

Возможности энергосбережения в системах с регулируемой естественной вентиляцией

Н. В. Шилкин, канд. техн. наук, профессор, МАрХИ

Н. А. Шонина, старший преподаватель, МАрХИ

Ю. В. Миллер, канд. техн. наук, НП «АВОК»

Многоэтажные жилые здания с естественной вентиляцией составляют значительную часть жилого фонда в городах нашей страны. Поэтому актуальны технические решения, позволяющие экономить энергию при эксплуатации систем регулируемой естественной вентиляции, тем более что такие устройства могут использоваться как в новом строительстве, так и при реконструкции или капитальном ремонте существующих зданий. Рассмотрим возможность снижения затрат энергии при регулировании вентиляционного воздухообмена по потребности за счет использования регулируемых приточных и вытяжных устройств.



В современных условиях с ростом теплозащитных характеристик ограждающих конструкций резервы снижения энергопотребления зданий за счет сокращения трансмиссионных теплопотерь становятся практически исчерпанными (во всяком случае, требуют тщательного технико-экономического обоснования). Расход теплоты на вентиляцию современных квартир соизмерим с трансмиссионными теплопотерями жилых зданий, а в ряде случаев превышает их [3]. Дальнейшее повышение энергоэффективности зданий может быть реализовано за счет повышения эффективности работы вентиляционных систем. Известное решение – утилизация теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного – применяется в системах механической вентиляции. Рассмотрим возможности энергосбережения для систем с естественным побуждением.

Проблема обеспечения притока

Значительную часть жилого фонда городов России составляют многоэтажные жилые здания, оборудованные системами водяного отопления и естественной вентиляции. При такой схеме организации вентиляции воздух поступает в помещения через неплотности наружных ограждающих конструкций и удаляется через вентиляционные каналы в помещениях кухонь, ванных комнат и санузлов. Побуждение движения воздуха происходит за счет гравитационного (за счет разности температур наружного и внутреннего воздуха и высоты вентиляционной шахты) и ветрового напора.

При всех достоинствах такой схемы организации вентиляции: простоте, низкой стоимости, практически полном отсутствии необходимости обслуживания – эти системы обладают рядом



недостатков. Это и неустойчивый воздушный режим квартиры из-за изменения температуры наружного воздуха, и зависимость гравитационного напора от высоты (в том числе зачастую фактически полное отсутствие вентиляционного воздухообмена в квартирах верхних этажей), и прекращение работы вентиляции при положительных температурах наружного воздуха (5–7 °С и выше).

В результате системы работают очень неустойчиво и не гарантируют нормативного воздухообмена; расход приточного воздуха может как быть существенно ниже санитарной нормы, так и значительно превышать необходимый, вызывая тем самым перерасход тепловой энергии на свой подогрев.

Так, проведенные Е. Г. Малявиной с сотрудниками исследования воздушного режима жилых зданий [6] показали, что в здании серии П-44, оборудованном приточными клапанами, при температуре наружного воздуха 5 °С вне зависимости от скорости ветра через клапаны поступает от 88 до 92 % удаляемого системой вентиляции воздуха на первом этаже и от 84 до 91 % на последнем этаже. Остальной воздух поступает в квартиры через окна, даже с сопротивлением воздухопроницанию $1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$ при разности давлений $\Delta P = 10 \text{ Па}$. Однако уже при температуре наружного воздуха $-3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже расходы удаляемого вентиляционной системой и приточного через клапаны воздуха превышают проектный воздухообмен квартиры.

Существенным является и то обстоятельство, что в современных условиях широкое распространение получили герметичные окна со стеклопакетами. Эти окна обладают высокими тепло- и шумозащитными характеристиками, однако практически не обеспечивают потребного притока воздуха. В результате вентиляция в квартирах практически не работает. Ухудшение качества микроклимата в квартирах приводит к тому, что жильцы открывают окна, обеспечивая избыточное проветривание и тем самым сводя к нулю весь эффект энергосбережения от утепления здания.

