

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Г. Новосельцев

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»,
г. Брест, РБ, vgnovoseltsev@yandex.ru

The results of the study of mechanical ventilation with heat recovery energy-efficient residential houses of the Brest region - is presented in the paper.

В Брестской области в настоящее время построено четыре энергоэффективных жилых дома, в которых запроектированы системы механической вентиляции с рекуперацией теплоты: один в г. Малорите, два других в г. Пинске и один в г. Дрогичине. В этих домах применены механическая система вентиляции с утилизаторами теплоты, система отопления с газовым двухконтурным котлом для каждой квартиры. В 2014-2015 годах автор проводил мониторинг функционирования этих систем. Результаты исследования системы механической вентиляции приведены в этой статье.

Описание устройства и функционирования системы механической вентиляции энергоэффективных домов № 34 по ул. Юной (г. Пинск) и № 2 по ул. Несенюка (г. Малорита) (поподъездная рекуперация).

Запроектирована централизованная приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением и утилизацией тепла.

Схема системы вентиляции предполагает установку приточно-вытяжного агрегата на каждую секцию жилого дома (в доме 2 секции). Агрегаты устанавливаются на чердаке в венткамерах. Свежий приточный воздух подогревается в теплообменнике-утилизаторе теплом удаляемого воздуха. Для догрева воздуха до необходимой температуры служит встроенный электронагреватель. От установки по системе воздухопроводов воздух поступает в жилые помещения и кухни квартир. Для перетока воздуха из жилых комнат в прихожую, коридоры, кухню, санузел и ванную в дверях этих помещений устанавливаются переточные решетки. Удаление воздуха предусматривается из кухонь – 90 м³/час, из ванн – 25 м³/час. Для удаления воздуха из санузлов (25 м³/час) устанавливаются канальные вентиляторы. Для очистки кухонного воздуха устанавливается электрический воздухоочиститель, а также на воздуховоде решетка с фильтром. В случае когда механическая вентиляция не будет работать, клапан с электроприводом откроет естественный вытяжной канал. В ванной также предусмотрен канал для естественной вытяжки с установленной на нем решеткой с ручным регулированием живого сечения. По квартире воздухопроводы прокладываются под подвесным потолком. Раздача воздуха осуществляется потолочными диффузорами.

В результате исследования системы механической вентиляции энергоэффективных домов установлено следующее:

– система механической вентиляции не функционирует, с момента эксплуатации дома включалась всего несколько раз в № 34 по ул. Юной (г. Пинск) и один раз в доме по ул. Несенюка (г. Малорита). У жильцов отсутствует мотивация для ее долговременного включения (для получения качественных результатов необходимо функционирование системы как минимум месяц) и проведения обследования, поэтому был проведен только визуальный осмотр вентиляционной камеры, который показал, что установленное в ней оборудование соответствует проекту и находится в рабочем состоянии;

- в результате исследования системы вентиляции квартир установлено, что в некоторых квартирах (до 6%) демонтированы клапаны с электроприводом на вентиляционных решетках и вентиляционные отверстия полностью заделаны в результате ремонта;
- по результатам обследования и замеров скоростей движения воздуха установлено, что во многих каналах естественной вентиляции присутствует обратная тяга (опрокидывание вентиляции). Эту проблему указывают и 36% жильцов (данные анкетирования).

Описание устройства и функционирования системы механической вентиляции энергоэффективного дома № 36 по ул. Юной (г. Пинск) (поквартирная рекуперация).

Запроектирована приточно-вытяжная вентиляция с утилизацией тепла. Схема системы вентиляции предполагает размещение вентиляционного агрегата АВТУ-150 в квартире, в подсобном помещении. Свежий приточный воздух по системе воздуховодов, проложенных под подвесным потолком, через диффузоры, подается в жилые комнаты и кухню квартиры. Удаление воздуха предусматривается из кухни – 90 м³/час, ванных и туалетов – 25 м³/час. Воздух из жилых помещений поступает в прихожую, коридоры и туалетные комнаты через переточные решетки, установленные в дверях помещений. При включении механической вентиляции естественный вытяжной канал в кухне закрывается автоматическим запорным клапаном с электроприводом. Воздух в кухнях очищается электрическим воздухоочистителем и через съемную потолочную решетку с фильтром РШ-1 (400x100). В туалетной комнате установлен канальный вентилятор Вентс 125К, который срабатывает при включении света.

