

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-38-46

Абрамкина Д.В.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

E-mail: dabramkina@ya.ru

ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ГИБРИДНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Аннотация. В статье представлены результаты теоретического исследования существующих терминов гибридной вентиляции. Составлена классификация стратегий функционирования гибридных систем вентиляции, включающих в себя одновременный и попеременный режим работы. К одновременному режиму работы относятся случаи совместного использования систем механической и естественной вентиляции, например, при организации естественного притока и удалением загрязненного воздуха из помещения с помощью осевых крышных вентиляторов; механические системы, оборудованные низконапорными вентиляторами, используемые совместно с технологиями, направленными на увеличение естественного давления (тепловое и ветровое побуждение). К попеременному режиму относятся: сезонная работа, ночное охлаждение и местная попеременная работа. Анализ климатических характеристик, выполненный на основе данных метеорологической станции № 27612 (г. Москва, ВДНХ), показывает, что средняя температура наружного воздуха большую часть года превышает расчетную для проектирования систем естественной вентиляции. Значения среднегодовых коэффициентов обеспеченности воздухообмена для периода с 2016 по 2020 гг. составляют менее 50 %, что доказывает необходимость применения гибридных систем вентиляции сезонной работы. На основе расчётов среднемесячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена был сделан вывод, что в период с марта по ноябрь включительно, рекомендуется использовать механическое побуждение.

Ключевые слова: гибридная вентиляция, естественная вентиляция, коэффициент обеспеченности воздухообмена, тепловое побуждение, ветровое побуждение

Введение. Стратегии функционирования систем гибридной вентиляции. Потребление энергии зданиями составляет около 40% от общего объема мирового расхода энергетических ресурсов. Таким образом, минимизация энергопотребления зданий имеет значительный потенциал. Проектирование современного здания подразумевает комплексный подход, включающий в себя создание устойчивой архитектуры: разработку оптимальной конструкции и планировки, внедрение модулярности, мобильности и гибкости отдельных элементов объекта, применение экологичных материалов и энергоэффективных технологий, позволяющих создать качественную внутреннюю среду [1]. Главная задача инженеров – найти оптимальное решение, при котором в здании будут обеспечены комфортные параметры микроклимата в помещениях при минимальных затратах энергии [2].

Согласно СП 60.13330.2020, в жилых зданиях необходимо предусматривать механическую вентиляцию или гибридные системы, если параметры и качество внутреннего воздуха невозможно обеспечить естественной вентиляцией.

Гибридная вентиляция представляет собой систему, сочетающую в себе эффективную комбинацию технологий механической и естествен-

ной вентиляции. В зарубежной научно-технической литературе равноценно используются два термина: «hybrid ventilation», который был сформулирован в рамках международного исследовательского проекта HubVent [3] и «mixed-mode ventilation», используемый в руководстве Application Manual 13 CIBSE [4]. Гибридные системы вентиляции подходят, как и для проектирования новых зданий, так и для переоборудования и реконструкции существующих старых зданий с естественной вентиляцией.

В публикации CIBSE [4] выделено несколько режимов работы систем гибридной вентиляции:

1. Одновременная работа – системы механической и естественной вентиляции работают параллельно. Примером данного случая может являться помещение, обслуживаемое сбалансированной системой механической вентиляции, где в дополнение могут открываться окна.

2. Попеременная работа – системы механической и естественной вентиляции используются в зависимости от потребностей, их работа не является совместной.

Существует несколько стратегий попеременной работы [4]:

1. Сезонная работа представляет собой режим, при котором помещение часть года обслуживается системой естественной вентиляции, часть года – механической.

2. Ночное охлаждение, при котором в дневное время используется вентиляция с механическим побуждением, а в ночной период организуется естественное проветривание, позволяющее снизить температуру внутреннего воздуха и ограждающих конструкций помещения. Способность аккумулирования холода в поверхностном слое оборудования и конструкции здания позволяет снизить энергопотребление в дневное время [5, 6]. Такая стратегия эффективна для регионов со значительной амплитудой температур наружного воздуха в течение суток.

3. Местная попеременная работа, примером которой является помещение, оборудованное оконными датчиками, гарантирующими отключение механических систем вентиляции и кондиционирования воздуха при осуществлении естественного проветривания.

