

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА НАРУЖНОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

А. Б. Сулин, А. А. Никитин, Т. В. Рябова,
С. С. Муравейников, Ю. Н. Санкина

Университет ИТМО,
Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Рассмотрен метод управления расходными характеристиками системы вентиляции по принципу формирования предсказанной оценки температуры воздуха и концентрации углекислого газа в помещении на основе анализа динамики изменения этих параметров в приточном и вытяжном воздуховодах. Предсказанная оценка ожидаемых параметров микроклимата в режиме реального времени открывает возможность использования таких элементов и алгоритмов управления системой вентиляции и кондиционирования, которые обеспечивают требуемое качество воздуха при минимальном энергопотреблении. При анализе вычисляется вероятность нахождения измеряемого параметра внутри или вне зоны регулирования через заданный интервал времени. Алгоритм срабатывания исполнительных механизмов системы регулирования по каналам температуры и концентрации углекислого газа представлен в виде блок-схемы. Логика принятия решения на срабатывание исполнительных механизмов построена на анализе направленности и интенсивности изменения температуры и концентрации углекислого газа в вытяжном воздуховоде и разности температур на притоке и вытяжке.

Ключевые слова: системы вентиляции и кондиционирования, интеллектуальные системы регулирования, адаптивное управление, качество воздуха, концентрации загрязняющих веществ, каналы управления.

Введение

Среди основных инженерных систем зданий на протяжении многих лет лидирующие позиции по энергопотреблению занимают системы отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВиК). Статистические обзорные исследования показывают, что доля энергопотребления систем ОВиК составляет не менее 55% от общего энергопотребления зданий, а для ряда регионов эта цифра может достигать 70% [1, 2]. По данным [3–5] 80–90% ежегодного роста промышленного потребления энергии можно отнести на вентиляцию, на которую приходится 21% глобальных выбросов парниковых газов и дополнительные ежегодные 250 миллиардов долларов экономических потерь. Данное обстоятельство имеет принципиальное значение в связи с тем, что, по данным Международного энергетического агентства, в 2018 г. прирост спроса на первичную энергию почти в два раза превысил средний прирост, наблюдаемый с 2010 г. Увеличение производства энергии в условиях ограниченного количества ископаемых ресурсов, влияния их использования на экологию на сегодняшний день не является эффективным решением [6–9]. Таким образом, для сохранения вектора развития в современном обществе нет альтернативы поиску путей снижения энергопотребления.

Современный подход к энергоэффективным решениям систем вентиляции и кондиционирования предполагает внедрение технологий «умной вентиляции», концепция которой заключается в использовании таких элементов и алгоритмов управления,

которые обеспечивают требуемое качество воздуха при минимальном энергопотреблении. Представленные на рынке интеллектуальные системы вентиляции функционируют на основании контроля концентрации CO_2 , влажности, общего содержания летучих органических веществ, количества людей в помещении, температуры наружного и внутреннего воздуха и других параметров. Выполненные исследования показывают, что за счет применения интеллектуальных систем регулирования можно получить экономию энергии на вентиляцию до 60% без ущерба для качества воздуха в помещении, а иногда и при его улучшении. В настоящее время люди проводят от 60% до 90% жизни в помещениях (дома, предприятия, офисы, школы и т.д.), в связи с чем качество воздуха в помещении является основным фактором, влияющим на здоровье населения [10–16].

Объект исследования

Для решения задачи поиска оптимальных соотношений между энергоэффективностью и комфортными параметрами воздуха в помещениях необходимы новые подходы к режимам функционирования инженерных систем. В данном исследовании рассматривается относительно новый класс систем ОВиК — вентиляция с управлением по требованию (demand-controlled ventilation — DCV). Концепция DCV — это отдельная разновидность интеллектуальной вентиляции, в которой обычно используют индикаторы потребности в вентиляции,

