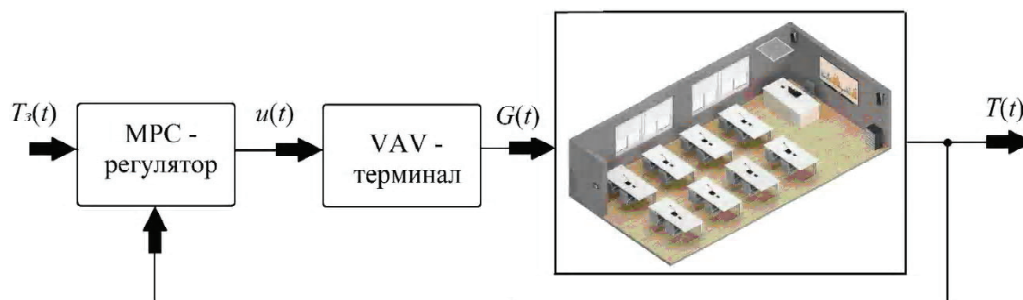


Рисунок 4 – Схема вентиляционной системы VAV.

В рассматриваемой вентиляционной системе VAV изменение тепловой нагрузки помещения компенсируется изменением количества приточного воздуха $G(t)$, поступающего от центральной приточной вентиляционной установки при его постоянной температуре. Вентиляционная система VAV работает при общем значении расхода воздуха меньшем, чем необходимо при суммарной максимальной тепловой нагрузке. Это обеспечивает снижение потребляемой энергии при сохранении заданного качества воздуха внутри помещения. Вентиляционная система VAV может быть полностью интегрирована с комплексной системой управления зданием BAS (Building Automation System), что обеспечивает пользователю здания возможность мониторинга и управления параметрами работы всей системы ОВК.

Основным элементом вентиляционной системы VAV является терминал VAV (регулятор или клапан VAV) [13–14], схема которого представлена на рис. 5. Основной задачей терминала VAV является поддержание расхода воздуха в зависимости от необходимой потребности, величина которого определяется управляющим сигналом $u(t)$. Поддержание необходимого значения расхода обеспечивается положением дроссельной заслонки 1. Заданному значению расхода соответствует перепад давлений на дифференциальном манометре, установленном в воздуховоде 2. При отклонении перепада давлений от заданного значения электропривод изменяет положение дроссельной заслонки, тем самым поддерживая требуемое значение расхода.

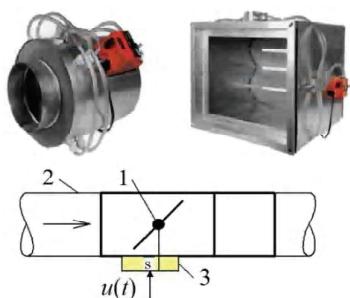


Рисунок 5 – Терминалы VAV для воздушных каналов круглого и прямоугольного сечения: 1 – дроссельная заслонка; 2 – воздуховод; 3 – электропривод дроссельной заслонки.

Исследование вентиляционной системы VAV проводим по задающему воздействию – заданной температуре в помещении $T_3(t)$. Предварительно известными методами [7, 8] на основе экспериментальных исследований выполнена параметрическая идентификация вентиляционной системы как ОУ температурой воздуха в помещении $T(t)$ по поступающему в него массовому расходу нагретого воздуха $G(t)$. Для идентификации математической модели использованы возможности блока программных инструментов System Identification Toolbox пакета прикладных программ MATLAB. Получена следующая передаточная функция для температуры в помещении по массовому расходу воздуха для безразмерных переменных

$$W_{TG}(s) = \frac{e^{-54s}}{78s^2 + 320s + 1}, \quad (2)$$

где s – переменная Лапласа.

Передаточная функция (2) представляет собой произведение двух типовых звеньев: аperiodического звена 2-го порядка и звена запаздывания со временем $\tau = 54$ с. Передаточная функция (2) составлена для безразмерных отклонений переменных.

Для моделирования вентиляционной системы VAV в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, представленная на рис. 6. Для синтеза MPC-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox. Для этого предварительно в командной строке MATLAB была задана передаточная функция ОУ:

```
>>plant=tf(1,[78 320 1],'IODelay',54).
```