В классификации принципов функционирования гибридных систем вентиляции, разработанной CIBSE не включено понятие совместного использования естественного и механического побуждения в одной системе. Более подробно подобные случаи представлены в научно-исследовательском проекте HübVent. В публикации [3] так же отмечается, что основным отличием гибридных систем является то, что они оснащены умной системой управления, которая в автоматическом режиме осуществляет выбор между естественным и механическим режимом для минимизации энергопотребления. В проекте HübVent сформулированы следующие стратегии организации работы систем гибридной вентиляции:

1. Альтернативный режим работы. В здании используются две автономные системы механической и естественной вентиляции, с автоматическим переключением их режима работы. Например, при использовании механических систем вентиляции в период пиковых нагрузок, а естественной – в остальное время. В качестве примера можно привести здание Liberty Tower в Токио, Япония [7]. Данный принцип функционирования систем можно отнести к сезонному попеременному режиму работы.

2. Система естественной вентиляции, которая в период сложных климатических условий или особых требований к качеству внутреннего воздуха, увеличивает располагаемое давление с помощью вспомогательного вентилятора. В данном случае система естественной вентиляции большую часть года обеспечивает поддержание

нормируемых параметров внутреннего микроклимата в помещении, например, с помощью сквозного проветривания. Во время безветренной погоды происходит автоматическое включение вентилятора. Подобный режим функционирования системы является частным случаем одновременной работы, который был применён в штаб-квартире Bang & Olufsen в Струере, Дания [8].

3. Механическая система вентиляции с тепловым или ветровым побуждением. В рассматриваемом случае в здании проектируется сбалансированная система механической вентиляции с рекуперацией теплоты. Из-за относительно высокого аэродинамического сопротивления вентиляционной сети, в данном случае необходима установка достаточного мощных вентиляторов. Требуемое давление вентилятора, и как следствие энергопотребление системы, может быть снижено за счёт использования естественного давления, формирующегося за счёт теплового или ветрового побуждения. Кроме того, некоторую часть года в здании может быть использована исключительно гравитационная система вентиляции, как в здании Методистской начальной школы в г. Гронг, Норвегия [9]. Данный принцип функционирования систем можно так же отнести к частному случаю одновременного режима работы.

Однако ряд учёных рекомендуют выделять в отдельную группу системы, использующие совместно естественное и механическое побуждение. Т. Кливленом было предложено понятие «смешанных систем» [10]. Более подробно такие случаи рассмотрены в работе [11].

В статье рассматривается наиболее распространённая схема работы гибридной вентиляции, применяемой в жилищном строительстве в РФ: система с организацией естественного притока через оконные клапаны и удалением загрязнённого воздуха с помощью крышных осевых вентиляторов, оборудованных частотными преобразователями [12]. Подобная система может быть использована при реконструкции существующих зданий.

Автоматический контроль систем гибридной вентиляции. Системы автоматического управления режимами работы систем гибридной вентиляции являются ключевым моментом в организации комфортной внутренней среды в помещении. Они должны обеспечивать оптимальный переход от естественного к механическому побуждению, осуществлять контроль требуемого расхода воздуха и параметров внутреннего микроклимата, что особенно важно при режиме естественной вентиляции. Существуют

две стратегии управления расходом воздуха в системах гибридной вентиляции жилого здания:

1. Пространственная стратегия, которая тесно связана с проектированием системы и должна рассматриваться на ранней стадии проектирования. Наружный воздух поступает в квартиру через жилые комнаты, удаление загрязнённого воздуха осуществляется через санитарный узел и кухню, при этом осуществляется контроль обеспечения расхода вытяжного воздуха. Подобная стратегия обладает двумя существенными недостатками, заключающимся в повышенном расходе приточного воздуха в жилых помещениях в периоды пиковых нагрузок в ванной комнате и кухне и отсутствием контроля загрязняющих веществ во всех обслуживаемых помещениях.

2. Временная стратегия, которая может быть связана, с одной стороны, с присутствием жильцов и выбросами загрязняющих веществ в результате их метаболизма и/или деятельности и, с другой стороны, с климатическими условиями. Управление системой вентиляции может осуществляться с помощью датчиков движения или включения света, по установленному времени, датчиков температуры, углекислого газа или относительной влажности наружного или внутреннего воздуха, а также датчиков скорости и направления ветра.

Наиболее сложным вопросом в организации автоматического контроля системы вентиляции является взаимодействие с жильцами. На стадии проектирования достаточно трудно предсказать приоритеты конечного потребителя, которые могут варьироваться как от одного жильца к другому, так и изменяться по времени для одного и того же человека. Например, некоторые люди могут быть действительно заинтересованы в экономии энергии, а некоторые предпочитают более комфортный внутренний микроклимат, даже если он требует большего энергии и является весьма дорогостоящим. Поэтому проведение исследований, связанных с разработкой персонализированных систем вентиляции являются актуальной научной задачей.

Методы и материалы исследования. Методика определения фактических воздухообменов канальных систем естественной вентиляции представлена в [13].

