

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха

И.А. Губина¹, А.С. Горшков²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия,
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 697.978

Научная статья

История

Подана в редакцию 18 декабря 2014
Принята 26 марта 2015

Ключевые слова

утилизация теплоты,
устройства системы утилизации,
энергосбережение,
коэффициент полезного действия
установки рекуперации вытяжного
воздуха,
вентиляция,
устройство рекуперации тепла,
теплообменник

АННОТАЦИЯ

В статье представлено техническое обоснование системы утилизации тепла вытяжного воздуха. Обоснована эффективность применения инженерных устройств, позволяющих утилизировать часть тепла вытяжного воздуха. Описаны основные устройства утилизации теплоты. Показано влияние утилизации тепла вытяжного воздуха на параметры энергосбережения в зданиях. Рассмотрена методика расчета потерь тепла за счет вентиляционного воздухообмена. Показано снижение эксплуатационных расходов на нагрев воздуха за счет теплоутилизации.

Содержание

1.	Введение	210
2.	Литературный обзор	210
3.	Цели и задачи исследования	211
4.	Описание устройств систем утилизации тепла вытяжного воздуха	211
5.	Техническое обоснование	212
6.	Выводы	214

1

Контактный автор:

+7 (981) 822 7413, ira.leks@mail.ru (Губина Ирина Алексеевна, студент)

2

+7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., доцент)

1. Введение

Вопросы энергосбережения в зданиях крайне важны и актуальны для любой страны. И особенно актуальны они для стран с холодным климатом. При этом в зданиях, по разным оценкам, теряется от 30 до 40% всех вырабатываемых энергетических ресурсов, большая часть которых вырабатывается при сжигании углеводородов. Россия имеет значительный потенциал энергосбережения, т.к. старые здания были построены с учетом обеспечения минимальных санитарно-гигиенических требований, а новые построены по теплозащитным требованиям, значительно менее жестким по сравнению с нормативами ведущих стран мира [1-5].

Потери тепловой энергии в зданиях складываются из трех основных составляющих:

- трансмиссионных (потерь через теплозащитную оболочку: стены, покрытие, окна и пр.);
- вентиляционных (потерь за счет вентиляционного воздухообмена);
- инфильтрационных (потерь за счет инфильтрации холодного воздуха за отопительный период через наружные ограждающие конструкции).

Методика расчета трансмиссионных и инфильтрационных потерь подробно рассмотрена в работах [6-9]. В рамках настоящего исследования рассмотрена методика расчета потерь тепла за счет вентиляционного воздухообмена и потенциала энергосбережения в системах вентиляции с утилизацией тепла вытяжного воздуха.

2. Литературный обзор

В рамках Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» поставлена задача радикального снижения энергоемкости систем инженерного обеспечения зданий. Особенно остро проблема стоит в жилищном секторе [23, 24].

Вопросом достижения в области теплоизоляции и герметичности оболочки зданий, значительно сокращающих потери тепла и воздушную инфильтрацию, повышающих требования к вентиляции, а, следовательно, повышающих тепловые потери, связанные с системой вентиляции занимаются не только отечественные авторы, но и зарубежные [6-8, 22, 28, 31].

В современном здании согласно CA Roulet, FD Heidt, F. Foradini, MC Pibiri [30] и Youness El Foujh, Pascal Stabat [16] вентиляция является одним из основных источников потери тепла.

В работе [16] представлено сравнение рекуперационной системы с другими системами вентиляции и доказано, что рекуперация тепла из отработанного воздуха может значительно снизить тепловые нагрузки. Также было установлено, что рациональность использования системы утилизации тепла зависит от типа здания, тепловых нагрузок и характеристик вентиляционного оборудования.

Приложения и технические данные рекуперационных устройств представлены в руководстве ASHRAE [29]. Эффективность использования теплоутилизаторов приведена в работе И. Ф. Ливчака и А. Л. Наумова [18].

M. Adamski [26] и [27] оценил финансовые последствия в связи с использованием вентиляции с рекуперацией тепла вместо простой системы вентиляции.