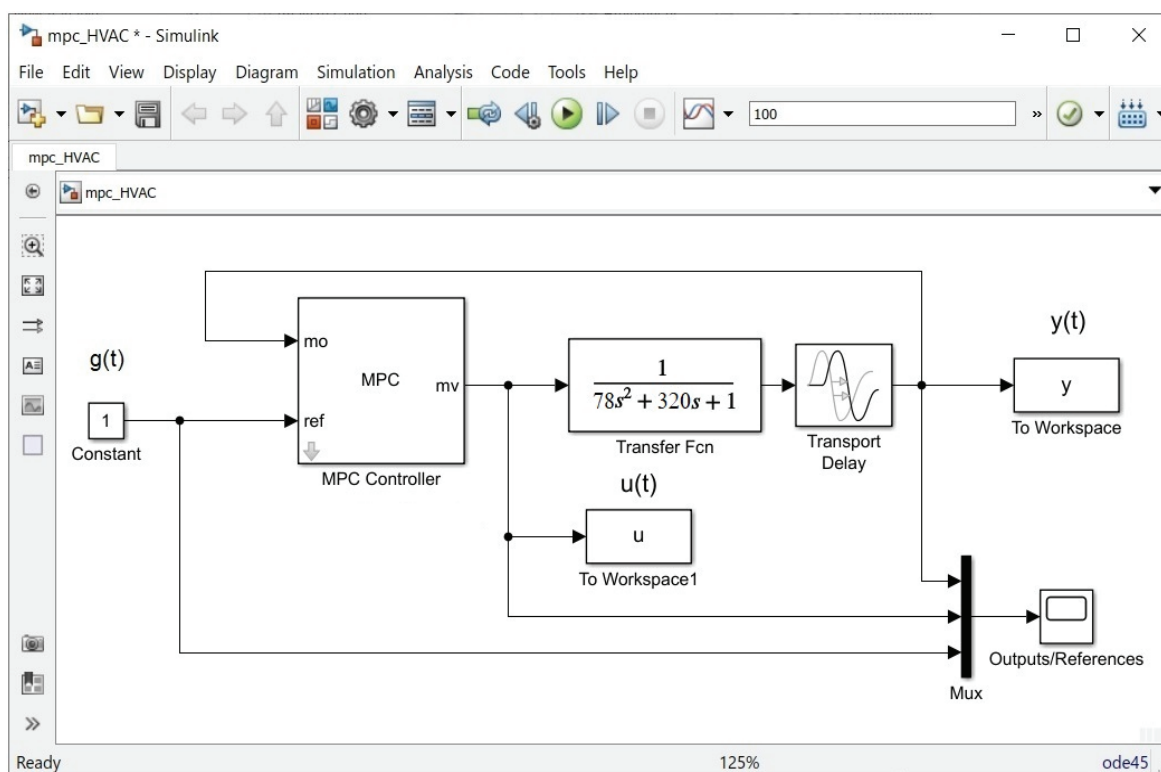


Рисунок 6 – Блок-диаграмма системы в среде Simulink.

Далее следующими командами соответственно спроектирован MPC-регулятор и заданы его ограничения

```
>>mpcobj=mpc(plant, 10, 100, 30);
>>mpcobj.MV=struct('Min',0,'Max',2).
```

Период квантования задан $\Delta T = 10$ с, горизонт прогнозирования $n_p = 100$ шагов, горизонт управления $n_c = 30$ шагов. Минимальное значение управляющего сигнала $u(t)$ равно 0, что соответствует полностью закрытому терминалу VAV, а максимальное значение равно 2, что соответствует максимальному количеству воздуха на выходе терминала VAV, которое в 2 раза превышает среднее значение расхода приточного нагретого воздуха $G(t)$, поступающего в помещение от центральной вентиляционной системы.

Результаты расчета переходных процессов в вентиляционной системе VAV показаны на рис. 7. Здесь сопоставлены переходные процессы в системе без регулятора, с ПИД-регулятором, оптимизированным по быстродействию, и МРС-регулятором. Сравнение результатов показывает, что использование МРС-регулятора позволяет совершенствовать процесс регулирования теплового режима в помещении. Во-первых, существенно повышается быстродействие системы. Так, длительность переходного процесса системы без регулятора составляет 1 008 с (16,8 мин), с ПИД-регулятором 512 с (8,5 мин), с МРС-регулятором 262 с (4,2 мин). Во-вторых, при использовании МРС-регулятора практически отсутствует перерегулирование системы, что не приводит к «перетопам», когда температура в помещении поднимается выше заданной, что исключает дополнительные потери тепла.