Для определения границ работы систем с естественным побуждением и обоснования выбора режима работы гибридной вентиляции, проводятся расчеты коэффициентов обеспеченности воздухообмена, n_L [14]:

$$n_L = \frac{n^+}{n^+ + n^-} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где n^+ – число результатов расчета, для случаев, когда фактический воздухообмен L_{ϕ} , м³/ч, был больше или равен нормативному воздухообмену L_n , м³/ч; n^- – число результатов расчета, для случаев, когда фактический воздухообмен L_{ϕ} , м³/ч, был меньше нормативного L_n , м³/ч.

Для всего периода эксплуатации систем должно быть соблюдено следующее условие [13]:

$$n_L \geq 95\%. \quad (2)$$

Как показывают результаты расчётов, приведенных в [14], учет ветрового давления уменьшает значение коэффициента обеспеченности воздухообмена, поэтому в данном исследовании фактический воздухообмен определялся с учётом только гравитационного давления. Коэффициенты обеспеченности воздухообмена определялись для квартир, оборудованных электрическими плитами.

Результаты и их анализ. Канальные системы естественной вентиляции рассчитываются на разность плотностей наружного воздуха при температуре $t_n = 5$ °С и внутреннего воздуха при температуре в холодный период года. Принимается, что при данных условиях системы вентиляции с естественным побуждением в полной мере обеспечивают требуемый воздухообмен в помещении. На рис. 1 представлены графики годового хода температуры наружного воздуха за последние 5 лет (с 2016 по 2020 гг.), построенные по результатам наблюдений метеорологической станции № 27612 (г. Москва, ВДНХ).

Анализ климатических характеристик г. Москвы показывает, что средняя температура наружного воздуха большую часть года превышает расчетную для проектирования систем естественной вентиляции, что так же подтверждают результаты исследования [15].

По данным Всемирной метеорологической организации [16], средние значения температур за последние пятилетний (с 2016 по 2020 гг.) и десятилетний (с 2011 по 2020 гг.) периоды достигли максимальных значений за всю историю проведения метеорологических наблюдений. 2016 год занимает первое место по максимальной глобальной температуре воздуха в большинстве исследованных комплектов данных. Высокие температуры наружного воздуха и продолжительные тепловые волны за последние годы установили рекорды во многих странах, вызывая значительный спрос на системы кондиционирования воздуха, что так же приводит к необходимости использования гибридных систем.