В результате исследования системы механической вентиляции энергоэффективного дома установлено следующее:

- по данным исследования и анкетирования систему механической вентиляции эксплуатируют всего 4 квартиры, причем только одна из них (квартира №1) - регулярно. В 4 квартирах установки рекуперации тепла вообще демонтированы. Причины неиспользования системы механической вентиляции показаны на рисунке 1;

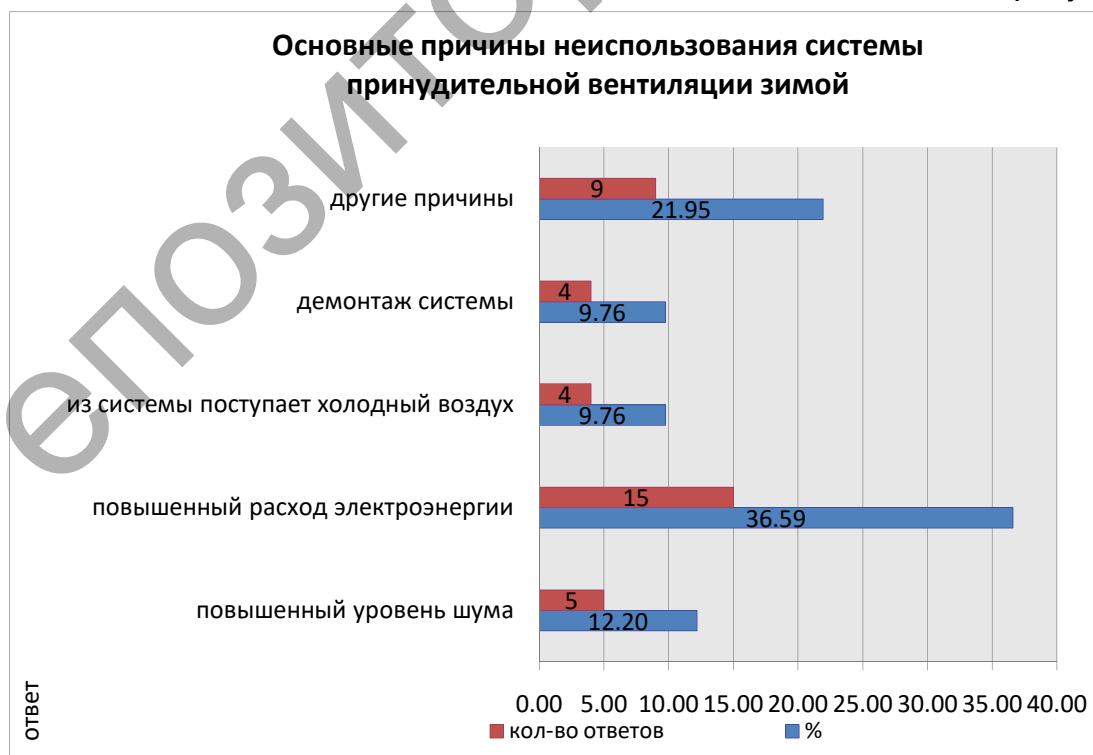
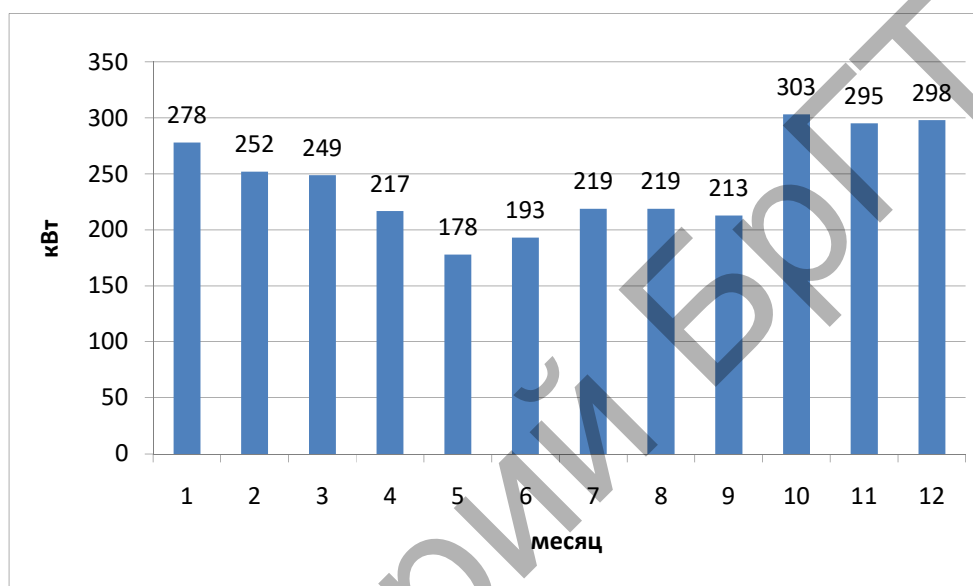


