

$$\begin{aligned}
 p &= Q_{\text{н}}^p B / (4Vf); \\
 p &= \frac{L_{\text{ак}} V_e^o B}{L_{\text{рм}} S_{\text{ак}}}; \\
 S_{\text{ак}} &= B(V_e^o - V_e^o) \frac{\rho_e L_{\text{рм}}}{\rho_e L_{\text{ак}} 10\sqrt{T}}; \\
 f &= \frac{20\sqrt{T}}{4L_{\text{рм}}}, a = \lambda f, \lambda = 4L_{\text{рм}}; \\
 \frac{4\delta f \rho_e a}{P} &\leq \frac{1}{\sqrt{1+A^2}}; \\
 \tau &= \frac{L_{\text{рм}} S_{\text{рТ}}}{V_e^o B T / 273} = \frac{\rho_e}{2} \int_0^{\delta} \frac{\partial(\delta)}{K_s}; \\
 S_{\text{рТ}} &= \frac{\tau V_e^o B}{L_{\text{рм}}}; \\
 L_{\text{ак}} &\approx 0,04\lambda; S_{\text{ак}} \approx 0,6S_{\text{рТ}}; L_{\text{рТ}} / d_{\text{рТ}} > 5.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Эти зависимости (7), как теоретические, так и экспериментальные, положены в основу создания многих устройств пульсирующего горения, предложенных лабораторией ПУЛЬСАР.

#### Заключение

- Несмотря на многолетнее изучение и использование метода пульсирующего горения топлив, требуются дальнейшие как теоретические, так и практические разработки с целью повышения эффективности применения топливных ресурсов в различных отраслях. В первую очередь необходимо снизить акустическое воздействие на окружающую среду малозатратными способами. Открывающиеся новые свойства и качества метода позволяют его рекомендовать не только в энергетических технологиях, но и

- при производстве различных материалов, обезвреживании различных объектов, в авиации и воздухоплавании.
- Природа, т.е. физика пульсирующего горения, аналогична действию высокофорсированных энергетических агрегатов, таких как ракетные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, поэтому при практическом применении следует использовать материаловедческие и конструкционные достижения передовых технологий.
  - Сложные огневые условия затрудняют вести экспериментальные разработки, поэтому проявляются чаще теоретические исследования метода. Однако нельзя ослаблять внимания продвижению промышленных и коммунальных аппаратов пульсирующего горения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Раушенбах, Б.В. Вибрационное горение / Б.В. Раушенбах. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 500 с.
- Proceedings of Symposium on Pulse Combustion Applications. Volume 1. Atlanta, Georgia, USA, 1982. GRI – 82/0009.2. gas Research Inst. U.S. Department of Energy.
- Попов, В.А. Технологическое пульсационное горение / В.А. Попов, В.С. Северянин, А.М. Авакумов, В.Я. Лысков, Я.М. Щелоков. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 318 с.
- Северянин, В.С. Горение частицы топлива в пульсирующем потоке / В.С. Северянин // Известия ВУЗов и энергообъединений СНГ. Энергетика. – 1987. – № 8. – С. 66–70.
- Северянин, В.С. Экспериментальные исследования эффективности обезвреживания газовых выбросов в пульсирующем потоке / В.С. Северянин, Д.В. Новосельцева // Вестник БрГТУ – 2014. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология – С. 79–86.
- Северянин, В.С. Котлы с пульсирующим горением / В.С. Северянин // Известия ВУЗов и энергообъединений СНГ. Энергетика. – 2001. – № 1. – С. 79–86.

Материал поступил в редакцию 04.02.15

#### SEVERYANIN V.S. Pulsating Combustion installations Nature

This article presents information about science – technical investigations in laboratory PULSAR on new burning of fuel – so called Pulsating combustion. Intensifications of burning and massheat transferring are described. Another peculiarities of pulsating combustion installations are listed, there is high quality of this method.

УДК 697.12

Новосельцев В.Г., Климович К.В.