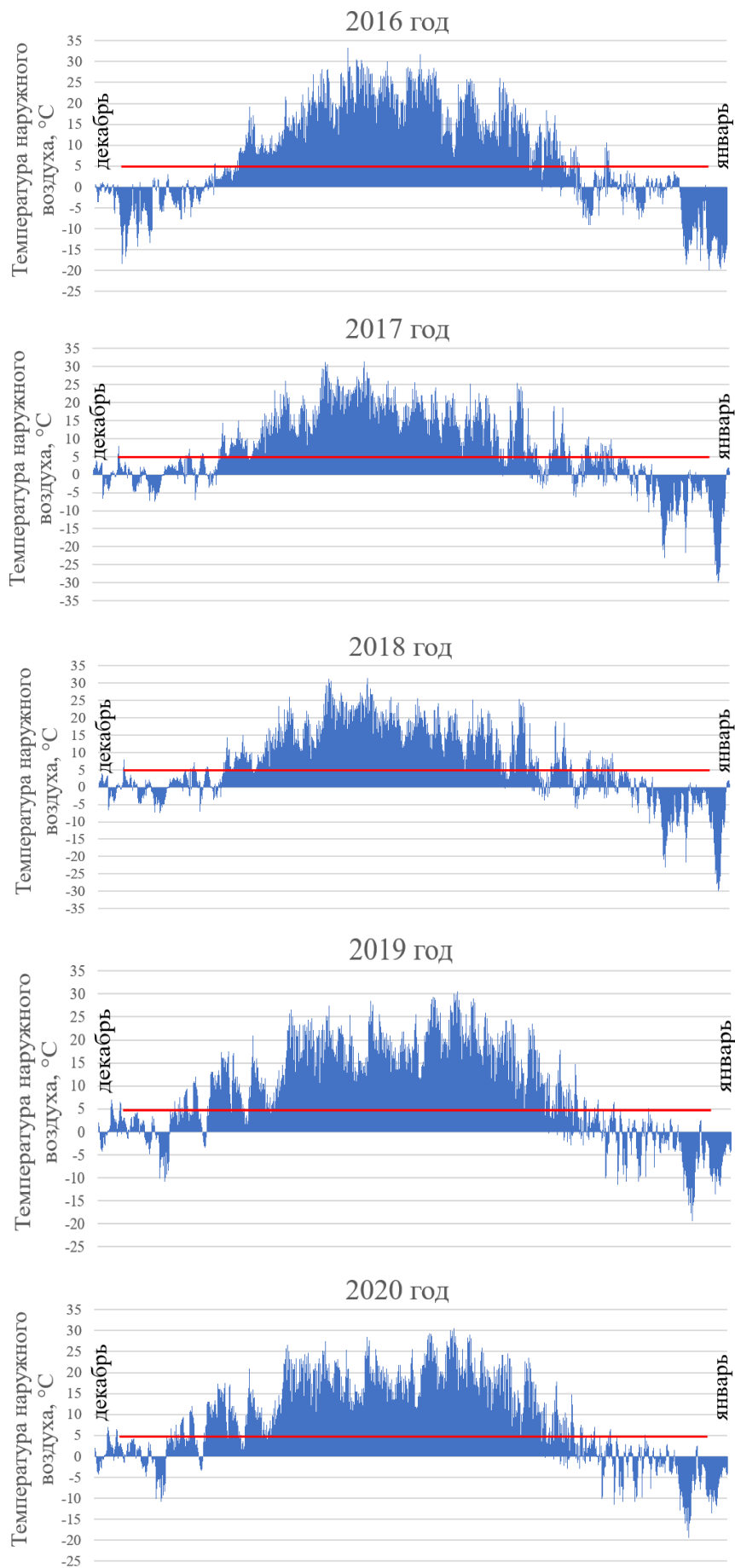


Рис. 1. Динамика температуры наружного воздуха в г. Москве по данным Агрометеорологической станции ВДНХ

По оценке Росгидромета [17], климат России характеризуется значительным потеплением, скорость которого значительно превосходит среднюю по всему земному шару. Среднее увеличение температуры воздуха с 1976 по 2020 гг. составляет 0,51 °С за десятилетие. Тенденция мировых изменений климата сохраняется и на территории нашей страны: последние шесть лет (с 2015 по 2020 гг.) названы самыми тёплыми с

начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария. При этом 2020 год стал третьим самым тёплым годом за весь период наблюдений. Повышение температур в РФ стабильно наблюдается во все сезоны.

На рис. 2 представлены результаты расчетов среднегодовых коэффициентов обеспеченности воздухообмена, определенных на основе фактических температур наружного воздуха.

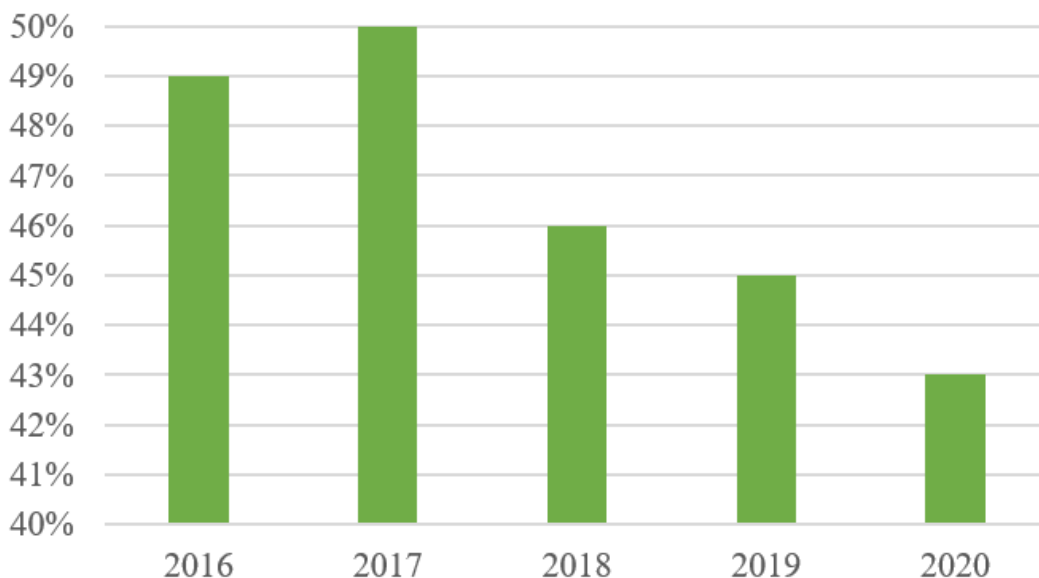


Рис. 2. Среднегодовые коэффициенты обеспеченности воздухообмена

На основе полученных результатов расчёта среднегодовых коэффициентов n_L можно сделать вывод, что системы естественной вентиляции не обеспечивают требуемые параметры внутреннего микроклимата и качества воздуха в помещениях.