Рисунок 1 – Основные причины не использования системы механической вентиляции

– установлено, что в квартире 1 в среднем поддерживаемая температура внутреннего воздуха составляет 22–23⁰С (на момент исследования 22,7⁰С при влажности воздуха 38,8%), а система механической вентиляции используется регулярно только в ночное время, в течение дня при необходимости выполняется проветривание за счет открывания окон.

Для анализа работы системы механической вентиляции квартиры № 1 дома № 36 по ул. Юной (г. Пинск) (поквартирная рекуперация) построены диаграммы, иллюстрирующие потребление газа и электроэнергии по месяцам года (рисунок 2, 3).

2013



2014

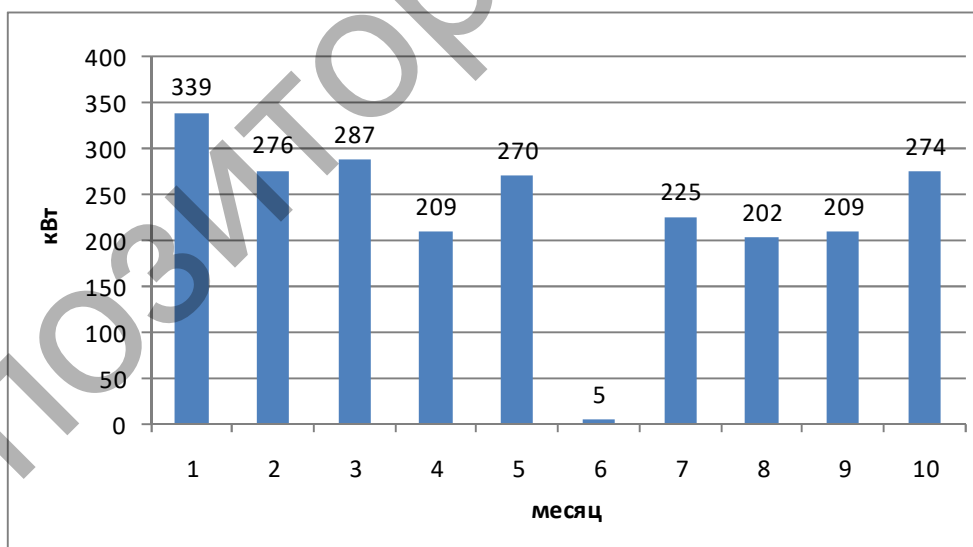
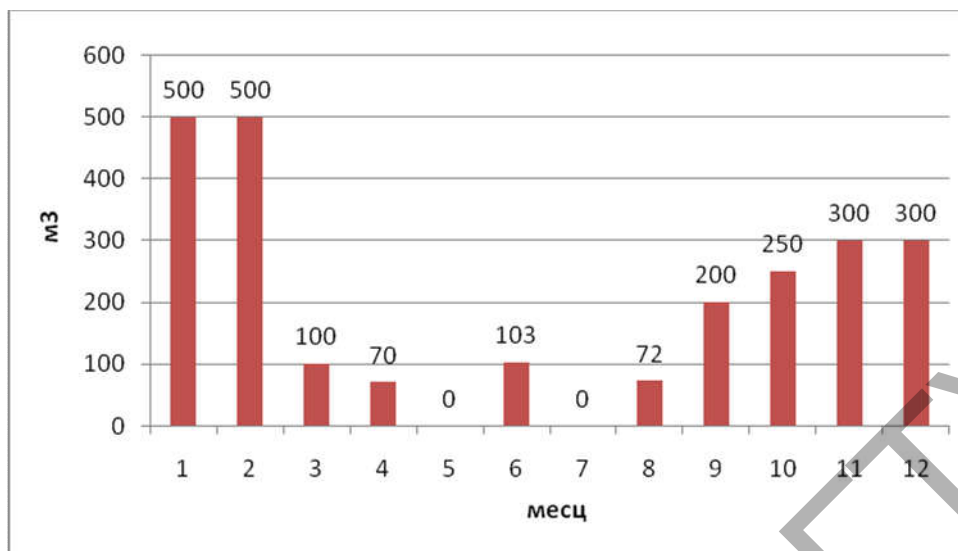