Поэтому совершенно необходимым представляется применение приточных устройств (клапанов), обеспечивающих и нормализующих необходимый приток воздуха в квартиру. Приточные устройства позволяют решить две задачи: во-первых, обеспечить необходимую норму расхода воздуха, исключив тем самым его перерасход при открывании окон для проветривания; во-вторых, исключить сверхнормативные расходы при низких температурах наружного воздуха.

Применение таких устройств регламентируется в том числе Рекомендациями Р НП «АВОК» 5.2.–20125¹ [9]. В этом же документе указывается, что использовать для притока воздуха форточки, фрамуги или открывающиеся створки окон допускается только в виде исключения.

Регулирование расхода воздуха

Дальнейшее снижение энергопотребления многоэтажных жилых зданий с естественной вентиляцией возможно за счет регулирования расхода воздуха по потребности, то есть при учете фактического режима использования помещения.

Как отмечалось в [3], потребность квартир в вентиляции, связанная с режимом их эксплуатации (приготовление пищи, стирка, переменное количество людей в течение суток и др.), характеризуется широким диапазоном необходимого воздухообмена, меняющегося по отдельным помещениям квартиры в течение суток. Минимальный воздухообмен в квартире должен обеспечить удаление из помещений вредных веществ, выделяемых строительными конструкциями, отделочными материалами, мебелью и т. п. (радон, фенолформальдегиды и др.). При этом потребная глубина регулирования воздухообмена в квартире в большинстве случаев находится в диапазоне 10–100 %.

Для автоматического регулирования расхода воздуха в качестве датчиков управления авторегулируемыми приточными клапанами могут использоваться датчики перепада давления, влажности внутреннего воздуха, освещенности, присутствия людей и т. д.

Гигрорегулируемая система вентиляции

Рассмотрим подробнее возможность снижения затрат энергии при использовании в качестве устройства управления приточных клапанов датчиков влажности внутреннего воздуха в помещениях, то есть при устройстве регулируемой по влажности (гигрорегулируемой) системы вентиляции, что является достаточно малозатратным и простым способом регулирования расхода воздуха.

Известно, что микроклимат помещений ухудшается при выделении в помещении вредных веществ, к которым относятся потоки тепловой энергии, влаги, газов и твердых механических частиц. В жилых помещениях основным источником вредности является человек, а в качестве основных вредных веществ, выделяемых человеком, обычно рассматриваются выделения теплоты, влаги и диоксида углерода (углекислого газа, CO₂). При этом все эти виды вредности выделяются совместно, то есть при нахождении человека в помещении: например, увеличивается концентрация CO₂, но одновременно с этим возрастает и влажность воздуха. Таким образом, возможно регулирование расхода воздуха только по какому-то одному виду вредных веществ. Здесь следует отметить, что, согласно последним зарубежным исследованиям, регулирование вентиляции в зависимости от концентрации CO₂ не всегда способно обеспечить требуемое качество микроклимата в помещениях [12].



В отличие от регулирования, например, по концентрации диоксида углерода, при гигрорегулируемости не требуется применения никаких дорогостоящих датчиков-газоанализаторов, сложных механических устройств с электропитанием и т. д. Расход приточного воздуха регулируется заслонкой, автоматически управляемой с помощью специального датчика-привода из полиамидной ткани по уровню относительной влажности внутреннего воздуха (по такому же принципу работает обычный гигрометр).

Регулирование по влажности позволяет уменьшить воздухообмен отдельного помещения или всей квартиры при уменьшении интенсивности эксплуатации данного помещения или квартиры, поскольку при отсутствии людей в помещении или снижении интенсивности их деятельности в помещение поступает меньшее количество воздуха и, следовательно, снижаются затраты тепловой энергии на подогрев этого воздуха.