Для обоснования периода применения гибридных систем вентиляции, был проведен расчет среднемесячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена (рис. 3).

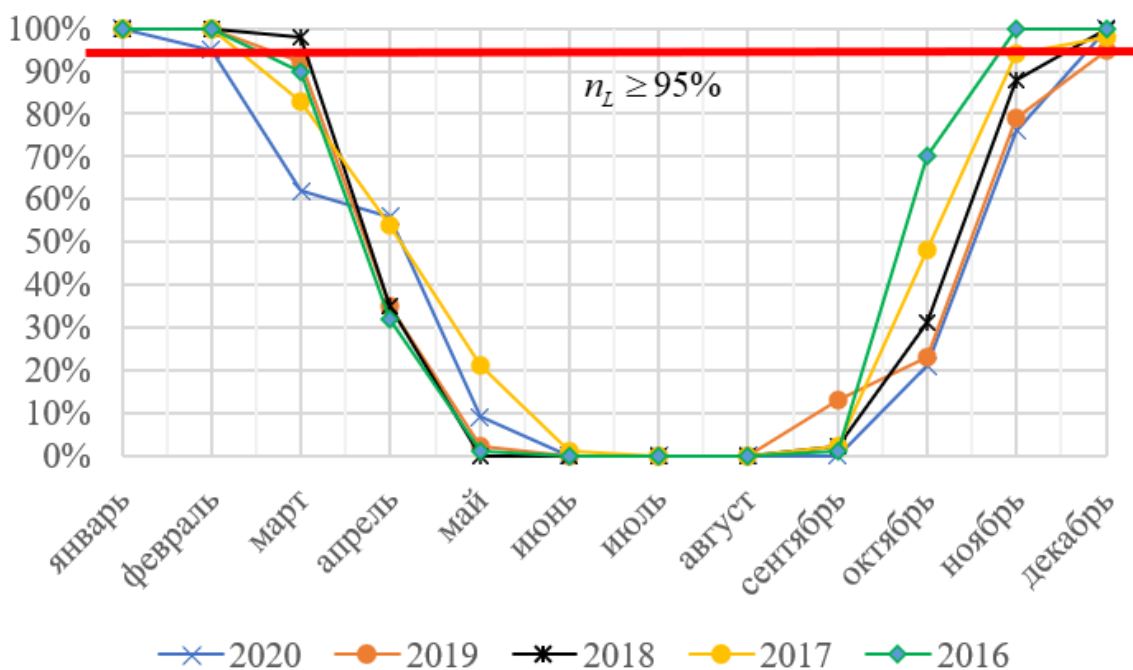


Рис. 3. Среднемесячные коэффициенты обеспеченности воздухообмена

Было выявлено, что условие (1) стабильно соблюдается только в зимнее время года – с декабря по февраль. Таким образом, в период с марта по ноябрь включительно, рекомендуется использовать механическое побуждение [12, 18]. Данный временной диапазон выпадает на часть отопительного периода. Следовательно, при проектировании систем гибридной вентиляции, особенно во время реконструкции здания, необходимо уточнить условия работы существующей системы отопления.

Вентиляционные потери теплоты, связанные с подачей холодного наружного воздуха, могут меняться довольно быстро, быстрее, чем трансмиссионные тепловые потери через ограждающие конструкции. Поэтому система отопления помещений должна оперативно реагировать на изменения расхода приточного воздуха для исключения колебаний температуры в помещениях, которые могут вызвать дискомфорт у жильцов. Основная сложность заключается в необходимости проведения контроля воздушного режима помещения для обеспечения взаимосвязи между работой системы вентиляции и отопления.

При разработке системы отопления помещений следует учитывать некоторые аспекты. Отопительные приборы рекомендуется располагать ниже приточных отверстий для осуществления подогрева вентиляционного воздуха за счёт восходящего конвективного потока, формирующегося над его поверхностью. Возможно размещение приточных клапанов в наружной стене за отопительным прибором.

Выводы. При проектировании гибридных систем вентиляции с сезонным режимом работы март-ноябрь, необходимо учитывать влияние естественного давления, которое противодействует вытяжке в условиях, когда температура наружного воздуха выше внутреннего [19]. В рассматриваемый период рекомендуется применять технологии, направленные на повышение располагаемого давления естественных систем вентиляции: тепловое побуждение с радиационным подогревом вентиляционных каналов [20–24] или ветровое побуждение с помощью дефлекторов и ветряных башен [25], а также устройств Вентури [26–27]. Данный подход позволит снизить энергопотребление вентиляторной установкой.