Рисунок 2 – Помесячные расходы электроэнергии квартиры № 1 дома № 36

Следует отметить, что среднее потребление электроэнергии в квартире №1 – самое большое из всех квартир в доме (243 кВт·ч при среднем потреблении электроэнергии квартирами 156 кВт·ч в 2013 году, 230 кВт·ч при среднем потреблении электроэнергии квартирами 153 кВт·ч в 2014 году).

Среднее потребление газа в квартире № 1 – одно из самых больших из всех квартир в доме (258 м³ при среднем потреблении газа квартирами 142м³ в 2013 году, 172 м³ при среднем потреблении газа квартирами 110м³ в 2014 году).

2013



2014

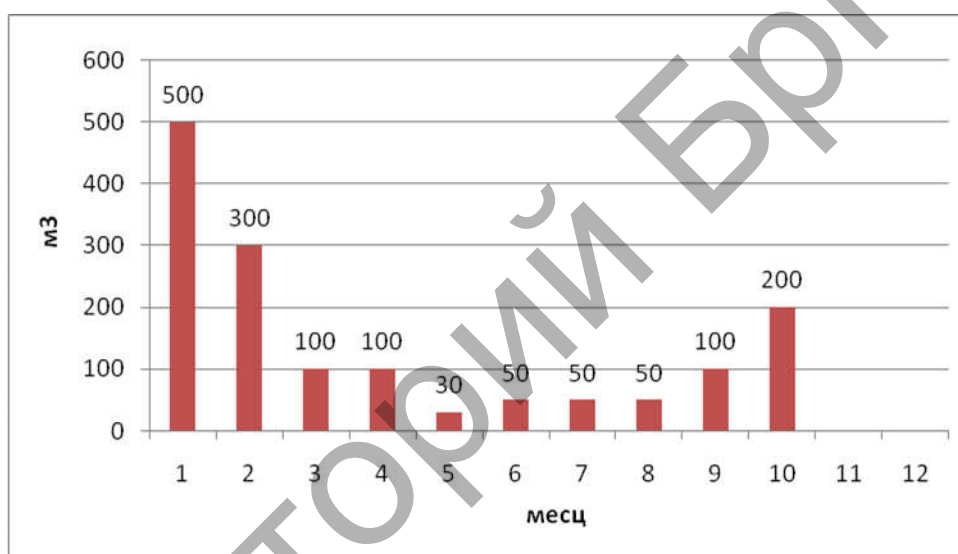


Рисунок 3 – Помесячные расходы газа квартиры № 1 дома № 36

На основании полученных данных по квартире №1 отсутствует возможность выполнить сравнение потребления газа в квартире с действующей теплоутилизационной установкой и в квартире без нее и сделать объективные выводы, так как сравнительный анализ возможен только для квартир, имеющих одинаковый воздухообмен, а в квартирах без применения механической вентиляции он, как правило, ниже. Однако можно сделать вывод о том, что при регулярном применении системы механической вентиляции довольно значительно возрастает расход потребляемой квартирой электроэнергии, что приводит к неиспользованию жильцами системы механической вентиляции.