Гигрорегулируемая вентиляция позволяет нормализовать расход воздуха в квартирах, расположенных на различных этажах многоэтажных жилых домов. Так, например, в зимний период при низких температурах наружного воздуха избыточный воздухообмен, возникший в квартирах нижних этажей, приведет к поступлению в помещение некоторого количества холодного и сухого наружного воздуха. В результате влажность воздуха в помещении понизится, что, в свою очередь, приведет к закрытию заслонки приточного клапана и уменьшению расхода воздуха.

Большее снижение затрат тепловой энергии на подогрев вентиляционного воздуха достигается при использовании совместно с авторегулируемыми приточными клапанами авторегулируемых же вытяжных решеток в помещениях, через которые организована вытяжка (кухня, туалет, ванная комната, совмещенный санузел, постирочная и т. д.). Необходимость регулирования расхода вытяжного воздуха в вытяжных вентиляционных решетках обоснована в [6]. В качестве вытяжных устройств в системах естественной вентиляции рекомендуется применять согласно [9] регулируемые решетки, а в качестве датчиков управления для вытяжных клапанов с автоматическим регулированием расхода воздуха могут использоваться датчики перепада давления, влажности внутреннего воздуха, освещенности, присутствия людей и т. д.

Оценка потенциала энергосбережения при использовании регулирования естественной вентиляции по потребности

Оценим потенциал снижения затрат тепловой энергии на подогрев приточного воздуха в случае использования автоматически регулируемой по уровню влажности системы вентиляции в многоэтажном жилом здании типовой серии П-44Т при климатических условиях Москвы.

Объект исследования

В качестве объекта исследования примем здание серии П-44 Т-1/17 Н1, 17 этажей (первый этаж нежилой), две секции, 128 квартир (четыре квартиры на этаже, из которых одна однокомнатная, две двухкомнатные и одна трехкомнатная). В базовом варианте здание обслуживается системами вентиляции с двусторонним присоединением спутников к стволу и нерегулируемыми вытяжными решетками. Во всех квартирах здания, независимо от их площади, установлены одинаковые системы вентиляции, поскольку даже в трехкомнатных квартирах воздухообмен определяется не нормой притока (3 м³/ч на 1 м² жилой площади),

а нормой вытяжки из кухни, ванной комнаты и туалета [6], что в сумме составляет 110 м³/ч, или 440 м³/ч для типового этажа.

Рассмотрим простейшую схему организации гигрорегулируемой вентиляции, когда в зависимости от влажности регулируется только приток воздуха. Расчет будем вести для четырех квартир типового этажа.

Приточные устройства

При использовании гигрорегулируемой вентиляции в качестве приточных устройств используются клапаны со следующими характеристиками:

- расход воздуха при $\Delta P = 10$ Па составляет 5–35 м³/ч в зависимости от влажности воздуха в помещении;
- шумопоглощение от 33 до 37 дБ (А).

Данное приточное устройство предназначено для монтажа на окнах жилых комнат. Допускается, в случае необходимости, установка клапана на кухню.

В рассматриваемом здании в соответствии с рекомендациями производителя в каждой комнате устанавливается по одному такому устройству, за исключением однокомнатной квартиры, где в жилой комнате установлено два таких устройства. В этом случае в трехкомнатной квартире всего установлено три клапана, которые в полностью открытом состоянии (такой режим работы назовем максимальным) обеспечивают нормативный воздухообмен в квартире 110 м³/ч.

В однокомнатной и обеих двухкомнатных квартирах установлено по два клапана, которые в полностью открытом состоянии обеспечивают воздухообмен из расчета 70 м³/ч, а дополнительные 40 м³/ч, необходимые для обеспечения требуемого воздухообмена, в этом случае поступают в результате инфильтрации через неплотности наружных ограждающих конструкций, за счет щелевого проветривания и т. д.

В закрытом состоянии (минимальный режим работы) через клапаны в трехкомнатную квартиру поступает 9 м³/ч, а в однокомнатную и двухкомнатные по 6 м³/ч приточного воздуха. Минимальный расход воздуха через клапан, находящийся в закрытом состоянии, необходим:

- во-первых, для обеспечения минимальной (фоновой) вентиляции, способствующей ассимиляции вредных веществ, так или иначе присутствующих в воздухе помещения, таких как радон, пыль и т. д.,
- во-вторых, для обеспечения работы самого клапана (предупреждение обмерзания).