В гибридных системах вентиляции возможно использование рекуперации теплоты. Наиболее распространённым способом является применение интегрированных тепловых насосов, которые обеспечивают возможность прямой передачи теплоты от вытяжного воздуха к хлада-

генту, что значительно увеличивает эффективность работы установки. Вторичная теплота может быть использована для нужд отопления помещений и подогрева горячей воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mohamed A. F., El-Menchawy A., Bassioni H. A. An ecological residential buildings management case study; an existing Egyptian eco-house. Republic of Moldova: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 148 p.
2. Cisek E., Jaglarz A. Architectural education in the current of deep ecology and sustainability // Buildings. 2021. Vol. 11 (8). No. 358. DOI:10.3390/buildings11080358
3. Jagpal R. Control strategies for hybrid ventilation in new and retrofitted office and education buildings (HybVent) [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_35_tsr.pdf (дата обращения: 28.11.2021)
4. Chartered Institution Of Building Services Engineers Staff. Mixed Mode Ventilation Systems: Cibse Applications Manual Am 13 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q2000000817nt> (дата обращения: 28.11.2021)
5. Сотников А. Г. Расчет ночного охлаждения помещений // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. № 4. С. 84–86.
6. Felicia U., Tiberiu C., Andreea V., Iolanda C. Impact of nocturnal natural ventilation on the energy consumption of buildings // Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2017. Vol. 13. No. 1. Pp. 17–26. DOI:10.1515/mmce-2017-0005
7. Chikamoto T., Kato S., Ikaga T. Hybrid air-conditioning system at Liberty Tower of Meiji University // AIVC. 1999. Vol. 12. No. 543. Pp. 123–127.
8. Henrik B., Christian F., Per H., Ole Juhl H. Measurements of hybrid ventilation performance in an office building // International Journal of Ventilation. 2003. Vol. 1. No. 4. Pp. 77–88, DOI: 10.1080/14733315.2003.11683646
9. Wouters P., Heijmans N., Delmotte C., Vandaele L. Classification of hybrid ventilation concepts [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/air-base_12537.pdf (дата обращения: 28.11.2021)
10. Kleiven T. Natural ventilation in buildings architectural concepts, consequences and possibilities. Norwegian University of Science and Technol-

ogy. Faculty of Architecture and Fine Art Department of Architectural Design, History and Technology. Trondheim, 2003. 305 p.

11. Soebiyani V. Hybrid ventilation systems on different climate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 794. No. 012174. DOI: 10.1088/1755-1315/794/1/012174

12. Бодров М. В., Кузин В. Ю., Морозов М. С. Применение гибридных вентиляторов при реконструкции естественных систем вентиляции жилых домов // Приволжский научный журнал. 2017. № 4. С. 44–51.

13. Бодров М.В., Кузин В.Ю., Морозов М.С., Шаповал А.Ф. Обоснование границ применения естественных систем вентиляции многоквартирных жилых домов для Нижегородской области // Приволжский научный журнал. 2016. № 1 (37). С. 65–71.

14. Бодров М.В., Кузин В.Ю., Морозов М.С. Расчётное обоснование границ режимов работы систем естественной и гибридной вентиляции // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 1. С. 74–77.

15. Абрамкина Д.В., Агаханова К.М. Автоматическое регулирование системы вентиляции жилого здания // Естественные и технические науки. 2019. № 2 (128). С. 204–205.

16. Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Состояние глобального климата в 2021 году [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21982#.YX-2imDMKUK (дата обращения: 01.12.2021)

17. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва. 2021. 104 с.

18. Кривошеин А.Д., Андреев И.В. Исследование процессов распределения воздуха в гибридных системах вентиляции жилых зданий // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 5 (33). С. 63–69.

19. Агаханова К.М., Малявина Е.Г., Левина Ю.Н. Расчет воздухообмена квартир многоэтажного жилого здания при гибридной вентиляции в переходный и теплый период // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 6 (1018). С. 63–65.

20. Zhang H., Tao Y., Shi L. Solar chimney applications in buildings // Encyclopedia. 2021. Vol. 1. Pp. 409–422. DOI: 10.3390/encyclopedia1020034

21. Xinyu Z., Jun Z., Menghao Q. Experimental and numerical studies of solar chimney for ventilation in low energy buildings // Procedia Engineering. 2017. Vol. 205. Pp. 1612–1619. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.294

22. Tongbai P., Chitsomboon T. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation // Journal of power and energy engineering. 2014. Vol. 2. Pp. 22–29. DOI: 10.4236/jpee.2014.26003

23. Lal S., Kaushik S. C., Bhargav P. K. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning // International Journal of Development and Sustainability. 2013. Vol. 2. Pp. 277–279.

