

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.1:721.01

DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.2

**В.И. ВЕСНИН**

## ИНФИЛЬТРАЦИЯ ВОЗДУХА И ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ПОМЕЩЕНИЙ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЕ ПРОЁМЫ

AIR INFILTRATION AND ROOM HEAT LOSS THROUGH WINDOW OPENINGS

*Проведено исследование процесса охлаждения здания при отключённой системе отопления, работающей в прерывистом режиме. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость снижения температуры. Показано влияние инфильтрации холодного воздуха в помещение на процессы теплообмена. Уточнена методика аэродинамического расчёта естественной вентиляции зданий. Предложен способ определения давления внутри здания, учитывающий гидравлические потери воздуха, проходящего через ограждения путём инфильтрации. Проведены расчёты процесса охлаждения здания с учётом инфильтрации воздуха в помещения. Показано, что инфильтрация увеличивает градиент падения температуры на 0,4–1 °С в час. Проведено обобщение имеющихся материалов по сопротивлению теплопередаче через стеклопластиковые оконные конструкции. Сделаны практические предложения по снижению инфильтрации воздуха и тепловых потерь через световые проёмы здания.*

**Ключевые слова:** прерывистое отопление, естественная вентиляция, инфильтрация воздуха, аэродинамический расчёт, тепловые потери, стеклопластиковые конструкции окон

Прерывистое отопление предполагает понижение или выключение обогрева помещений на какой-то период суток. Оно применяется в целях энергосбережения и изначально предназначалось для производственных, административных и общественных зданий и сооружений. В этом случае имелась возможность осуществлять два режима теплоподдачи. В течение рабочего дня отопление должно обеспечивать необходимый тепловой режим помещений. В нерабочий период допускается понижение температуры помещений до уровня,

*The research of cooling processes of a building, when heating system is operating in discontinuous mode, is carried out. Factors affecting temperature decrease rate are analyzed. Influence of cold air infiltration on heat exchange processes is shown. Methods of aerodynamic calculations of natural ventilation are specified. Method of pressure determination in-building, taking into account infiltrative air hydraulic loss, is proposed. Cooling process with air infiltration is calculated. Infiltration increases clinograde by 0.4-1 °C per hour. Existing materials of heat transfer resistance through fiberglass windows constructions are compiled. Practical proposals for reducing of air infiltration and heat loss through openings are made.*

**Keywords:** intermittent heating, natural ventilation, air infiltration, aerodynamic calculations, heat loss, fiberglass constructions of windows

который определяется различными факторами. В производственных сухих помещениях возможно понижение температуры до 5 °С. Однако следует иметь в виду, что при таких температурах возможно выпадение из воздуха влаги, что бывает недопустимо. В таких случаях минимальная температура в помещениях должна быть выше точки росы.

Наглядно работа прерывистого отопления согласно [1] показана на рис.1.

Нерабочий период суток делится на две части: период охлаждения, когда система отопления