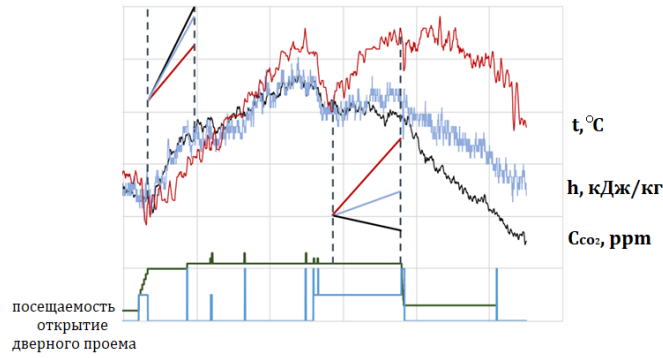


Рис. 1. Изменение концентрации углекислого газа, температуры и энтальпии воздуха в функции от загруженности помещения во времени
Fig. 1. Change in the carbon dioxide concentration, temperature and air enthalpy as a function of the room occupancy over time

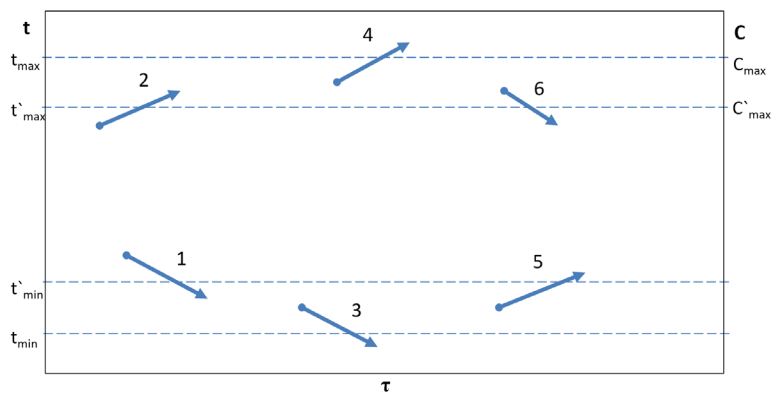


Рис. 2. Ситуационная схема принятия решения системой регулирования
Fig. 2. Situational decision-making scheme of the regulation system

такие как, например, избыток углекислого газа или влажность для управления системой. В работе [17] стратегия DCV определяется как стратегия вентиляции, при которой скорость воздушного потока регулируется выбранным уровнем концентрации загрязняющих веществ. Этот уровень измеряется датчиками качества воздуха, расположенными в помещении или обслуживаемой зоне. Когда уровень концентрации загрязняющих веществ поднимается выше заданного уровня, датчики активируют систему вентиляции. Когда люди покидают помещение, уровни концентрации загрязняющих веществ снижаются и интенсивность вентиляции также уменьшается. Согласно Приложению 18 Международного энергетического агентства, DCV означает непрерывную и автоматическую регулировку интенсивности вентиляции в ответ на загрязняющую нагрузку в помещении [18]. В настоящее время в литературе и на рынке доступны несколько типов DCV в зависимости от требований строительных норм, типов комбинаций датчиков и типов алгоритмов управления. Например, в Бельгии [19, 20] системы DCV классифицируются в соответствии с измеренными параметрами качества воздуха в помещении, такими как концентрация углекислого газа, относительная влажность, занятость; тип помещения (влажное и/или сухое); местное или централизованное управление; расположение датчика (распределенный или центральный) и направ-

ление воздушного потока (только вытяжка, только приток, сбалансированная).

В литературе описаны различные подходы к технологическим решениям систем DCV. Как отмечено, например, в [21], одним из ключевых вопросов при разработке данных систем является необходимость добиться более быстрого, чем в реальном времени, прогнозирования состояния внутренней среды. Другим перспективным направлением в развитии рассматриваемых энергосберегающих систем является установка датчиков контроля параметров воздуха за пределами помещений, что радикально упрощает трансформацию помещений как по геометрическим параметрам, так и по назначению. В данной работе предлагается алгоритм предиктивной (предсказанной) оценки параметров воздуха в помещении в режиме реального времени на основе анализа динамики изменения температуры воздуха и концентрации углекислого газа в приточном и вытяжном воздуховодах системы вентиляции.