Таким образом, система механической вентиляции энергоэффективных домов находится, в основном, в рабочем состоянии, но не функционирует из-за отсутствия заинтересованности жильцов в ее работе, в основном, по причине большого расхода потребляемой установками теплоутилизации электроэнергии.

Экспериментальные исследования по определению коэффициента эффективности утилизации тепла теплообменника-утилизатора.

Основным элементом систем механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха с утилизацией тепла является теплообменник-теплоутилизатор теплоты, содержащийся в удаляемом воздухе. Эти системы могут оснащаться теплообменниками-теплоутилизаторами нескольких типов:

- рекуперативными – на базе пластинчатых воздухо-воздушных теплообменников;
- регенеративными – с вращающейся теплоаккумулирующей насадкой;
- с промежуточным теплоносителем с теплообменниками «жидкость – воздух»;
- на базе тепловых трубок.

По своему исполнению в многоэтажных жилых домах теплоутилизаторы могут быть центральными на весь дом (или группу квартир) и индивидуальными (поквартирными).

Тип теплообменника-теплоутилизатора для применения в системах вентиляции определяется в каждом конкретном случае в зависимости от характеристик утилизируемой воздушной среды.

При работе теплообменник-утилизатор позволяет до 85% тепла удаляемого воздуха передать приточному воздуху, что существенно снижает затраты тепловой или электрической энергии в системах приточно-вытяжной вентиляции. Эффективность теплоутилизации зависит от типа применяемого теплоутилизатора.

Эффективность теплоутилизаторов различных типов по известным данным следующая:

- пластинчатый рекуперативный теплообменник-теплоутилизатор – до 75%;
- вращающийся регенеративный теплообменник-теплоутилизатор – до 85%;
- теплообменник-теплоутилизатор на базе тепловых трубок – до 65%;
- теплообменник-теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем – до 85% [1,2].

В рассматриваемом энергоэффективном жилом доме установлены агрегаты вентиляционные теплоутилизационные, укомплектованные теплообменниками-утилизаторами на базе тепловых трубок АВТУ-150 в каждой квартире (всего 40 шт).

Агрегаты с теплообменниками-теплоутилизаторами на базе тепловых трубок могут применяться для утилизации тепла, содержащегося в удаляемом системами вентиляции воздухе жилых, административных и общественных зданий.

Принцип работы тепловой трубки показан на рисунке 4 [3].

Тепловая трубка представляет собой герметичный металлический сосуд из алюминия или меди с наружным алюминиевым оребрением. Наружное оребрение предназначено для увеличения коэффициента теплопередачи воздуху. Внутри трубки заправлен хладагент. Теплый воздух омывает оребрение тепловой трубки и приводит к испарению содержащегося в ней фреона за счет передачи тепла. Фреон переходит в газообразную фазу и за счет конвекции поднимается в верхнюю зону трубки, которая омывается холодным воздухом. При этом фреон конденсируется, и тепло, образующееся в процессе конденсации, передается холодному воздуху, нагревая его. Конденсат фреона по внутренним стенкам трубки стекает в нижнюю зону, где снова происходит его испарение.

этом фреон конденсируется, и тепло, образующееся в процессе конденсации, передается холодному воздуху, нагревая его. Конденсат фреона по внутренним стенкам трубки стекает в нижнюю зону, где снова происходит его испарение.