## К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ ОТ ПОКВАРТИРНЫХ ГАЗОВЫХ КОТЛОВ

**Введение.** Достаточно сложно определить достоверные теплотери эксплуатируемого жилого дома с теплоснабжением от поквартирных газовых котлов. Объясняется это тем, что в этих зданиях, в отличие от зданий, получающих тепловую энергию от тепловой сети, отсутствуют счетчики теплоты, установленные в тепловых пунктах. Поквартирный учет тепла в этих зданиях отсутствует, а у потребителей установлены индивидуальные счетчики газа. Определение действительных тепловых потерь существующих жилых зданий с теплоснабжением от поквартирных газовых котлов – довольно сложная задача и возможна только по данным мониторинга, осуществляемого в течение продолжительного времени. Эта работа является весьма важной для изучения закономерностей работы

систем отопления и горячего водоснабжения таких домов, она позволит осуществить более всеобъемлющий подход при проектировании таких домов в будущем.

**Описание системы поквартирного теплоснабжения.** При поквартирном теплоснабжении в каждой квартире устанавливается настенный газовый двухконтурный котел, обеспечивающий и отопление, и горячее водоснабжение. Для этой цели используют котлы мощностью 24 кВт. Они бывают с открытой (воздух для поддержания процесса горения поступает из помещения, в котором расположен котел) или закрытой камерой сгорания (подвод воздуха для горения и отвод продуктов сгорания осуществляется газоплотными воздухо-

Новосельцев Владимир Геннадьевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Климович Кирилл Владимирович, студент группы ТВ-5 факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

водами, сообщающимися с атмосферой и не связанными с воздушным пространством квартиры). В многоэтажных зданиях используют котлы с закрытой камерой сгорания, в одноэтажных – любые.

В индивидуальных жилых домах возможно применение одноконтурных (котлы для отопления) или двухконтурных (котлы для отопления и горячего водоснабжения) как настенных, так и напольных теплогенераторов на газовом, жидком и твердом топливе. Учитывая стоимость и удобство использования, чаще всего применяют газовые котлы. Настенные котлы наиболее широко распространены. Они оборудованы автоматикой, регуляторами, циркуляционным насосом, предохранительным клапаном, расширительным баком, воздухоотводчиком, то есть представляют собой мини-котельную.

По способу приготовления воды для горячего водоснабжения газовые котлы бывают одноконтурные с бойлером и двухконтурные проточные с битермическим или пластинчатым теплообменником.

Применение настенного двухконтурного котла с проточным теплообменником является самым простым и дешевым решением для автономного теплоснабжения.

**Определение реального коэффициента полезного действия газового котла.** Используя показания установленных у потребителей (в каждой квартире) индивидуальных счетчиков газа, за определенный промежуток времени можно определить тепловую мощность системы отопления за этот период и количество использованной системой отопления теплоты, однако здесь присутствует следующая проблема. Коэффициент полезного действия (КПД) газового котла по паспортным данным – это максимальное значение в равномерном рабочем режиме, и оно будет отличаться в меньшую сторону от реального КПД в рабочих условиях. Действительный КПД котла при работе в течение достаточно долгого промежутка времени в аналогичной системе отопления необходимо определять по данным исследований.

В настоящей работе в качестве исследуемого объекта для определения КПД котла использован индивидуальный жилой дом площадью 95 м<sup>2</sup>, в котором установлен газовый настенный котел АОГВ-24 ОП с паспортным КПД 91%. Дом оборудован системой водяного отопления с отопительными приборами – панельными радиаторами. Состав семьи – 4 человека. В доме для проведения исследований при монтаже системы водяного отопления установлен ультразвуковой счетчик теплоты Струмень ТС-07. Исследования проводились в течение 2014 и в начале 2015 года путем одновременной фиксации показаний счетчика теплоты и счетчика газа один раз в месяц в течение отопительного периода. В течение летнего периода, когда система отопления не функционирует, фиксировались показания счетчика газа для определения среднего расхода газа на нужды горячего водоснабжения. Этот расход составил 48 м<sup>3</sup>/месяц и вычитался из ежемесячных показаний счетчика газа для определения объема газа, истраченного для подогрева воды в системе отопления.

Количество теплоты, полученное системой отопления от газового котла, определяется по выражению:

$$Q = Q_H^p \cdot B \cdot 1,16 \cdot \eta, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $Q_H^p$  – низшая рабочая теплота сгорания природного газа принятая по данным, предоставленным УП «Брестоблгаз», и составляющая 7600 ккал/м<sup>3</sup>;

$B$  – объем газа, истраченного домохозяйством за месяц для подогрева воды в системе отопления, м<sup>3</sup>;

$\eta$  – КПД котла, %.