На рис. 1 приведен пример характера изменения параметров воздуха в помещении лекционной аудитории Университета ИТМО. На рисунке приведены результаты измерений разности показаний датчиков, установленных в приточном и вытяжном воздуховоде системы вентиляции помещения.

Приведенные результаты измерений характеризуют качественный характер изменения параметров в зависимости от загруженности помещения.

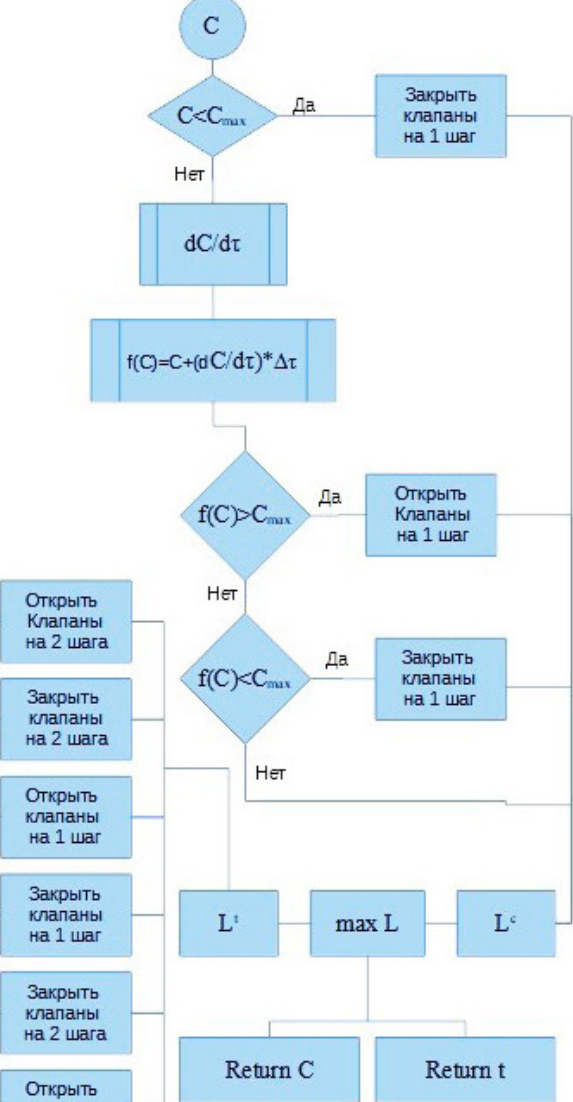
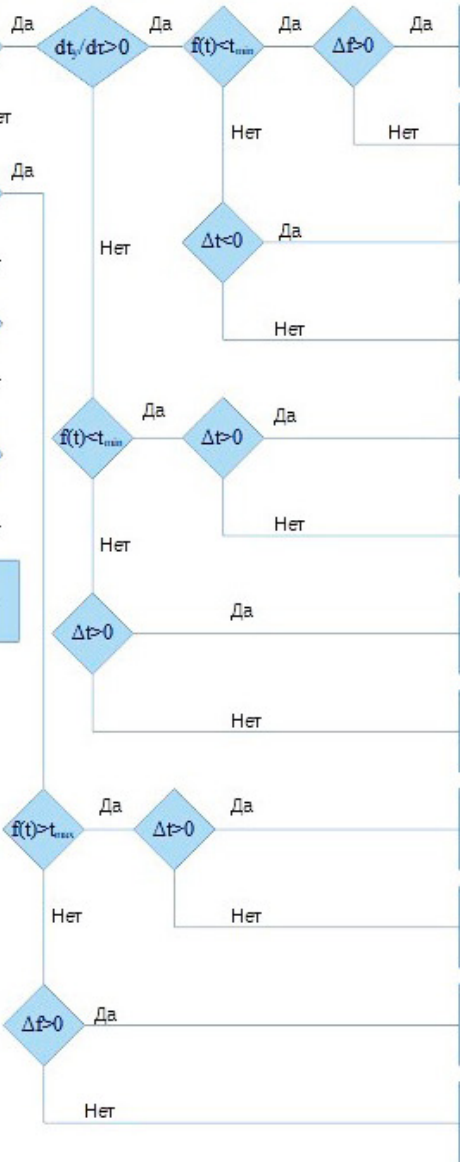
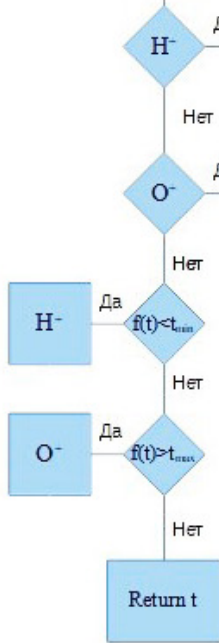
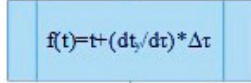
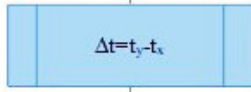