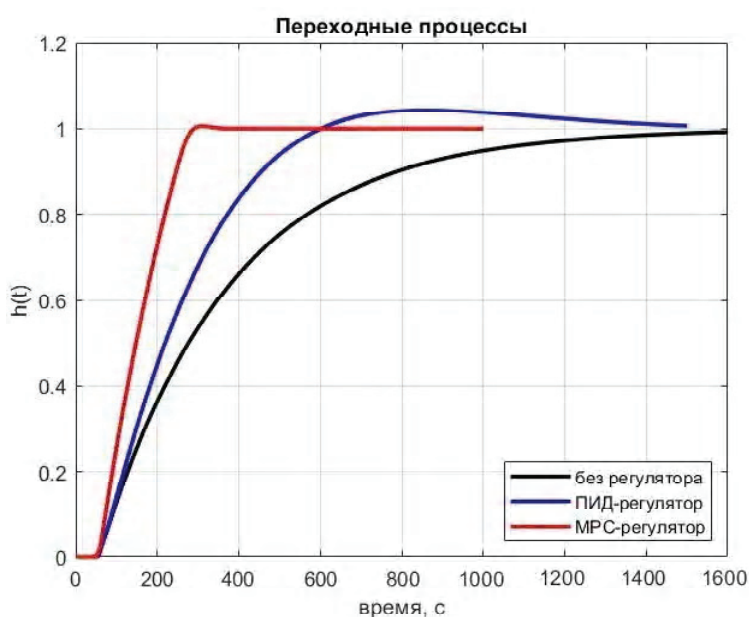


Рисунок 7 – Переходные процессы в вентиляционной системе VAV.

Следует отметить, что вышеизложенную методику управления системами ОВК на основе МРС-подхода можно обобщить на многомерные САУ и системы с несколькими задающими и возмущающими воздействиями.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе рассмотрен вопрос апробации МРС-подхода для управления системами ОВК и обоснования возможности совершенствования процесса регулирования его применением на примере вентиляционной системы.

С этой целью детально показана реализация МРС-подхода, изложен принцип управления с использованием прогнозирующей модели, отмечены особенности управления с использованием МРС-регулятора. Также рассмотрена структура регулятора и критерий выбора оптимальных значений управляющего сигнала.

Показана реализация МРС-подхода для управления системами ОВК на примере приточной вентиляционной системы VAV учебной аудитории. Для моделирования вентиляционной системы VAV в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, для чего была использована предварительно установленная передаточная функция системы как ОУ. Для синтеза МРС-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox пакета MATLAB.

Проведено исследование переходных процессов в вентиляционной системе VAV, сопоставлены переходные процессы в системе без регулятора, с ПИД-регулятором и MPC-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование MPC-регулятора позволяет совершенствовать процесс регулирования теплового режима в помещении за счет повышения качества регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свистунов, В. М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агро-промышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства / В. М. Свистунов, Н. К. Пушняков. – Санкт-Петербург : Политехника, 2007. – 423 с. – Текст : непосредственный.
2. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov. – Текст : непосредственный // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – 2019. – Volume 63. – P. 278–283.
3. Каменев, П. Н. Вентиляция. Учебное пособие / П. Н. Каменев, Е. И. Тертичник. – Москва : АСВ, 2008. – 624 с. – Текст : непосредственный.
4. Sokolov, V. Criteria analysis of diffusion processes in channels of industrial ventilation systems / V. Sokolov. – Текст : непосредственный // Proceedings of the 7th international conference on industrial engineering. ICIE 2021. Lecture notes in mechanical engineering, Sochi, 17–21 May 2021. – 2022. – Volume 2. – P. 725–731. – DOI: 10.1007/978-3-030-85230-6_85. – EDN: NSFIQF.
5. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В. А. Ананьев, Л. Н. Балуева, А. Д. Гальперин [и др.]. – Москва : Евроклимат, 2003. – 416 с. – Текст : непосредственный.
6. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov. – Текст : электронный // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering. ICIE 2020. Lecture notes in mechanical engineering, Sochi, Russia, 18–22 May 2020. – 2021. – Volume. 2. – P. 1182–1190. – DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_137. – EDN: UDCQKB.
7. Теория автоматического управления : учебник / Е. Э. Страшинин, А. Д. Заколяпин, С. П. Трофимов [и др.]. – Екатеринбург : УФУ, 2019. – 456 с. – Текст : непосредственный.
8. Лурье, Б. Я. Классические методы теории автоматического управления / Б. Я. Лурье, П. Дж. Энрайт. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2004. – 640 с. – Текст : непосредственный.
9. Надеждин, И. С. Системы управления нестационарным объектом на основе MPC-регулятора и ПИД-регулятора с нечеткой логикой / И. С. Надеждин, А. Г. Горюнов, Ф. Маненти. – Текст : непосредственный // Управление большими системами. Анализ и синтез систем управления. – 2018. – Выпуск 75. – С. 50–75.
10. Колодин, А. А. Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели / А. А. Колодин, В. В. Ёлшин. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного университета. Серия технические науки. – 2021. – Том 29, № 1. – С. 36–44.
11. Model predictive control toolbox. – Текст : электронный // MathWorks : [сайт]. – [1994–2022]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/mpc/> (дата обращения 20.09.2022).
12. Марьясин, О. Ю. Управление тепловым режимом зданий с использованием прогнозирующих моделей / О. Ю. Марьясин, А. С. Колодкина. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного университета. Серия технические науки. – 2017. – № 1(53). – С. 122–132.
13. Судак, В. Системы VAV. Краткое описание / В. Судак, Я. Хендигер. – Краков : SMAY, 2009. – 80 с. – URL: http://belimo.com.ua/files/VAV/VAV_book.pdf (дата обращения 22.09.2022). – Загл. с титул. листа. – Текст : электронный.
14. Ратушняк, Г. С. Регулювання витрати аеродинамічних потоків в системах вентиляції та аспірації : монографія / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 112 с. – Текст : непосредственный.