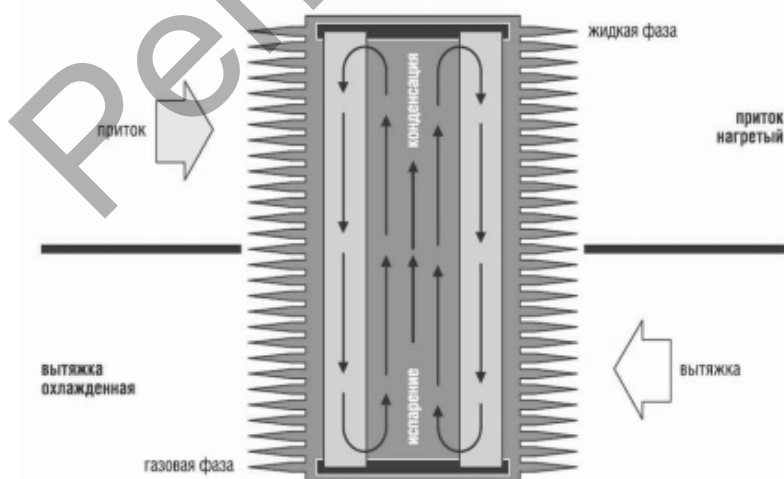


Рисунок 4 – Принцип действия тепловой трубки

Таким образом, если нижняя половина трубки находится в потоке теплого воздуха, а верхняя в потоке холодного воздуха, то процесс передачи тепла происходит непрерывным образом. Теплообменник-утилизатор представляет собой набор тепловых трубок, которые скомпонованы в трубную решетку «шахматного» типа. Трубная решетка имеет определенное количество трубок в ряду по фронту движения воздуха и определенное количество трубок по глубине по ходу воздуха. Ширина и глубина теплообменника определяется расчетом, исходя из необходимой мощности теплообменника и минимизации его аэродинамического сопротивления. Воздушные потоки в таком теплообменнике разделены непроницаемой перегородкой, что препятствует их смешиванию.

На эффективность работы системы механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией тепла в первую очередь влияет эффективность самого теплообменника-теплоутилизатора. Таким образом, первоочередной задачей является определение эффективности теплообменников-теплоутилизаторов, примененных в вентиляционных агрегатах рассматриваемых энергоэффективных домов. Для этого в данной работе на базе установки АВТУ-300 разработана экспериментальная установка с теплообменником на тепловых трубках, схема которой приведена на рисунке 5. Используемый в вентиляционном агрегате АВТУ-300 теплообменник-теплоутилизатор на тепловых трубках по устройству аналогичен теплообменникам-теплоутилизаторам установок АВТУ-150, примененных в рассматриваемом энергоэффективном доме, и произведен тем же изготовителем (ООО «Альтернатива», г. Брест).