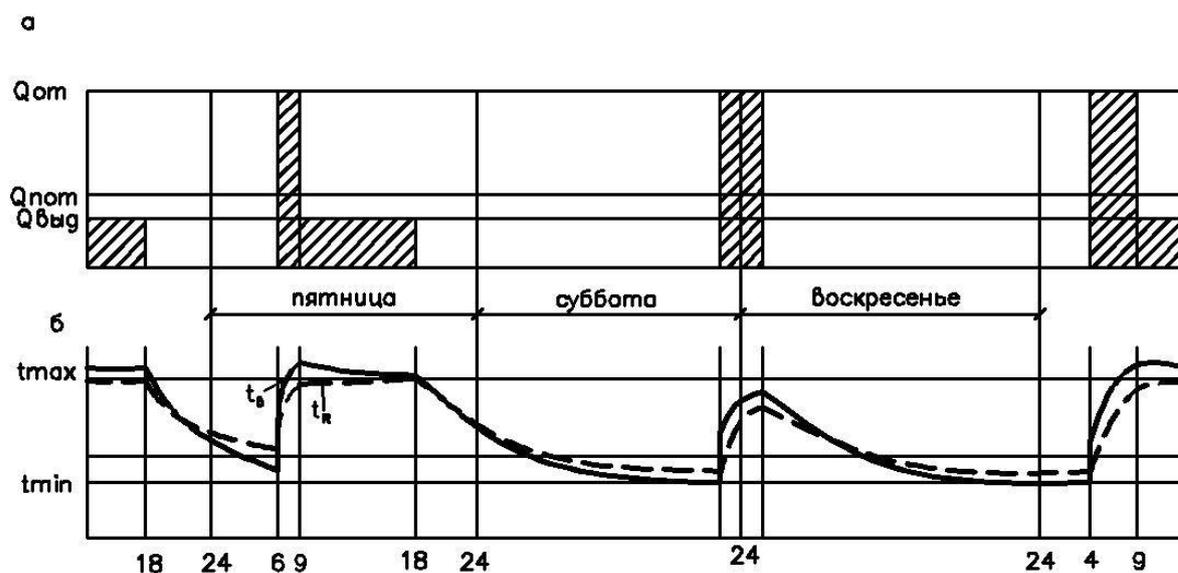


Рис.1. Циклограмма прерывистого отопления:

а – теплопоступления; б – температуры;  $Q_{от}$  – мощность отопления;  
 $Q_{пот}$  – теплопотери помещения;  $Q_{выд}$  – тепловыделения;  
 $t_o$  – температура воздуха в помещении;  $t_r$  – радиационная температура

отключена, и период нагрева помещения для его подготовки к рабочему дню.

Продолжительность режима нагрева зависит от мощности системы отопления. Очевидно, что в период нагрева помещения мощность системы отопления должна значительно превышать мощность системы непрерывного отопления. В период охлаждения помещения температура воздуха зависит от коэффициента теплоусвоения и среднего по поверхности всех ограждений коэффициента конвективного теплообмена помещения. Показатель теплоусвоения определяется по формуле

$$Y_{пом} = \sum Y_i \cdot A_i, \quad (1)$$

где  $Y_i$  – показатель теплоусвоения отдельных ограждений помещения;  $A_i$  – площадь соответствующих ограждений.

Показатель теплопоглощения помещения можно определить по выражению

$$P_{пом} = P_{opr} + P_{вен}. \quad (2)$$

Здесь  $P_{opr}$  и  $P_{вен}$  – показатели теплопоглощающей способности ограждения и вентиляции соответственно.

Теплопоглощение воздуха, вентилирующего помещение, в работах [1–3] рекомендуется рассчитывать по нормативам воздухообмена помещений.

Однако в расчётах прерывистого отопления теплопоглощение воздуха не учитывается, видимо, из предположения, что в процессе охлаждения помещения вентиляция отсутствует. Такое предположение допустимо для зданий с механической вентиляцией, но вряд ли может быть оправдано для зданий с естественной вентиляцией.

В работах по прерывистому отоплению советского времени рассматривались лишь нежилые здания. В настоящее время появились работы, касающиеся жилых зданий [4–15]. В основном это связано с появлением средств учёта теплопотребления отдельных зданий и даже отдельных квартир. Например, в работе [2] подробно рассмотрены вопросы теплопотребления на примере 9-этажного жилого дома и приведены экспериментальные результаты. Однако в расчётном разделе по тепловому режиму здания внутренние тепловыделения и потери на инфильтрацию не учитываются из-за их незначительности. При этом неучёт воздухообмена объясняется тем, что современные пластиковые окна практически не пропускают воздух.

Следует отметить, что отсутствие комплексного подхода к расчётам отопления и вентиляции характерно для многих работ. Даже в нормативных документах по отоплению и вентиляции имеются несоответствия. Очевидно, что в жилых домах перемены в вентиляции недопустимы, за исключением случаев, когда в домах не живут постоянно, напри-

мер, для загородных коттеджей или дачных домов. К тому же естественная вентиляция имеется всегда, вне зависимости от того, включено отопление или оно отсутствует. Современные пластиковые окна имеют системы микровентиляции, а помещения могут иметь стеновые вентиляционные клапаны для вентиляции.