Исследование [17, 21] рассматривает влияние рекуперации тепла на экономию энергии в многоэтажных жилых зданиях для определения оптимальных режимов работы. При работе установки непрерывно в течении 24 ч результаты показали, что система утилизации тепла способствовала ежегодной экономии энергии на отопление и охлаждение на 9,45 % и 8,8 %, соответственно.

Дискин М. Е. в статье [14] рассмотрел опасность обмерзания теплообменника при рекуперации, что является одним из видимых препятствий к широкому внедрению утилизационных устройств.

Работа Tomasz M. Mróz и Anna Dutka [20] представляет новый подход в оценке устройств рекуперации тепла в механической системе вентиляции. Предложенный ими метод успешно применяется для того, чтобы найти наиболее компромиссное решение утилизации тепла на стадии проектирования.

В статье [25] описаны испытания, проведенные в одном из первых жилых домов в Москве с запроектированной системой приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха. Данные испытания показали энергетическую эффективность теплоутилизационных вентустановок в диапазоне 65–75 %.

3. Цели и задачи исследования

Цель исследования: оценка влияния утилизации тепла вытяжного воздуха на параметры энергосбережения в зданиях.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- описать основные устройства систем утилизации тепла вытяжного воздуха;
- рассмотреть методику расчета потерь зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена, учитывающую коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха;
- обосновать эффективность применения инженерных устройств, позволяющих утилизировать часть тепла вытяжного воздуха.

4. Описание устройств систем утилизации тепла вытяжного воздуха

Используемые в схемах вентиляционных систем устройства утилизации теплоты различаются по двум основным критериям:

- по степени централизации вентсистемы: утилизаторы теплоты в составе центральных вентустановок, обслуживающих из одного центра несколько помещений; утилизаторы теплоты в составе автономных кондиционеров; местные утилизаторы теплоты, устраиваемые для отдельных помещений и располагающиеся, как правило, в самих обслуживаемых помещениях.
- по способу теплообмена: рекуперативные теплообменники (пластинчатые, трубчатые и др.); регенеративные теплообменники (вращающиеся и стационарные переключающиеся регенераторы); теплообменники с тепловыми трубками; теплообменники с промежуточным контуром; тепловые насосы.

При сходных массогабаритных показателях наибольшей энергетической эффективностью обладают регенеративные теплоутилизаторы (80-95 %), далее следуют рекуперативные (65-75 %) и на последнем месте теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем (45-55 %) [18].

Принцип действия **регенеративного теплоутилизатора** представлен на рисунке 1 [33], он заключается в том, что через роторы встречными потоками двигаются приточный и вытяжной воздух. Если система работает на обогрев, то вытяжной воздух отдает теплоту тому сектору ротора, через который он проходит. Когда этот нагретый сектор ротора попадает в поток холодного приточного воздуха, приточный воздух нагревается, а ротор, соответственно, охлаждается. Если система работает на охлаждение, то теплота передается от теплого приточного воздуха холодному вытяжному воздуху [33].

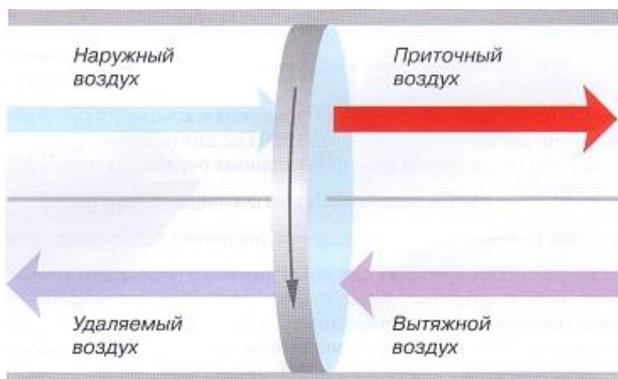


Рисунок 1. Принципиальная схема вращающегося регенеративного теплообменника

Основные преимущества таких теплоутилизаторов по сравнению с другими - возможность управления процессом переноса теплоты при изменении числа оборотов, эффект самоочищения, незначительные размеры и высокая степень эффективности. Существенным недостатком является вероятность смешивания определенной части удаляемого воздуха с приточным в корпусе аппарата, что, в свою очередь, может привести к переносу неприятных запахов и болезнетворных бактерий [19].