Рис. 3. Блок-схема алгоритма адаптивного регулирования
 Fig. 3. The adaptive control algorithm block diagram

В верхней части рисунка черным показано изменение концентрации углекислого газа, красным — изменение температуры, синим — изменение энthalпии воздуха. Кроме того, приведены примеры линейной аппроксимации функций измеряемых параметров за заданный промежуток времени. В нижней части рисунка черным показана посещаемость аудитории, синим — открытие дверного проема (открыт/закрыт).

Выполненные экспериментальные исследования указывают на возможность организации адаптивного управления системой вентиляции на основе анализа динамики изменения параметров воздуха в приточном и вытяжном воздуховодах.

На рис. 2 условно представлены варианты принятия интеллектуальной системой решений по управлению регулируемым клапанами в приточном и вытяжном воздуховоде.

Таким образом с позиций обеспечения энергоэффективного функционирования система стремится удерживать контролируемые параметры в следующих диапазонах:

1. Концентрацию CO_2 в диапазоне между C'_{\max} и C_{\max} ($C'_{\max} < C_{\max}$).

2. Температуру в режиме отопления помещения в диапазоне между t'_{\min} и t_{\min} ($t'_{\min} < t_{\min}$).

3. Температуру в режиме охлаждения помещения в диапазоне между t'_{\max} и t_{\max} ($t'_{\max} < t_{\max}$).

Темп и направленность изменения параметров характеризуются производными $\frac{dt_y}{d\tau}$ и $\frac{dC}{d\tau}$.

Здесь t_y — температура удаляемого воздуха в вытяжном воздуховоде; C — концентрация CO_2 в вытяжном воздуховоде; τ — время.

Предсказанная оценка параметров через период времени $\Delta\tau$ вычисляется по выражениям

$$f(C) = C + \frac{dC}{d\tau} \Delta\tau,$$

$$f(t) = t_y + \frac{dt_y}{d\tau} \Delta\tau.$$

Адаптивное управление системой вентиляции осуществляется следующим образом. На каждом шаге по времени системой вычисляется вектор производной параметров по времени и ожидаемое (предсказанное) значение параметра через период времени $\Delta\tau$. Если предсказанное значение указывает, что параметр будет находиться в зоне регулирования (варианты 1 и 2 на рис. 2), выдается сигнал на закрытие регулируемых вентиляционных клапанов на один шаг. Если предсказанное значение указывает, что параметр выйдет из зоны регулирования, то выдается сигнал на более интенсивное закрытие регулируемых вентиляционных клапанов на два шага (варианты 3 и 4 на рис. 2) или на более интенсивное открытие регулируемых вентиляционных клапанов на два шага (варианты 5 и 6 на рис. 2).