Теплопотери на инфильтрацию зависят, как правило, от инфильтрации в помещение холодного наружного воздуха и его температуры. Воздух нагревается в помещении, а затем уходит по вентиляционным каналам, унося с собой полученное тепло.

Воздух в помещения поступает через ограждающие конструкции, имеющие пористые структуры, но основная его часть поступает через неплотности окон. Как показано в работе [3], количество воздуха, проходящего через массив стены, на порядок меньше, чем через оконные конструкции. Если для стен здания используются панели, то инфильтрация воздуха через стыковые соединения панелей в несколько раз выше, чем через массив стены. Однако инфильтрация через стыки панелей трудно поддается учету, так как она в основном зависит от качества строительных работ. В расчетах теплового баланса помещений обычно учитывают только воздухопроницаемость световых проёмов. Однако нормативная документация по вентиляции (СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование) предписывает учитывать все составляющие. Для этого используется следующее выражение:

$$G_i = 0,216 \cdot \sum \frac{A_i \cdot \Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \cdot G_n \left( \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 3456 \sum A_3 \cdot \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum l \cdot \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1}, \quad (3)$$

где  $A_1$  – площадь световых проёмов помещения,  $m^2$ ;  $R_u$  – сопротивление воздухопроницанию световых проёмов, принимаемое по СНиП II-3-79\*\*; $\Delta p_i$  – расчётный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на расчётном этаже;  $i$  – номер этажа;  $A_2$  – площадь других ограждающих конструкций;  $G_n$  – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, принимаемая по СНиП II-3-79\*\*; $\Delta p_1$  – расчётный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на первом этаже;  $A_3$  – площадь щелей, неплотностей и проёмов в наружных ограждающих конструкциях;  $l$  – длина стыков стеновых панелей.

Таким образом, в правой части уравнения (3) первое слагаемое суммы описывает инфильтрацию световых проёмов ( окон, балконных дверей, фонарей), второе – воздухопроницаемость стен, третье – поступление воздуха в помещение через щели, неплотности и проёмы в наружных ограждающих конструкциях, четвертое – воздухопроницаемость стыков стеновых панелей.

Выражение (3) хорошо описывает физику процесса инфильтрации воздуха через ограждающие конструкции, однако для расчётов по нему трудно получить достоверные исходные данные. На практике такой трудоёмкий расчет не проводится, так как в СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» он представлен как один из способов определения расхода инфильтрующегося воздуха при определении теплопотерь. Второй способ расчёта теплопотерь отличается тем, что в нём используется нормативный воздухообмен помещений. СНиП предписывает определять расход воздуха обоими способами, сравнить полученные результаты и большую из полученных величин расходов использовать для дальнейшего расчёта теплопотерь на инфильтрацию. Но поскольку существующие нормативы воздухообмена несколько завышены, расчёт вторым способом, в свою очередь, также даёт завышенные результаты.

Величина расчётного перепада давлений на наружной и внутренней сторонах ограждения может быть определена по формуле (4), в которой первый член правой части определяет гравитационное давление, а второй – ветровое давление.

$$\Delta p_i = g \cdot (H - h_i) \cdot (\rho_n - \rho_e) + 0,5 \rho_n \cdot v^2 \cdot (c_n - c_s) \cdot K_i - p_0, \quad (4)$$

Здесь  $g$  – ускорение свободного падения;  $H$  – высота устья вытяжной шахты от уровня земли;  $h_i$  – высота от уровня земли до центра окон  $i$ -го этажа;  $i$  – номер этажа;  $\rho_n, \rho_e$  – плотности наружного и внутреннего воздуха соответственно, определяемые по выражениям:

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_n}, \quad (5)$$

$$\rho_e = \frac{353}{273 + t_e}; \quad (6)$$

$t_n, t_e$  – температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно;  $v$  – скорость ветра;  $c_n, c_s$  – аэродинамические коэффициенты для наветренной и заветренной поверхности здания соответственно;  $K_i$  – коэффициент учета изменения динамического

давления ветра по высоте, определяемый по степени открытости местности;  $P_0$  – условно постоянное давление внутри здания.