Главной особенностью **рекуперативных теплоутилизаторов** (рисунок 2) является то, что теплоносители омывает стенку рабочей полости с двух сторон и при этом непрерывно движутся в определенном направлении [32]. Именно эти системы чаще всего рассматриваются как метод энергосбережения, при котором удаляемый из здания воздух используется в теплый период года для предварительного охлаждения, а в холодный период – для подогрева приточного воздуха с уменьшением затрат энергии на подогрев приточного воздуха [15].

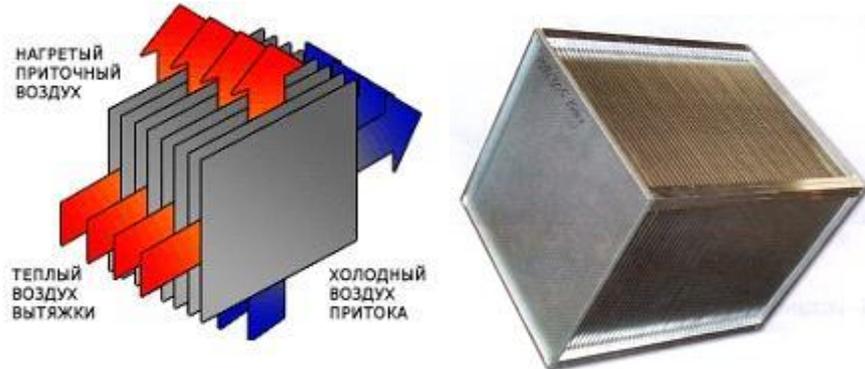


Рисунок 2. Схема и вид пластинчатого рекуператора

При установке рекуперативных теплоутилизаторов поквартирно появляется возможность:

- гибкого регулирования воздушно-теплого режима в зависимости от режима эксплуатации квартиры, в том числе с использованием рециркуляционного воздуха;
- защиты от городского, внешнего шума (при использовании герметичных светопрозрачных ограждений);
- очистки приточного воздуха с помощью высокоэффективных фильтров [23].

Теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем состоит из двух водовоздушных теплообменников, соединенных между собой замкнутой рециркуляционной системой (Рисунок 3). Один теплообменник находится в канале приточного воздуха, а второй - в канале удаляемого воздуха. Система наилучшим образом соответствует предъявляемым гигиеническим требованиям, так как потоки приточного и удаляемого воздуха полностью разделены друг от друга [33].

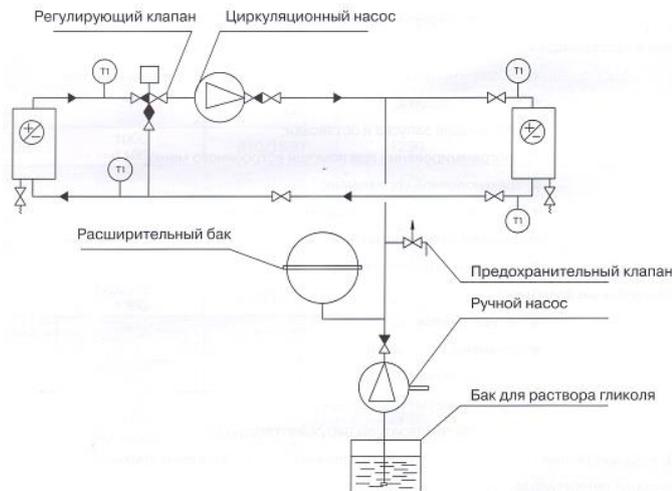


Рисунок 3. Схема утилизации теплоты с использованием промежуточного теплоносителя

5. Техническое обоснование

Как было показано выше, помимо трансмиссионных и инфильтрационных потерь тепловой энергии, значительная доля тепла в отопительный период расходуется на подогрев холодного воздуха, поступающего с улицы в помещения эксплуатируемого здания. Вентиляция подразделяется в общем случае на естественную (неорганизованный приток воздуха) и механическую (принудительную). Однако и в том и в другом случае необходимо обеспечить в зданиях требуемый воздухообмен, т.е. подать в здание определенное количество воздуха для обеспечения комфортных условий пребывания людей в помещениях.