Результаты

На рис. 3 приведена блок-схема, иллюстрирующая алгоритм функционирования системы предиктивного регулирования параметров микроклимата в помещении в соответствии с описанной выше логикой управления исполнительными механизмами (регулируемые клапаны в приточном и вытяжном воздуховодах). Логика принятия решения на срабо-

тывание исполнительных механизмов построена на анализе направленности и интенсивности изменения температуры и концентрации углекислого газа в вытяжном воздуховоде и разности температур на притоке и вытяжке.

По каналу управления температурой входными параметрами являются сигналы датчиков температур приточного и вытяжного воздуха, а также состояние нагревателя и охладителя (включено/выключено). Вычисляемыми параметрами являются разность температур удаляемого и приточного воздуха, производная температуры удаляемого воздуха по времени и предсказанная оценка температуры удаляемого воздуха через период времени $\Delta\tau$. В зависимости от величины вычисляемых параметров формируется управляющий сигнал на исполнительные устройства регулируемых клапанов и включение/отключение теплообменного оборудования.

По каналу управления концентрацией углекислого газа входным параметром является сигнал датчика концентрации вытяжного воздуха. Вычисляемыми параметрами являются производная концентрации по времени и предсказанная оценка концентрации через период времени $\Delta\tau$. В зависимости от величины вычисляемых параметров формируется управляющий сигнал на исполнительные устройства регулируемых клапанов.

По результатам обработки информации двумя каналами системы предиктивного регулирования выбирается управляющий сигнал, соответствующий максимальной величине расхода подаваемого воздуха.

Практическая реализация разработанного алгоритма планируется в рамках выполнения практико-ориентированной научно-исследовательской работы Университета ИТМО № 420462 «Разработка комплексной адаптивной системы распределенного регулирования микроклимата помещений» и научно-исследовательской работы магистров и аспирантов Университета ИТМО № 620160 «Разработка технологии адаптивного регулирования воздушной среды трансформируемых помещений».

Список источников

1. Residential Energy Consumption Survey (RECS) // U.S. Energy Information Administration. 2001.
2. El-Dessouky H., Ettouney H., Al-Zeefari A. Performance analysis of two-stage evaporative coolers // Chemical Engineering Journal. 2004. Vol. 102, Issue 3. P. 255–266. DOI: 10.1016/j.ccej.2004.01.036.
3. DARA and the Climate Vulnerable Forum. Climate Vulnerability Monitor 2nd Edition: A Guide to the Cold Calculus of a hot Planet. 2012. URL: <https://daraint.org/wp-content/uploads/2012/09/CVM2ndEd-FrontMatter.pdf> (дата обращения: 16.10.2020).
4. Huang Y., Wang Y., Ren X. [et al.]. Ventilation guidelines for controlling smoke, dust, droplets and waste heat: Four representative case studies in Chinese industrial buildings // Energy and Buildings. 2016. Vol. 128. P. 834–844. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.07.046.
5. Lee H., Eom J., Cho Ch. [et al.]. A bottom-up model of industrial energy system with positive mathematical programming // Energy. 2019. Vol. 173. P. 679–690. DOI: 10.1016/j.energy.2019.02.020.
6. Tsvetkov N. A., Krivoshein U. O., Tolstykh A. V. [et al.]. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia // Energy. 2020. Vol. 210. 118577. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118577.

7. Varbanov P. S., Chin H. H., Popescu A.-E. P. [et al.]. Thermodynamics-Based Process Sustainability Evaluation // *Energies*. 2020. Vol. 13, Issue 9. 2132. DOI: 10.3390/en13092132.

8. Deymi-Dashtebayaz M., Valipour-Namanlo S. Thermo-economic and environmental feasibility of waste heat recovery of a data center using air source heat pump // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 219. P. 117–126. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.061.

9. Yushkova E. A., Lebedev V. A., Yakovlev P. V. Optimization of the boiler using the pinch method and exergy method // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 378, Issue 1. 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012052.