Высоту  $h_i$  в некоторых источниках, например, в СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование», предписывается измерять до верха окон, балконных дверей, входных дверей, ворот проёмов и до середины вертикальных стыков стеновых панелей.

Ветровое давление следует рассчитывать для каждого помещения при самом неблагоприятном для него направлении ветров. При расчёте теплопотерь на инфильтрацию всего здания следует использовать самые неблагоприятные направления ветров для всего здания.

Наибольшую неопределённость имеет расчёт условно постоянного давления внутри здания. Данная величина должна быть получена путём аэродинамического расчёта с использованием уравнения баланса притока воздуха в помещение и его вытяжки. Однако во многих расчётах по естественной вентиляции эта величина не используется. Весь расчёт основывается лишь на гравитационном давлении, а целью расчёта является определение сечения вытяжных вентиляционных каналов. При аэродинамическом расчёте естественной вентиляции, если он ведётся с учётом ветрового давления, следует учитывать и разрежение, создаваемое дефлекторами, если они имеются.

Количество теплоты, потребной для нагрева воздуха, поступающего в помещение вследствие инфильтрации, определяется по формуле

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot c \cdot G \cdot (t_e - t_n) \cdot k, \quad (7)$$

где  $c$  – удельная теплоёмкость воздуха;  $G$  – массовый расход воздуха из-за инфильтрации;  $t_e$ ,  $t_n$  – температура внутреннего и наружного воздуха соответственно;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока, зависящий от степени герметичности окон.

В настоящей работе предложена методика и произведен расчёт процесса охлаждения помещения при отключении отопления с учётом инфильтрации воздуха без учёта ветрового давления и охлаждения воздуха в вентиляционных каналах.

В общепринятом аэродинамическом расчёте вентиляционных каналов принято приравнивать гидравлические потери к гравитационному давлению. На самом деле побудительной причиной вытяжки воздуха из помещения является разность давлений в помещении и на выходе из вытяжной шахты. Ана-

логично побудительной причиной инфильтрации может быть разность давлений наружного воздуха и давления в помещении, которое обозначим величиной  $p_e$ . Следовательно, гравитационное давление является суммой гидравлических потерь в ограждении и в вентиляционных каналах.

Гидравлические потери в вентиляционных каналах можно определить по формуле

$$\Delta p_{вент} = \zeta_{суст} \frac{G_i^2}{2g \cdot \rho^2 \cdot F_{np}^2}, \quad (8)$$

откуда

$$G_i = \rho \cdot F_{np} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_{вент} \cdot g}{\zeta_{суст}}}. \quad (9)$$

Здесь  $\Delta p_{вент} = p_a - p_e$ , где  $p_a$  – атмосферное давление на уровне выхода из вентиляционной шахты;  $\zeta_{суст}$  – коэффициент сопротивления системы вентиляции. Окончательно получим

$$G_i = \rho \cdot F_{np} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_a - p_e) \cdot g}{\zeta_{суст}}}. \quad (10)$$

Из уравнения неразрывности вытекает условие равенства расходов воздуха при инфильтрации и в вентиляционных каналах, откуда следует:

$$\begin{aligned} \rho \cdot F_{np} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_a - p_e) \cdot g}{\zeta_{суст}}} &= 0,216 \cdot \sum \frac{A_i \cdot (p_n - p_e)^{0,67}}{R_u} + \\ &+ \sum A_2 \cdot G_n \left( \frac{p_n - p_e}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 3456 \sum A_3 \cdot (p_n - p_e)^{0,5} + \\ &+ 0,5 \sum l \cdot \frac{(p_n - p_e)}{\Delta p_1}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $p_n$  – давление наружного воздуха на уровне этажа, на котором определяется инфильтрация.

Как видно из уравнения (11), оно содержит одно неизвестное, а именно  $p_e$ . Это давление зависит от температуры воздуха в помещении. При охлаждении помещения давление  $p_e$  возрастает, что вызывает уменьшение инфильтрации. Ввиду сложности уравнения оно решалось в численном виде совместно с уравнением теплового баланса.