Из выражения (1) КПД котла равен:

$$\eta = \frac{Q}{1,16 \cdot Q_H^p \cdot B}, \% \quad (2)$$

На основании исследований и обработки данных получены следующие результаты:

Таблица 1. Фактический КПД газового котла

Месяц года	КПД котла, %
Октябрь 2014	84
Ноябрь 2014	83
Декабрь 2014	85
Январь 2015	82
Февраль 2015	81

Средний КПД котла составил 83%, что меньше на 8% по сравнению с паспортными данными.

**Определение реальных тепловых потерь квартиры многоквартирного жилого дома.** Для определения фактических тепловых потерь жилого дома в качестве исследуемого объекта использована 3-комнатная квартира общей площадью 77 м<sup>2</sup> многоквартирного жилого дома, расположенного по адресу г. Брест, ул. Мошенского, д.100а. В квартире установлен газовый настенный котел АОГВ-24 ЗП с паспортным КПД 93%. Квартира оборудована системой водяного отопления с отопительными приборами – алюминиевыми радиаторами. Состав семьи – 4 человека. Исследования проводились с сентября 2013 по сентябрь 2014 года путем фиксации показаний счетчика газа один раз в сутки в течение отопительного периода. В течение летнего периода, когда система отопления не функционирует, фиксировались показания счетчика газа для определения среднего расхода газа на нужды горячего водоснабжения. Этот расход составил в среднем 2,07 м<sup>3</sup>/сутки и вычитался из ежемесячных показаний счетчика газа для определения объема газа, истраченного для подогрева воды в системе отопления.

Таблица 2. Расход газа на отопление по месяцам

Месяц	Количество газа, затраченного на отопление в месяц, м <sup>3</sup>
Сентябрь 2013	10,7
Октябрь 2013	58,5
Ноябрь 2013	95,8
Декабрь 2013	151,3
Январь 2014	205,5
Февраль 2014	130,6
Март 2014	84,7
Апрель 2014	65,4
Май 2014	15,2
Всего	817,7

Отопительный период по полученным данным составил 228 суток. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период по данным наблюдений составила +4,9°C. Средний расход теплоты на ГВС в сутки 2,07 м<sup>3</sup>.

По результатам расчетов получено среднее значение расхода газа на отопление в месяц, которое составляет 90,9 м<sup>3</sup> за отопительный период с учетом сентября и мая и 113,1 м<sup>3</sup> за отопительный период без учета сентября и мая (нормативный отопительный период). Для определения удельного расхода тепловой энергии на отопление КПД газового котла принят 83+2=85%, так как в квартире установлен котел марки АОГВ-24 ЗП с паспортным КПД 93%, что на 2% больше паспортного КПД котла АОГВ-24 ОП, рассмотренного в вышеприведенных исследованиях.

Удельный расход тепловой энергии на отопление на основании проведенных расчетов составил 79,7 кВт·ч/м<sup>2</sup> за отопительный сезон.

**Сравнение реальных и проектных тепловых потерь квартиры многоквартирного жилого дома.** Проектные теплопотери квартиры по данным организации - проектировщика составляют 2560 Вт (температурный режим +18°C в квартире/ -21°C на улице). Для пересчета проектных теплопотерь при фактической средней температуре наружного воздуха за отопительный сезон обработаны данные по ежедневным температурам за рассматриваемый период – средняя температура наружного воздуха составила +4,9°C. В пересчете на

реальный температурный режим получаем (+21°C в квартире/ +4,9°C на улице) теплопотери 1060 Вт. Средние теплопотери за отопительный период 1120 Вт, что не значительно отличается от проектного значения. Максимальные теплопотери в самые холодные сутки составляют 4000 Вт (средние за сутки).

#### Заключение

1. Действительный КПД двухконтурного газового котла в среднем составляет по данным исследований 83%, что меньше на 8% по сравнению с паспортными данными. Это необходимо учитывать при определении расходов теплоты на отопление и горячее водоснабжение зданий.
2. Реальные тепловые потери квартиры жилого дома не значительно отличаются от проектного значения, что говорит о соответствии термического сопротивления наружных ограждающих конструкций проектным значениям.
3. При определении тепловых потерь жилых многоквартирных домов с индивидуальными газовыми котлами целесообразно в расчетах использовать температуру внутреннего воздуха в помещениях на уровне теплового комфорта человека в пределах 20-22°C, так как

именно такие температуры, как правило, поддерживают жильцы в квартирах при таком способе теплоснабжения.