10. Erhorn H., Erhorn-Kluttig H., Carrie R. Airtightness requirements for high performance buildings // *29th AIVC Conf.: Advanced building ventilation and environmental technology for addressing climate change issues*, Oct. 14–16, 2008. Kyoto, Japan, 2008.

11. Klepeis N. E., Nelson W. C., Ott W. R. [et al.]. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants // *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2001. Vol. 11. P. 231–252. DOI: 10.1038/sj.jea.7500165.

12. Brasche S., Bischof W. Daily time spent indoors in German homes — baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupant // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2005. Vol. 208, Issue 4. P. 247–253. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.03.003.

13. Jantunen M., Oliveira Fernandes E., Carrer P. [et al.]. Promoting actions for healthy indoor air (IAIAQ). European Commission Directorate General for Health and Consumers. Luxembourg, 2011. 52 p. ISBN 978-92-79-20419-7.

14. Zeghnoun A., Dor F. Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement. Paris: Institut de Veille Sanitaire, 2010. 40 p. ISBN 978-2-11-099221-5; 978-2-11-099434-9.

15. Indoor air pollution: new EU research reveals higher risks than previously thought // *European Commission*. 2003. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_03_1278 (дата обращения: 02.11.2020).

16. Logue J. M., Price P. N., Sherman M. H. [et al.]. A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in U.S. Residences // *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 120, no. 2. P. 216–222. DOI: 10.1289/ehp.1104035.

17. Limb M. J. TN 36: Air infiltration and ventilation glossary // *AIVC Technical Note*. 1992. 47 p.

18. Mansson L. G., Svennberg S. A., Liddament M. W. Demand Controlled Ventilating Systems: Summary of IEA Annex 18. Technical Synthesis Report. 1997. 50 p. ISBN 0 946075 99 9.

19. Caillou S., Heijmans N., Laverge J. [et al.]. Méthode de calcul PER: Facteurs de réduction pour la ventilation a la demande. Rapport Reduc, Avril 2014. CSTC/UGent. 2014. 132 p.

20. Arrêté ministériel déterminant les valeurs du facteur de réduction pour la ventilation visé à l'annexe A1 de l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments // *Moniteur Belge*. 2015. Nov. 13.

21. Ren C., Cao S.-J. Implementation and visualization of artificial intelligent ventilation control system using fast prediction models and limited monitoring data // *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 52. 101860. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101860.

СУЛИН Александр Борисович, доктор технических наук, профессор факультета энергетики и экотехнологий.

SPIN-код: 5540-5765

AuthorID (РИНЦ): 445299

ORCID: 0000-0002-4580-6070

AuthorID (SCOPUS): 650749188

ResearcherID: W-4842-2017

Адрес для переписки: miconca@rambler.ru

НИКИТИН Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент факультета энергетики и экотехнологий.

SPIN-код: 8352-1164

AuthorID (РИНЦ): 626563

ORCID: 0000-0002-0084-7282

AuthorID (SCOPUS): 57218256585

Адрес для переписки: andyquest@mail.ru

РЯБОВА Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, доцент факультета энергетики и экотехнологий.

SPIN-код: 7445-1807

AuthorID (РИНЦ): 700649

ORCID: 0000-0003-3364-5430

AuthorID (SCOPUS) 57214558994

Адрес для переписки: rjabova_tatjana@mail.ru

МУРАВЕЙНИКОВ Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент факультета энергетики и экотехнологий.

ORCID: 0000-0001-7295-5904

AuthorID (SCOPUS): 57210976736

Адрес для переписки: mur_618@mail.ru

САНКИНА Юлия Николаевна, аспирант факультета энергетики и экотехнологий.

ORCID: 0000-0003-1853-8506

Адрес для переписки: ulyashka95@yandex.ru

Для цитирования

Сулин А. Б., Никитин А. А., Рябова Т. В., Муравейников С. С., Санкина Ю. Н. Энергоэффективное регулирование расхода наружного воздуха в системах вентиляции // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2021. Т. 5, № 2. С. 18–24. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-18-24.