Результаты расчёта показали, что при выключении отопления в домах с естественной вентиляцией инфильтрация воздуха повышает скорость падения температуры на величину от 0,4 до 1 °С в час.

Для снижения инфильтрации следует исключить тягу в вентиляционных каналах. Это может быть достигнуто путём перекрытия каналов заслонками. Такой способ столетиями применяется в печном отоплении и прекрасно себя оправдал.

При тепловизионном обследовании домов наглядно видны участки ограждений, на которых здание особенно сильно теряет тепло. К таким участкам в первую очередь относятся окна. По данным Челябинского завода «Евростиль», который изготавливает пластиковые окна и двери, теплотери через ограждающие конструкции распределяются следующим образом: стены ~ 30 %; кровля ~ 14 %; пол ~ 12 %; окна ~ 44 %.

В настоящее время требования к сопротивлению стен теплопередаче очень высокие, обеспечить которые с помощью традиционных строительных материалов невозможно. Например, согласно СП 50.1330.2012. Тепловая защита зданий; СНиП 23-02-2003, для Самарского региона требуемое сопротивление теплопередаче для ограждающих стен жилых домов составляет  $3,2 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  ( $k = 0,32 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ ). Если строить такую стену из полнотелого керамического кирпича с коэффициентом теплопроводности  $0,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$  или силикатного кирпича с коэффициентом теплопроводности  $0,8 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ , то толщина стены составит для керамического кирпича 2 м, а для силикатного – 2,6 м. В случае использования для тех же целей газосиликатных блоков, имеющих коэффициент теплопроводности  $0,14 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ , толщина стены будет равна 45 см. Однако следует отметить, что прочность газосиликатных материалов такова, что их нельзя использовать в качестве несущей стены. Поэтому такое распространение получило строительство зданий с монолитными железобетонными перекрытиями и несущими их колоннами. Стены между ними выполняют из материалов с хорошими теплоизоляционными свойствами. В настоящее время энергосберегающие технологии достигли больших успехов в создании строительных материалов, имеющих низкий коэффициент теплопроводности. К ним относятся газосиликатные, многопустотные и пенобетонные блоки, поризованная керамика и различные утеплители.

Что касается окон, то требуемое сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей до 1995 г. в жилых домах составляло  $0,45 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  ( $k = 2,22 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ ). Это требование могло быть выполнено путём двойного остекления оконных проёмов с использованием отдельных деревянных переплётов. Начиная с 2003 г. требования были повышены

и составляют величину теплосопротивления, близкую к  $0,6 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  ( $k = 1,67 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ ). Невыполнение этого требования может привести к отказу в выдаче разрешения на заселение и использование построенного здания. Выполнить такое требование нельзя даже путём тройного остекления в обычных деревянных раздельно-спаренных переплётах. Поэтому в настоящее время в основном применяется остекление стеклопакетами в алюминиевых, а чаще в пластиковых переплётах.

В качестве материала для пластиковых окон используют поливинилхлорид (ПВХ). Это давно известный искусственный материал, который достойно прошёл испытание временем – в течение почти двух веков. Впервые он был получен в 1835 г. французским химиком Анри Реньо. Достоинством ПВХ является его биологическая и химическая инертность и, что не менее важно, его дешевизна. Поливинилхлорид является термопластом, он имеет большой коэффициент линейного расширения, а на морозе становится хрупким.

Коэффициент сопротивления теплопередаче стеклопакетов меняется в широких пределах и зависит от вида газа, заполняющего камеры стеклопакета, расстояния между стёклами в камере, отражающих покрытий стёкол и от количества камер в пакете.

В настоящее время самым тёплособерегающим является пятикамерный оконный профиль компании LG Hausis L700, который имеет коэффициент теплопередачи  $0,91 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  с учётом установленного стального армирования. В России наибольшее распространение получили однокамерные или двухкамерные стеклопакеты. Однокамерные пакеты имеют сопротивление теплопередаче от  $0,34$  до  $0,86 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ ; двухкамерные – от  $0,46$  до  $1,73 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ .

Камеры стеклопакета могут быть заполнены осушенным воздухом или инертным газом, обычно аргоном или криптоном. Криптон является самым эффективным наполнителем. Сопротивление теплопередаче стеклопакетов, заполненных воздухом, имеет величины от  $0,46$  до  $0,5 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ . Если камеры заполнены криптоном, эти величины почти вдвое больше.

В двухкамерных стеклопакетах стандартные расстояния между стёклами составляют 10, 14 и 18 мм. С увеличением этого расстояния коэффициент сопротивления теплопередаче в камерах, заполненных воздухом и аргоном, возрастает на 15 – 40 %, а в камерах, заполненных криптоном, снижается на 3 – 5 %.

Существенно увеличивают сопротивление теплопередаче стеклопакетов стёкла со специальным серебряным отражающим покрытием, так называемые И-стёкла. Это покрытие свободно пропускает в помещение видимое коротковолновое солнечное излучение, но отражает около 90 % выходящего из помещения инфракрасного теплового длинноволнового излучения обратно в комнату. Например, двухкамерный стеклопакет с расстоянием между стёклами 18 мм, заполненный воздухом, имеет сопротивление теплопередаче, равное  $0,53 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ , если его стёкла не имеют покрытия;  $0,9 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  – если одно из его стёкол имеет покрытие;  $1,27 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  – если два его стекла имеют отражающее покрытие.

Следует отметить, что приведённые численные данные по сопротивлению теплопередаче относятся лишь к центральной части стеклопакета. Теплопередача через всю стеклопластиковую оконную конструкцию (СПК) сильно зависит от оконной рамы, в состав которой входит стальной армирующий профиль. Профиль предназначен для уменьшения деформации ПВХ конструкции и одновременно является мостиком холода между окружающей здание средой и помещением. Чем больше камер имеет стеклопакет, тем мощнее должен быть армирующий профиль. Таким образом, успехи в улучшении характеристик стеклопакетов нивелируются потерями оконной рамы. Например, в соответствии с протоколом испытаний, проведённых Каменской стекольной компанией, четырёхкамерной СПК с отражающим стеклом, сопротивление теплопередаче составило  $0,64 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ .

Таким образом, нормативное требование по сопротивлению теплопередаче окон отражает существующие возможности СПК. В настоящее время осуществляются попытки внедрения в производство иностранными производителями композитных армирующих профилей. Такие изделия стоят значительно дороже существующих.

Герметичность СПК весьма высока. Однако ПВХ имеет высокий коэффициент линейного расширения, и по этому показателю он проигрывает другим конструкционным материалам. Например, дерево вдоль волокон имеет коэффициент линейного расширения, равный  $(0,2-0,4)\cdot 10^{-5} 1/\text{°C}$ , алюминий –  $(0,9-1,2)\cdot 10^{-5} 1/\text{°C}$ , жёсткий ПВХ –  $(7-8)\cdot 10^{-5} 1/\text{°C}$ . Это приводит к тому, что длина оконного профиля ПВХ длиной 2 м при изменении температуры от плюс 20 до минус 40 °С уменьшается на 1 см, образуя щель между СПК и оконным проёмом.

Таким образом, в настоящее время самые лучшие оконные конструкции имеют сопротивление теплопередаче величиной в несколько раз меньше, чем стеновые конструкции. В связи с этим представляется интересным использование теплозащитных штор или жалюзи. Они могут быть прозрачными или не пропускать свет, но в любом случае они создают воздушную прослойку с окнами. Герметичная воздушная прослойка толщиной 20–30 см имеет сопротивление теплопередаче величиной  $0,19 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ . Конечно, шторы не образуют герметичную прослойку, скорее они похожи на вентилируемые фасады зданий. Представляется целесообразным учёт теплозащитных свойств штор и жалюзи аналогично тому, как это сейчас делается для вентилируемых фасадов.