Получена 30.09.2022

Принята 28.10.2022

В. М. АНДРІЙЧУК, В. І. СОКОЛОВ, М. Д. АНДРІЙЧУК УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ НА ОСНОВІ MPC-ПІДХОДУ

Інститут будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства Луганського державного університету імені Володимира Даля

Анотація. У роботі розглянуто питання апробації MPC-підходу для управління системами опалення, вентиляції та кондиціонування, а також обґрунтовано можливості вдосконалення процесу регулювання його застосуванням на прикладі вентиляційної системи. Викладено принцип управління з використанням прогнозуючої моделі, відзначено особливості управління з використанням MPC-регулятора, розглянуто структуру регулятора та критерій вибору оптимальних значень керуючого сигналу. Показано реалізацію MPC-підходу на прикладі припливної вентиляційної системи VAV навчальної аудиторії. Для

моделивання вентиляційної системи в середовищі Simulink пакету прикладних програм MATLAB розроблено блок-діаграму, для синтезу MPC-регулятора використано набір програмних інструментів Model Predictive Control Toolbox. Проведено дослідження перехідних процесів у вентиляційній системі VAV, зіставлені перехідні процеси в системі без регулятора з ПІД-регулятором і MPC-регулятором. Порівняння результатів показало, що використання MPC-регулятора дозволяє вдосконалювати процес регулювання теплового режиму в приміщенні за рахунок підвищення якості регулювання.

Ключові слова: мікроклімат, MPC-регулятор, вентиляційна система VAV, температура, перехідний процес.

VLADISLAV ANDRIICHUK, VLADIMIR SOKOLOV, NIKOLAI ANDRIICHUK CONTROL FOR SYSTEMS OF HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING BASED ON THE MPC-APPROACH

Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir
Dahl Lugansk State University

Abstract. The paper considers the issue of approbation of the MPC-approach for the control of heating, ventilation and air conditioning systems, and also substantiates the possibility of improving the regulation process by its application on the example of a ventilation system. The principle of control using a predictive model is outlined, the features of control using the MPC controller are noted, the structure of the controller and the criterion for choosing the optimal values of the control signal are considered. The implementation of the MPC-approach is shown on the example of the supply VAV ventilation system in the classroom. To simulate the ventilation system in the Simulink environment of the MATLAB application package, the block diagram was developed, and the set of software tools Model Predictive Control Toolbox was used to synthesize the MPC controller. The study of transient processes the VAV ventilation system was carried out, the transient processes in the system without controller, with PID controller and MPC controller were compared. Comparison of the results showed that the use of the MPC controller makes it possible to improve the process of regulating the thermal regime in the room by increasing quality of regulation.

Key words: microclimate, MPC controller, VAV ventilation system, temperature, transient process.

Андрийчук Владислав Николаевич – старший преподаватель кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Научные интересы: вентиляция и теплогазоснабжение, гражданская инженерия.

Соколов Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Научные интересы: вентиляция и теплогазоснабжение, гражданская инженерия, механическая инженерия.

Андрийчук Николай Данилович – доктор технических наук, профессор; директор института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Научные интересы: вентиляция и теплогазоснабжение, гражданская инженерия, механическая инженерия.

Андрийчук Владислав Миколайович – старший викладач кафедри вентиляції, теплогазо- та водопостачання інституту будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства Луганського державного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: вентиляція та теплогазопостачання, цивільна інженерія.

Соколов Володимир Ілліч – доктор технічних наук, професор кафедри вентиляції, теплогазо- та водопостачання інституту будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства Луганського державного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: вентиляція та теплогазопостачання, цивільна інженерія, механічна інженерія.

Андрийчук Микола Данилович – доктор технічних наук, професор; директор інституту будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства Луганського державного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: вентиляція та теплогазопостачання, цивільна інженерія, механічна інженерія.

Andriichuk Vladislav – Senior Lecturer, Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department of Construction,

Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University. Scientific interests: ventilation and heat and gas supply, civil engineering.

Sokolov Vladimir – D. Sc. (Eng), Professor, Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University. Scientific interests: ventilation and heat and gas supply, civil engineering, mechanical engineering.

Andriichuk Nikolai – D. Sc. (Eng), Professor; Director of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University. Scientific interests: ventilation and heat and gas supply, civil engineering, mechanical engineering.