Для расчета примем, что в этом случае во все квартиры, в том числе и в трехкомнатную, за счет инфильтрации и т. д. дополнительно поступает одинаковое количество приточного воздуха, равное количеству такового воздуха, поступающего в квартиры при полностью открытых клапанах, то есть 40 м³/ч. Дополнительное ограничение воздухообмена возможно при использовании гигрорегулируемых вытяжных решеток, как это было отмечено выше (именно такая схема – регулирование по уровню влажности как притока, так и вытяжки – рекомендована производителем оборудования).

Воздухообмен каждой квартиры рассматриваемого здания приведен в таблице.

Таблица

Воздухообмен в квартирах здания при использовании гигрорегулируемых приточных клапанов

Помещение	Максимальный режим работы			Минимальный режим работы		
	Приток через клапаны, м ³ /ч	Приток за счет инфильтрации и т.д., м ³ /ч	Суммарный приток, м ³ /ч	Приток через клапаны, м ³ /ч	Приток за счет инфильтрации и т.д., м ³ /ч	Суммарный приток, м ³ /ч
1-комнатная квартира (37,8 м ²)	70	40	110	6	40	46
2-комнатная квартира (51 м ²)	70	40	110	6	40	46
2-комнатная квартира (60 м ²)	70	40	110	6	40	46
3-комнатная квартира (75,8 м ²)	110	0	110	9	40	49
Итого на этаж	320	120	440	27	160	187

Для расчета требуется установить, в каком режиме будут находиться заслонки приточных устройств каждого клапана в течение всего отопительного периода, что возможно только при проведении натуральных испытаний в эксплуатируемом здании.

За рубежом подобные исследования были проведены, в частности, во Франции, в городе Нанжис [13]. В данном случае исследовалась работа системы гибридной гиргорегулируемой вентиляции, установленной в пяти относительно небольших пятиэтажных зданиях (всего 55 квартир). Мониторинг велся в течение 750 дней, в результате было получено около 750 миллионов значений таких параметров, как расход воздуха, положение заслонок приточных и вытяжных устройств, скорость вращения гибридных вентиляторов, температура наружного воздуха и воздуха в различных помещениях, скорость и направление ветра и т. д. К сожалению, использовать эти данные достаточно сложно из-за существенных различий в характеристиках рассматриваемых объектов и параметрах наружного климата.

В нашей стране была попытка реализации пилотного проекта гиргорегулируемой вентиляции в десятиэтажном здании серии П-46М в Москве [8], но по ряду причин этот проект не был доведен до конца; в частности, в уже построенном здании не удалось провести мониторинг энергопотребления и работы вентиляции. Поэтому получить точное значение времени, в течение которого в отопительный период клапаны будут находиться в полностью открытом, частично открытом и закрытом состоянии, не представляется возможным. Для оценочного расчета примем, что 50 % времени клапаны находятся в полностью открытом состоянии, обеспечивая максимальный режим работы системы вентиляции, а 50 % времени находятся в закрытом состоянии, обеспечивая минимальный режим работы системы вентиляции.

Расчетные формулы

Нумерация формулы в тексте	Формула/расчет
(1)	$Q_{\text{вент}} = 0,28 \times c_p \times \rho_n \times L_{\text{вент}} \times (t_v - t_n)$
(2)	$\rho_n = 353 / [273 + 0,5 \times (t_v + t_n)]$ Расчет: $353 / [273 + 0,5 \times (20 + (-3,6))] = 1,26 \text{ кг/м}^3$
Обозначения в формулах	
c_p – удельная теплоемкость воздуха, кДж / (кг • °С); $c_p = 1,005 \text{ кДж / (кг • °С)}$;	
ρ_n – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м ³ , вычисляемая по формуле:	
$L_{\text{вент}}$ – расчетный расход воздуха в квартире, м ³ /ч;	
t_v – средняя за отопительный период температура внутреннего воздуха в квартире, °С; для условий Москвы принимаем $t_v = 20 \text{ °С}$;	
t_n – расчетная температура наружного воздуха, °С; для условий Москвы принимаем как среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период: $t_n = -3,6 \text{ °С}$.	