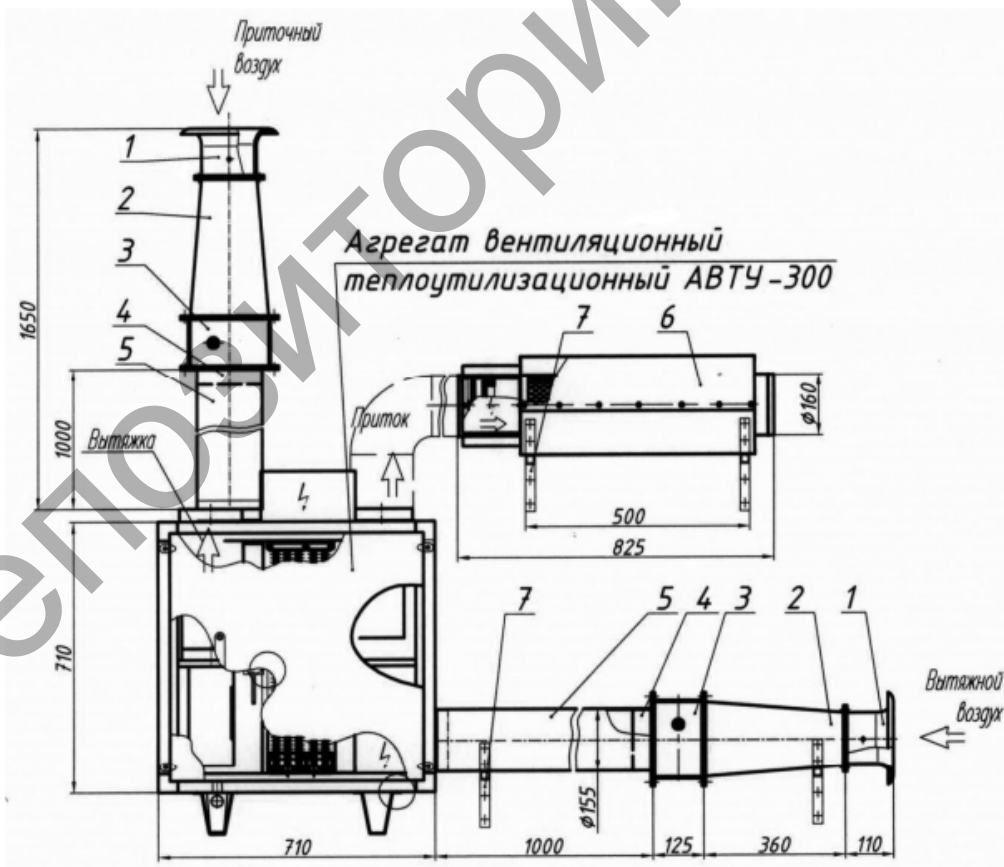


Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки для определения эффективности теплообменника-теплоутилизатора: 1 – сопло Вентури, 2 – переход с диаметра 120 мм на диаметр 200 мм, 3 – воздушный клапан с ручным приводом, 4 – патрубок, 5 – воздуховод, 6 – глушитель шума, 7 – кронштейн.

Основным элементом стенда является вентиляционный агрегат теплоутилизационный, в корпусе которого размещается теплообменник-рекуператор на тепловых трубах с общим оребрением, приточный и вытяжной вентиляторы, фильтры воздушные, блок управления.

В состав стенда также входят:

- два сопла Вентури, предназначенных для измерения расхода воздуха в приточном и вытяжном каналах;
- два воздушных клапана КВ 200х200 с ручным приводом для регулирования расхода воздуха в приточном и вытяжном каналах;
- шумоглушитель с электронагревателем воздуха;
- соединительные элементы воздухопроводов.

Для определения коэффициента эффективности утилизации тепла теплообменника-утилизатора необходимо запустить агрегат в работу и обеспечить перемещение приточного и вытяжного воздуха через теплообменник агрегата, возможность измерения расхода воздуха на приточном и вытяжном каналах агрегата и температур воздуха.

Исследования приточно-вытяжных установок с утилизацией теплоты удаляемого воздуха для определения реального коэффициента эффективности применяемого теплоутилизатора выполнялись в зимний период. Для проведения исследований были выбраны дни с температурой наружного воздуха, близкой к средней температуре наружного воздуха за холодный период года. Эти условия наиболее интересны, так как позволяют приблизиться к реальным условиям эксплуатации рекуператоров.

Для определения коэффициента эффективности утилизации тепла теплообменника-утилизатора обеспечивалось перемещение приточного и вытяжного воздуха через теплообменник запущенного агрегата. Отсчеты по приборам во время испытаний проводились при установившихся режимах испытываемого агрегата. Измерение скорости воздуха осуществляется электронным дифференциальным манометром ДМЦ-01М с пневмометрической трубкой, которые соединены между собой резиновой трубкой. Измерение температуры и относительной влажности воздушных потоков проводилось с помощью термогигрометра ТГЦ-МГ4 и термоанемометра testo 410-1.

Теплоутилизационная установка работает в трех режимах, отличающихся расходом воздуха, получаемых изменением частоты вращения вентиляторов. Исходя из этого, эксперименты проводились для трех режимов работы установки.