Статья поступила в редакцию 09.03.2021 г.

© А. Б. Сулин, А. А. Никитин, Т. В. Рябова, С. С. Муравейников, Ю. Н. Санкина

ENERGY-EFFICIENT OUTDOOR AIR FLOW CONTROL IN VENTILATION SYSTEMS

A. B. Sulin, A. A. Nikitin, T. V. Ryabova,
S. S. Muraveinikov, I. N. Sankina

ITMO University,
Russia, Saint Petersburg, Kronverksky Ave., 49, 197101

A method for controlling the ventilation system flow characteristics is considered based on the forming principle an air temperature and carbon dioxide concentration predicted estimate in a room based on the changes dynamics analysis in these parameters in the supply and exhaust ducts. The expected microclimate parameters predicted assessment in real time opens up the possibility of using such elements and algorithms for controlling the ventilation and air conditioning system, which provide the required air quality with minimal energy consumption. The analysis calculates the finding probability the measured parameter inside or outside the control zone after a specified time interval. The algorithm for the control system actuators actuation for the channels of temperature and carbon dioxide concentration is presented in the block diagram form. The decision-making logic for actuating the actuators is based on the changes direction and intensity analysis in temperature and carbon dioxide concentration in the exhaust duct and the temperature difference between the supply and exhaust.

Keywords: ventilation and air conditioning systems, intelligent control systems, adaptive control, air quality, pollutants concentration, control channels.

References

1. Residential Energy Consumption Survey (RECS) // U.S. Energy Information Administration. 2001. (In Engl.).
2. El-Dessouky H., Ettouney H., Al-Zeefari A. Performance analysis of two-stage evaporative coolers // *Chemical Engineering Journal*. 2004. Vol. 102, Issue 3. P. 255–266. DOI: 10.1016/j.cej.2004.01.036. (In Engl.).
3. DARA and the Climate Vulnerable Forum. Climate Vulnerability Monitor 2nd Edition: A Guide to the Cold Calculus of a hot Planet. 2012. URL: <https://daraint.org/wp-content/uploads/2012/09/CVM2ndEd-FrontMatter.pdf> (дара обращения: 16.10.2020). (In Engl.).
4. Huang Y., Wang Y., Ren X. [et al.]. Ventilation guidelines for controlling smoke, dust, droplets and waste heat: Four representative case studies in Chinese industrial buildings // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 128. P. 834–844. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.07.046. (In Engl.).
5. Lee H., Eom J., Cho Ch. [et al.]. A bottom-up model of industrial energy system with positive mathematical programming // *Energy*. 2019. Vol. 173. P. 679–690. DOI: 10.1016/j.energy.2019.02.020. (In Engl.).
6. Tsvetkov N. A., Krivoshein U. O., Tolstykh A. V. [et al.]. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia // *Energy*. 2020. Vol. 210. 118577. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118577. (In Engl.).
7. Varbanov P. S., Chin H. H., Popescu A.-E. P. [et al.]. Thermodynamics-Based Process Sustainability Evaluation // *Energies*. 2020. Vol. 13, Issue 9. 2132. DOI: 10.3390/en13092132. (In Engl.).
8. Deymi-Dashtebayaz M., Valipour-Namanlo S. Thermo-economic and environmental feasibility of waste heat recovery of a data center using air source heat pump // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 219. P. 117–126. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.061. (In Engl.).
9. Yushkova E. A., Lebedev V. A., Yakovlev P. V. Optimization of the boiler using the pinch method and exergy method // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 378, Issue 1. 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012052. (In Engl.).
10. Erhorn H., Erhorn-Kluttig H., Carrie R. Airtightness requirements for high performance buildings // *29th AIVC Conf.: Advanced building ventilation and environmental technology for addressing climate change issues*, Oct. 14–16, 2008. Kyoto, Japan, 2008. (In Engl.).
11. Klepeis N. E., Nelson W. C., Ott W. R. [et al.]. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants // *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2001. Vol. 11. P. 231–252. DOI: 10.1038/sj.jea.7500165. (In Engl.).
12. Brasche S., Bischof W. Daily time spent indoors in German homes — baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupant // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2005. Vol. 208, Issue 4. P. 247–253. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.03.003. (In Engl.).
13. Jantunen M., Oliveira Fernandes E., Carrer P. [et al.]. Promoting actions for healthy indoor air (IAIAQ). European Commission Directorate General for Health and Consumers. Luxembourg, 2011. 52 p. ISBN 978-92-79-20419-7. (In Engl.).
14. Zeghnoun A., Dor F. Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement. Paris: Institut de Veille Sanitaire, 2010. 40 p. ISBN 978-2-11-099221-5; 978-2-11-099434-9. (In Engl.).
15. Indoor air pollution: new EU research reveals higher risks than previously thought // *European Commission*. 2003. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_03_1278 (accessed: 02.11.2020). (In Engl.).
16. Logue J. M., Price P. N., Sherman M. H. [et al.]. A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in U.S. Residences // *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 120, no. 2. P. 216–222. DOI: 10.1289/ehp.1104035. (In Engl.).