Оценка потенциала энергосбережения

Согласно [9], расчетный расход тепловой энергии на вентиляцию $Q_{\text{вент}}$ определяется по формуле (1) (см. Формулы), тогда ρ_n согласно формуле (2) равен 1,26 кг/м³.

1. Расчетный расход тепловой энергии на вентиляцию для четырех квартир при постоянном воздухообмене $Q_{\text{вент.пост}}$ равен 3 681,8 Вт: $[0,28 \times 1,005 \times 1,26 \times 440 \times (20 - (-3,6))]$. За сутки отопительного периода это составляет 88,4 кВт•ч.

2. Расчетный расход тепловой энергии на вентиляцию для четырех квартир при регулируемом по влажности воздухообмене складывается из суммы расходов тепловой энергии при различных режимах работы вентиляции с учетом времени работы в данных режимах.

Расчетный расход тепловой энергии на вентиляцию при максимальном воздухообмене равен расчетному расходу тепловой энергии на вентиляцию при постоянном воздухообмене, т. е. $Q_{\text{вент.макс}} = 3 681,8 \text{ Вт}$.

Расчетный расход тепловой энергии на вентиляцию при минимальном воздухообмене $Q_{\text{вент.мин}}$ равен 1 564,7 Вт: $[0,28 \times 1,005 \times 1,26 \times 187 \times (20 - (-3,6))]$.

С учетом принятого для расчета режима работы затраты тепловой энергии на вентиляцию за сутки отопительного периода составляют 63,0 кВт•ч.

Таким образом, снижение затрат тепловой энергии на подогрев вентиляционного воздуха можно оценить в 28,7 %.

В работе [2] приводится следующая структура теплопотерь крупнопанельных жилых зданий типовых серий в 12, 14, 17 и 22 этажа:

- доля наружных стен – 29–30 %,
- светопрозрачных наружных ограждений – 25–26 %,
- пола первого этажа и потолка последнего – 4–5 %,
- остальные 40 % – расход тепла на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха в объеме, необходимом для вентиляции по санитарным нормам.

С учетом этого можно оценить снижение затрат тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоэтажного крупнопанельного современного здания в результате использования гигрорегулируемых приточных устройств в 12–17 %, что вполне согласуется с цифрами, приведенными в первом издании Рекомендаций [10], – 10–15 %. Еще большее снижение затрат тепловой энергии возможно при использовании в дополнение к регулируемому притоку и регулируемой вытяжки, как это было отмечено выше.

В зарубежной практике для оценки возможностей энергосбережения при учете фактического режима использования помещений применяются так называемые « типовые профили », учитывающие поведение жильцов и заполнение квартир многоэтажного жилого дома в зависимости от времени суток и дня недели (рабочие и выходные дни). Подробно эти возможности рассмотрены в [7].

Гибридная вентиляция

Проблема обеспечения нормативного воздухообмена в теплый период года может быть в какой-то мере решена за счет применения гибридной вентиляции: в холодный и переходный периоды года она работает как естественная, за счет гравитационного и ветрового напора, а в теплый период побуждение движения воздуха обеспечивается механическими устройствам [1]. Помимо термина « гибридная вентиляция » иногда используется термин « естественно-механическая вентиляция ».

Использование механического побуждения движения воздуха позволяет решить еще одну известную проблему, возникающую в многоэтажных зданиях с естественной вытяжной вентиляцией, – недостаточную вытяжку из квартир верхних этажей.