4. В соответствии с п. 4.1 изменений № 4 к [1] удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий следует определять в соответствии с [2]. Для пятиэтажных жилых домов он составляет 43 кВт·ч/м<sup>2</sup> для климатических условий Брестской области (таблица 2 изменений № 2 к [2], утвержденные с 13 января 2015 года). Фактический удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию в рассматриваемом здании (принимая для всех квартир аналогичный расход газа, как в рассматриваемой квартире) составляет 79,7 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что значительно (почти в 2 раза) превышает нормативное значение. Таким образом, рассматриваемый дом 2010 года постройки по реальному удельному расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию соответствует только классу энергоэффективности E (низкий).

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. – Минск, 2004.
2. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения: ТКП 45-2.04-196-2010 – Минск, 2010.

Материал поступил в редакцию 06.04.15

#### NOVOSELTSEV V.G., KLIMOVICH K.V. To the question about the definition of the actual heat loss of existing residential buildings with heating from individual gas boilers

In the article the questions determine the actual efficiency combi gas boilers and heat losses of multi-storey residential buildings with heating from boilers.

УДК 699.85

Черноиван В.Н., Новосельцев В.Г., Черноиван Н.В.

## К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНЫХ СТЕН ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

**Введение.** Согласно исследованиям [1, 2] структура потребляемой тепловой энергии в жилых зданиях распределяется следующим образом:

- 50% приходится на горячее водоснабжение;
- 25% расходуется на воздухообмен;
- 12,5% тепловые потери через окна;
- 12,5% тепловые потери через теплозащитную оболочку (наружные стены и покрытие).

Как показывает практика, затраты тепловой энергии на создание комфортных условий (горячее водоснабжение, вентиляция), составляющие 75% от потребляемой тепловой энергии в жилых зданиях, определяются условиями эксплуатации зданий, т.е. человеческим фактором.

Учитывая это обстоятельство, можно сделать вывод, что реальными резервами повышения энергетической эффективности жилых зданий, которые можно реализовать на практике, т.е. в процессе проектирования и возведения жилых зданий, являются снижение тепловых потерь через окна и ограждающие конструкции.

Анализ энергетической эффективности остекления оконных проемов показал, что в наиболее распространенных на сегодня двухкамерных стеклопакетах сопротивление теплопередаче составляет 0,53...0,64 м<sup>2</sup> °С/Вт. Учитывая, что проемность наружных стен жилых зданий составляет от 30 до 35%, очевидно, что повышение сопротивления теплопередаче окон (стеклопакетов) позволяет существенно повысить тепловую защиту зданий в целом. Однако сложность и материалоемкость конструкции энергосберегающих окон (двухкамерные стеклопакеты с двумя i-стеклами и заполнением

аргоном и криптоном) привели к значительному увеличению их собственной массы и, как следствие, к существенному снижению срока их эксплуатации (износ элементов – «открывания-закрывания»). Высокая стоимость двухкамерных стеклопакетов при достаточно малом гарантийном сроке их эксплуатации, привели к отсутствию спроса на окна с высоким сопротивлением теплопередаче.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что сегодня основным направлением, позволяющим обеспечить повышение энергетической эксплуатационной эффективности жилых зданий, является уменьшение тепловых потерь через ограждающие конструкции, и в первую очередь через стены.

**Оценка эксплуатационной эффективности утепленного стенового ограждения зданий и сооружений.** Энергетическая эксплуатационная эффективность ограждающих конструкций зданий и сооружений, как правило, оценивается сопротивлением теплопередаче. Считается – чем оно больше, тем теплозащитная оболочка эффективней. Очевидно, исходя из этого, с 2009 года [3] нормативное сопротивление теплопередаче ( $R_{т. норм.}$ ) при строительстве, реконструкции и модернизации жилых зданий для всех областей Республики Беларусь увеличено для стен по сравнению с установленными ранее [4] с 2,0 м<sup>2</sup> °С/Вт до 3,2 м<sup>2</sup> °С/Вт.

На практике выполнение требований норм [3] было реализовано за счет увеличения толщины плитного утеплителя для ранее разработанных конструктивных решений утепленных стен, что привело к удорожанию возводимых жилых зданий в целом. Кроме того, для

Черноиван Вячеслав Николаевич, к.т.н., профессор кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Черноиван Николай Вячеславович, к.т.н., доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.