17. Limb M. J. TN 36: Air infiltration and ventilation glossary // AIVC Technical Note. 1992. 47 p. (In Engl.).

18. Mansson L. G., Svennberg S. A., Liddament M. W. Demand Controlled Ventilating Systems: Summary of IEA Annex 18. Technical Synthesis Report. 1997. 50 p. ISBN 0 946075 99 9. (In Engl.).

19. Caillou S., Heijmans N., Laverge J. [et al.]. Méthode de calcul PER: Facteurs de réduction pour la ventilation a la demande. Rapport Reduc, Avril 2014. CSTC/UGent. 2014. 132 p. (In Engl.).

20. Arrêté ministériel déterminant les valeurs du facteur de réduction pour la ventilation visé à l'annexe A1 de l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments // Moniteur Belge. 2015. Nov. 13. (In French).

21. Ren C., Cao S.-J. Implementation and visualization of artificial intelligent ventilation control system using fast prediction models and limited monitoring data // Sustainable Cities and Society. 2020. Vol. 52. 101860. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101860. (In Engl.).

SULIN Alexander Borisovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Energy and Ecotechnology Faculty.

SPIN-code: 5540-5765

AuthorID (RSCI): 445299

ORCID: 0000-0002-4580-6070

AuthorID (SCOPUS): 650749188

ResearcherID: W-4842-2017

Correspondence address: miconata@rambler.ru

NIKITIN Andrey Alekseyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Energy and Ecotechnology Faculty.

SPIN-code: 8352-1164

AuthorID (RSCI): 626563

ORCID: 0000-0002-0084-7282

AuthorID (SCOPUS): 57218256585

Correspondence address: andyquest@mail.ru

RYABOVA Tatyana Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Energy and Ecotechnology Faculty.

SPIN-code: 7445-1807

AuthorID (RSCI): 700649

ORCID: 0000-0003-3364-5430

AuthorID (SCOPUS) 57214558994

Correspondence address: rjabova_tatjana@mail.ru

MURAVEINIKOV Sergei Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Energy and Ecotechnology Faculty.

ORCID: 0000-0001-7295-5904

AuthorID (SCOPUS): 57210976736

Correspondence address: mur_618@mail.ru

SANKINA Iuliia Nikolayevna, Graduate Student, Energy and Ecotechnology Faculty.

ORCID: 0000-0003-1853-8506

Correspondence address: ulyashka95@yandex.ru

For citations

Sulin A. B., Nikitin A. A., Ryabova T. V., Muraveinikov S. S., Sankina I. N. Energy-efficient outdoor air flow control in ventilation systems // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2021. Vol. 5, no. 2. P. 18–24. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-18-24.

Received March 9, 2021.

© A. B. Sulin, A. A. Nikitin, T. V. Ryabova,
S. S. Muraveinikov, I. N. Sankina