Достоинством таких систем является еще и то обстоятельство, что использование низконапорных вентиляторов позволяет применять такие решения в зданиях с относительно негерметичными воздуховодами, в том числе каналами-спутниками, то есть и в существующих зданиях без существенных переделок вентиляционной системы.

Основные технические решения рассмотрены в [1, 4, 5, 11].

Краткие выводы

- В современных зданиях с высокими теплозащитными характеристиками ограждающих конструкций резервы снижения энергопотребления зданий за счет сокращения трансмиссионных теплопотерь практически исчерпаны, расход теплоты на вентиляцию современных квартир соизмерим с трансмиссионными теплопотерями жилых зданий, а в ряде случаев превышает их. Поэтому дальнейшее повышение энергоэффективности зданий может быть реализовано за счет повышения эффективности работы вентиляционных систем.
- Возможности энергосбережения при гарантированном обеспечении высокого качества воздуха могут быть реализованы за счет применения приточных устройств (клапанов), нормализующих необходимый воздухообмен. Приточные устройства позволяют решить две задачи: во-первых, обеспечить необходимую норму расхода воздуха, исключив тем самым его перерасход при открывании окон для проветривания; во-вторых, исключить сверхнормативные расходы при низких температурах наружного воздуха.
- Дальнейшее снижение энергопотребления многоэтажных жилых зданий с естественной вентиляцией возможно за счет регулирования расхода воздуха по потребности, то есть при учете фактического режима использования помещения. Для автоматического регулирования расхода воздуха в качестве датчиков управления авторегулируемыми приточными клапанами могут использоваться датчики перепада давления, влажности внутреннего воздуха, освещенности, присутствия людей и т. д.
- Потенциальный эффект снижения затрат тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоэтажного крупнопанельного здания типовой серии П-44Т в результате использования гигрорегулируемых приточных устройств составляет 12–17 %.
- Проблема обеспечения нормативного воздухообмена в теплый период года может быть в какой-то мере решена использованием гибридной вентиляции.

Литература

1. Бобровицкий И. И., Шилкин Н. В. [Гибридная вентиляция в многоэтажных жилых зданиях](#) // АВОК. 2010. № 3.
2. Ливчак В. И. [Энергосбережение при строительстве и реконструкции жилых зданий в России](#) // Энергосбережение. 2001. № 5.
3. Ливчак И. Ф., Наумов А. Л. [Регулируемая вентиляция жилых многоэтажных зданий](#) // АВОК. 2004. № 5.
4. Малахов М. А. [Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве](#) // АВОК. 2003. № 3.
5. Малахов М. А. [Системы естественно-механической вентиляции в жилых зданиях с теплым чердаком](#) // АВОК. 2006. № 7.
6. Малявина Е. Г., Бирюков С. В., Дианов С. Н. [Воздушный режим жилых зданий. Учет влияния воздушного режима на работу системы вентиляции жилых зданий](#) // АВОК. 2003. № 6.
7. Миллер Ю. В. Исследование теплотребления здания в суточном и годовом циклах методом математического моделирования: диссертация кандидата технических наук. М. : НИИСФ РААСН, 2015.
8. Прижижецкий С. И., Жардинье Л. Эффективная система вентиляции жилых домов: совместный проект АЭРЭКО–МНИИТЭПа // Промышленное и гражданское строительство. 2001. № 5.
9. Р НП «АВОК» 5.2.–2012. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2012.
10. ТР АВОК-4-2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома. М. : АВОК-ПРЕСС, 2004.
11. Харитонов В. П. [Естественная вентиляция с побуждением](#) // АВОК. 2006. № 3.
12. Dougan D. S., Damiano L. Вентиляция, основанная на содержании CO₂ // АВОК. 2006. № 6.
13. Jardinier M. Demand controlled ventilation: conciliating indoor air quality and energy savings. The 5th International Conference of Cold Climate Heating, Ventilation and Air-Conditioning, Moscow, Russia, May 21-24, 2006 // Moscow, АВОК-Press, 2006.