24. Aeinehvand R., Darvish A., Baghaei Dae-meai A., Barati S., Jamali A., Malekpour Ravasjan V. Proposing alternative solutions to enhance natural ventilation rates in residential buildings in the Cfa Climate Zone of Rasht // Sustainability. 2021. Vol. 13. 679. DOI: 10.3390/su13020679

25. Naghman K., Yuehong S., Saffa B. Riffat. A review on wind driven ventilation techniques // Energy and Buildings. 2008. Vol. 40. Pp. 1586–1604. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.015

26. Zhang L., Tian L., Shen Q., Liu F., Li H., Dong Z., Cheng J., Liu H., Wan J. Study on the influence and optimization of the venturi effect on the natural ventilation of buildings in the Xichang area // Energies. 2021. Vol. 14. No. 5053. DOI: 10.3390/en14165053

27. van Hooff T., Blocken B., Aanen L., Bronsema B. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations // Building and Environment. 2011. Vol. 46. Pp. 1797–1807. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.02.009.

Информация об авторах

Абрамкина Дарья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция». E-mail: dabramkina@ya.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Поступила 28.11.2021 г.

© Абрамкина Д.В., 2022

Abramkina D.V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering

E-mail: dabramkina@ya.ru

JUSTIFICATION OF HYBRID VENTILATION SYSTEMS OPERATING BOUNDARIES

Abstract. The paper presents the results of a theoretical study of existing terms of hybrid ventilation. A classification of hybrid ventilation strategies has been drawn up: concurrent and changeover operations. Concurrent operation includes the sharing of mechanical and natural ventilation systems, for example, in the case of natural inlet and the removal of contaminated air from the room by axial roof fans; mechanical systems, equipped with low-pressure fans, used in conjunction with technologies aimed at increasing natural pressure (heat and wind inducement). Changeover operation includes seasonal work, night cooling and local alternating work. The analysis of climatic characteristics based on data from meteorological station 27612 (Moscow, VDNH) shows that the average temperature of outdoor air exceeds the requirement temperature for natural ventilation calculations for most of the year. Annual average air exchange factors for the period 2016-2020 are less than 50 %, which proves the need for a seasonal hybrid ventilation system. Based on the calculation of average monthly air exchange factors, the mechanical inducement is recommended from March to November.

Keywords: hybrid ventilation, mixed-mode ventilation, natural ventilation, air exchange factor, thermal buoyancy, wind driven ventilation

REFERENCES

1. Mohamed A.F., El-Menchawy A., Bassioni H.A. An ecological residential buildings management case study; an existing Egyptian eco-house. Republic of Moldova: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 148 p.
2. Cisek E., Jaglarz A. Architectural education in the current of deep ecology and sustainability. Buildings. 2021. Vol. 11 (8). No. 358. DOI:10.3390/buildings11080358
3. Jagpal R. Control strategies for hybrid ventilation in new and retrofitted office and education buildings (HybVent). AdobeAcrobatReader. URL: https://iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Anex_35_tsr.pdf (date of treatment: 28.11.2021)
4. Chartered Institution Of Building Services Engineers Staff. Mixed Mode Ventilation Systems: Cibse Applications Manual Am 13. AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q20000008I7nt> (date of treatment: 28.11.2021)
5. Sotnikov A.G. Calculation of night cooling of premises [Raschet nochnogo okhlazhdeniya pomeshchenii]. Plumbing, heating, air conditioning. 2012. No 4. Pp. 84–86. (rus)
6. Felicia U., Tiberiu C., Andreea V., Iolanda C. Impact of nocturnal natural ventilation on the energy consumption of buildings. Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2017. Vol. 13. No. 1. Pp. 17–26. DOI:10.1515/mmce-2017-0005
7. Chikamoto T., Kato S., Ikaga T. Hybrid air-conditioning system at Liberty Tower of Meiji University. AIVC. 1999. Vol. 12. No. 543. Pp. 123–127.
8. Henrik B., Christian F., Per H., Ole Juhl H. Measurements of hybrid ventilation performance in an office building. International Journal of Ventilation. 2003. Vol. 1. No. 4. Pp. 77–88, DOI: 10.1080/14733315.2003.11683646
9. Wouters P., Heijmans N., Delmotte C., Vandaele L. Classification of hybrid ventilation concepts. AdobeAcrobatReader. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/air-base_12537.pdf (date of treatment: 28.11.2021)
10. Kleiven T. Natural ventilation in buildings architectural concepts, consequences and possibilities. Norwegian University of Science and Technology. Faculty of Architecture and Fine Art Department of Architectural Design, History and Technology. Trondheim, 2003. 305 p.
11. Soebiyanto V. Hybrid ventilation systems on different climate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 794. No. 012174. DOI: 10.1088/1755-1315/794/1/012174
12. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S. [Primenenie gibridnykh ventilyatorov pri rekonstruktsii estestvennykh sistem ventilyatsii zhilykh domov]. Privolzhskii scientific journal. 2017. No. 4. Pp. 44–51. (rus)
13. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S., Shapoval A.F. Justification of the boundaries for the application of natural ventilation systems for apartment buildings for the Nizhny Novgorod region [Obosnovanie granits primeneniya estestvennykh sistem ventilyatsii mnogokvartirnykh zhilykh domov dlya Nizhegorodskoi oblasti]. Privolzhskii nauchnyi zhurnal. 2016. No 1 (37). Pp. 65–71. (rus)
14. Bodrov M. V., Kuzin V. Yu., Morozov M. S. Calculation of the boundary between natural and hybrid ventilation systems [Raschetnoe obosnovanie