Усредненные экспериментальные данные по результатам опытов следующие:

- температура приточного воздуха до установки $t_{пр\ 1}$ – от $-7,6^{\circ}\text{C}$ до $+10,6^{\circ}\text{C}$;
- температура приточного воздуха после установки $t_{пр\ 2}$ – от $+4^{\circ}\text{C}$ до $+15,6^{\circ}\text{C}$;
- температура вытяжного воздуха до установки $t_{выт1}$ – от $+12,9^{\circ}\text{C}$ до $+19^{\circ}\text{C}$;
- температура вытяжного воздуха после установки $t_{выт2}$ – от $+5,4^{\circ}\text{C}$ до $+16,4^{\circ}\text{C}$;
- скорость движения воздуха в вытяжном канале установки – 1,8-2 м/с (1 режим), 2,6–2,8 м/с (2 режим), 3–3,3 м/с (3 режим);
- скорость движения воздуха в приточном канале установки – 2-2,4 м/с (1 режим), 2,8–3,3 м/с (2 режим), 3,3–3,8 м/с (3 режим);
- влажность приточного воздуха до установки – от 87 до 95,5%;
- влажность приточного воздуха после установки – от 38,4 до 75,5%;
- влажность вытяжного воздуха до установки – от 27,3 до 74,2%;;
- влажность вытяжного воздуха после установки – от 42,4 до 86,4%.

На основании экспериментальных данных были определены коэффициенты эффективности исследуемых рекуператоров. Для определения эффективности использовалось следующее выражение [1]:

$$\eta = \frac{(t_{\text{вд}} - t_{\text{в2}}) \cdot c_{\text{вд}} \cdot G_{\text{вд}}}{(t_{\text{вд}} - t_{\text{в2}}) \cdot c_{\text{вв}} \cdot G_{\text{вв}}}, \% \quad (1)$$

где $t_{\text{пр1}}$ - температура приточного воздуха до установки $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{пр2}}$ - температура приточного воздуха после установки $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{выт1}}$ - температура вытяжного воздуха до установки $^{\circ}\text{C}$; $G_{\text{пр}}$ - расход воздуха в вытяжном канале установки, кг/ч; $G_{\text{выт}}$ - расход воздуха в приточном канале установки, кг/ч; $C_{\text{пр}}$ - удельная теплоемкость приточного воздуха, кДж/(кг·К); $C_{\text{выт}}$ - удельная теплоемкость вытяжного воздуха, кДж/(кг·К).

Произведенные расчеты показали эффективность теплоутилизационной установки на тепловых трубах, примененной в энергоэффективных домах Брестской области, в пределах от 54 до 63,3%. Среднее значение эффективности составило 58%. По паспортным данным установки АВТУ-150 эффективность теплоутилизации составляет 63% при температуре наружного воздуха -21°C . При проведении экспериментов ставилась цель исследовать рекуператор не при максимально благоприятных для него условиях работы (максимальном перепаде температур наружного и внутреннего воздуха), а при температурах, приближенных к реальным условиям эксплуатации рекуператоров. Среднее значение эффективности рекуператора в среднем только на 5% меньше паспортного значения, и получены эти значения при средней температуре наружного воздуха не ниже $-7,6^{\circ}\text{C}$. Таким образом, исследования подтвердили эффективность примененной установки АВТУ-150 на уровне паспортных значений. Эти значения соответствуют и данным по установкам с рекуператорами аналогичных конструкций зарубежных аналогов.

Таким образом, исследования подтвердили эффективность теплоутилизационной установки с пластинчатым рекуператором производства ООО «Альтернатива» на уровне паспортных значений. Эти значения также соответствуют и данным по установкам с рекуператорами аналогичных конструкций зарубежных аналогов.

Заключение

Система механической вентиляции энергоэффективных домов находится, в основном, в рабочем состоянии, но не функционирует из-за отсутствия заинтересованности жильцов в ее работе, в основном, по причине большого расхода потребляемой установками теплоутилизации электроэнергии

Рассматриваемые теплоутилизационные установки имеют реальную эффективность около 60%, что не ниже заявленных потребителем значений и согласуется с общемировыми данными по аналогичным установкам.

Список литературы

1. Протасевич, А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М. : Инфра-М, 2012.
2. Строй, А.Ф., Колодяжный, В.В. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Киев. : изд. Феникс, 2014.
3. Баскаков, А.П., Мунц, В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М. : Бастет, 2013.