**Выводы.** 1. Проведено исследование процесса охлаждения здания при отключённой системе отопления, работающей в прерывистом режиме. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость снижения температуры. Показано влияние инфильтрации холодного воздуха в помещение на процессы теплообмена.

2. Уточнена методика аэродинамического расчёта естественной вентиляции зданий. Предложен способ определения давления внутри здания, учитывающий гидравлические потери воздуха, проходящего через ограждения путём инфильтрации.

3. Проведены расчёты процесса охлаждения здания с учётом инфильтрации воздуха в помещении. Показано, что инфильтрация увеличивает градиент падения температуры на  $0,4 - 1 \text{ °C}$  в час.

4. Проведён анализ имеющихся материалов по стеклопластиковым оконным конструкциям.

5. Сделаны практические предложения по снижению инфильтрации воздуха и тепловых потерь через световые проёмы здания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: учебник для вузов по спец. ТГВ. М.: Стройиздат, 1991. 735 с.
2. Мишин М.А. Тепловой режим жилых зданий // Ползуновский вестник. 2011. №1. С.104–115.
3. Веснин В.И. Использование прерывистого отопления и вентиляции для энергосбережения // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Вып.6 / СГАСУ. Самара, 2011. С. 52–55.
4. Вытчиков Ю.С., Сидорова А.В. Организация воздухообмена в современных энергоэффективных зданиях // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. №4 (12). С. 87–94.

5. *Вытчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А.* Исследования теплофизических характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона // *Строительные материалы*. 2011. №8. С. 42–43.
6. *Вытчиков Ю.С., Чернёва А.В.* Экспериментальное исследование воздухопроницаемости беспесчаного керамзитобетона // *Строительные материалы*. 2013. №7. С.10–11.
7. *Гордеева Т.Е., Зеленцов Д.В.* Улучшение тепло-влажностного режима жилого помещения // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2013. №2 (10). С. 94–96.
8. *Зеленцов Д.В., Лукс А.С.* Отопление помещений на основе использования отопительных приборов на тепловых трубах // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / под ред. М.И. Балзанникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 315–317.*
9. Исследование нестационарных тепловых режимов отопления зданий и сооружений / Афанасьев В.В. [и др.] // *Вестник Чувашияского университета*. 2015. №1. С. 20–28.
10. *Куценко А.С., Коваленко С.В., Товажнянский В.И.* Анализ энергоэффективности прерывистого режима отопления зданий // *Ползуновский вестник*. 2014. №4. Т.1. С. 247–253.
11. *Вытчиков Ю.С., Посашков К.В.* Экспериментальное исследование воздухопроницаемости современных материалов // *Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Вып. 2 / СГАСУ. Самара, 2008. С. 75–81.*
12. *Вытчиков Ю.С., Вытчиков А.Ю.* Исследование влияния продольной и поперечной инфильтрации воздуха на теплозащитные характеристики наружных стен производственного здания, утепленного вентилируемым фасадом // *Повышение эффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Вып. 3 / СГАСУ. Самара, 2008. С. 44–49.*
13. *Вытчиков Ю. С., Чернёва А.В.* Исследование эффективности работы вентиляции в многоэтажном жилом здании // *Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплекса: Труды X международной научно-практической конференции*. Пенза, 2009. С. 367–371.
14. *Вытчиков Ю.С., Чернёва А.В.* Исследование влияния воздухопроницаемости строительных материалов на теплозащитные свойства ограждающих конструкций // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 68-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2011. С. 287–292.*
15. *Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е.* Методика тепло-технического расчёта вентканалов, расположенных в наружных стенах // *Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Вып. 6 / СГАСУ. Самара, 2011. С. 45–51.*

Об авторе:

**ВЕСНИН Владимир Иванович**

кандидат технических наук, доцент кафедры общей и прикладной физики и химии  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (846) 242-14-96

**VESNIN Vladimir I.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair  
Samara State University of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846) 242-14-96

Для цитирования: *Веснин В.И.* Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проёмы // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2016. №3(24). С. 10–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.2.

For citation: *Vesnina V.I.* Air infiltration and room heat loss through window openings // *Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture*. 2016. №3(24). Pp. 10-16. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.2.