granits rezhimov raboty sistem estestvennoi i gibridnoi ventilyatsii] Plumbing, heating, air conditioning. 2016. No 1. Pp. 74–77. (rus)

15. Abramkina D.V., Agakhanova K.M. Automatic ventilation control of residential building [Avtomaticheskoe regulirovanie sistemy ventilyatsii zhilogo zdaniya] Science and engineering. 2019. No 2 (128). Pp. 204–205. (rus)

16. World Meteorological Organization (WMO). State of the Global Climate 2021 Adobe Acrobat Reader. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21982#.Yac-It-BBw2x (date of treatment: 01.12.2021)

17. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Report on the characteristics of the climate in the territory of the Russian Federation for 2020. [Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2020 god] Moscow. 2021. 104 p. (rus)

18. Krivoshein A.D., Andreev I.V. Investigation of air distribution processes in hybrid ventilation systems in residential buildings [Issledovanie protsessov raspredeleniya vozdukh v gibridnykh sistemakh ventilyatsii zhilykh zdaniy] Vestnik Of Siberian State Automobile and Road Academy. 2013. No 5 (33). Pp. 63–69. (rus)

19. Agakhanova K.M., Malyavina E.G., Levina Yu.N. Calculation of air exchange of flats of multi-storey residential building with hybrid ventilation in a transitional and warm period [Raschet vozdukhobmena kvartir mnogoetazhnogo zhilogo zdaniya pri gibridnoi ventilyatsii v perekhodnyi i teplyi period]. BST: Engineering Bulletin. 2019. No 6 (1018). Pp. 63–65. (rus)

20. Zhang H., Tao Y., Shi L. Solar chimney applications in buildings. Encyclopedia. 2021. Vol. 1. Pp. 409–422. DOI:10.3390/encyclopedia1020034

21. Xinyu Z., Jun Z., Menghao Q. Experimental and numerical studies of solar chimney for ventilation in low energy buildings. Procedia Engineering. 2017. Vol. 205. Pp. 1612–1619. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.294

22. Tongbai P., Chitsomboon T. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation // Journal of power and energy engineering. 2014. Vol. 2. Pp. 22–29. DOI: 10.4236/jpee.2014.26003

23. Lal S., Kaushik S. C., Bhargav P. K. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning. International Journal of Development and Sustainability. 2013. Vol. 2. Pp. 277–279.

24. Aeinehvand R., Darvish A., Baghaei Daeimeh A., Barati S., Jamali A., Malekpour Ravasjan V. Proposing alternative solutions to enhance natural ventilation rates in residential buildings in the Cfa Climate Zone of Rasht. Sustainability. 2021. Vol. 13. 679. DOI: 10.3390/su13020679

25. Naghman K., Yuehong S., Saffa B. Riffat. A review on wind driven ventilation techniques. Energy and Buildings. 2008. Vol. 40. Pp. 1586–1604. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.015

26. Zhang L., Tian L., Shen Q., Liu F., Li H., Dong Z., Cheng J., Liu H., Wan J. Study on the influence and optimization of the venturi effect on the natural ventilation of buildings in the Xichang area. Energies. 2021. Vol. 14. No. 5053. DOI: 10.3390/en14165053

27. van Hooff T., Blocken B., Aanen L., Bronsema B. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. Building and Environment. 2011. Vol. 46. Pp. 1797–1807. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.02.009.

Information about the authors

Abramkina, Daria V. Associate professor, PhD. E-mail: dabramkina@ya.ru. National research Moscow state university of civil engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received 28.11.2021

Для цитирования:

Абрамкина Д.В. Обоснование границ режимов работы систем гибридной вентиляции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 38–46. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-38-46

For citation:

Abramkina D.V. Justification of hybrid ventilation systems operating boundaries. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 38–46. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-38-46