Потери зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена за отопительный период $Q_{\text{вент}}^Г$, МДж/год, следует рассчитывать по формуле [10]:

$$Q_{\text{вент}}^Г = 0,024 \cdot (L_{\text{ж}} + L_{\text{общ}}) \cdot c_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{от}} \cdot \text{ГСОП} \cdot (1 - \eta_{\text{рек}}), \quad (1)$$

где 0,024 – коэффициент пересчета продолжительности отопительного периода, входящего в формулу

для расчета ГСОП из суток в часы, и потерь тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена из кДж в МДж (1 сут = 24 ч, 1 кДж = 10^{-3} МДж: $24 \times 10^{-3} = 0,024$);

$L_{ж}$ – количество приточного воздуха, м³/ч, принимаемое для жилых зданий при механической вентиляции вне зависимости от назначения здания согласно расчету, а при неорганизованном притоке (естественной вентиляции) для:

- жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м² общей площади и менее на человека) – $L_{ж} = 3 \cdot A_{ж}$;
- других жилых зданий (с расчетной заселенностью квартиры более 20 м² общей площади на человека) – $L_{ж} = 0,35 \cdot n_{эт} \cdot A_{ж}$, но не менее 30 м (где n – расчетное число жителей в здании);

$L_{общ}$ – количество приточного воздуха, м³/ч, принимаемое для общественных и административных зданий (а также для встроенных в жилые здания помещения общественного назначения) при механической (принудительной) вентиляции вне зависимости от назначения здания согласно расчету, а при неорганизованном притоке (естественной вентиляции):

- для административных зданий, офисов, объектов сервисного обслуживания, складов и супермаркетов – $4 \cdot A_p$,
- для учреждений здравоохранения и образования, комбинатов бытового обслуживания – $5 \cdot A_p$,
- для спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений – $6 \cdot A_p$;
- для физкультурно-оздоровительных и культурно-досуговых комплексов, ресторанов, кафе, вокзалов – $10 \cdot A_p$.

$A_{ж}$, A_p – для жилых зданий – площадь жилых помещений ($A_{ж}$), к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые; для общественных зданий – расчетная площадь (A_p), определяемая согласно СП 118.13330 как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, проходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей [м²];

c_v – удельная массовая теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°С);

ρ_v^{0T} – средняя плотность воздуха, кг/м³;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут;

$\eta_{рек}$ – коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха при механической вентиляции помещений.

Примечания:

1. Если вентиляция здания или помещений осуществляется способом, при котором рекуперационное оборудование не передает тепло от вытяжного воздуха приточному, или если рекуперация тепловой энергии вытяжного воздуха отсутствует, коэффициент полезного действия батареи рекуперации $\eta_{рек}$ принимается равным нулю.
2. Коэффициент полезного действия установки рекуперации $\eta_{рек}$ принимается отличным от нуля в том случае если средняя воздухопроницаемость квартир и помещений общественных зданий (при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях) обеспечивает в период испытаний воздухообмен кратностью n_{50} , ч⁻¹, при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха при вентиляции с механическим побуждением $n_{50} \leq 2$ ч⁻¹.
3. В качестве коэффициента полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха на вентиляции $\eta_{рек}$ допускается использовать данные, предоставленные производителем рекуперационного оборудования.
4. Если данные производителя отсутствуют, коэффициент полезного действия установки рекуперации $\eta_{рек}$ можно рассчитать по формуле:

$$\eta_{рек} = 0,6 \cdot \eta_{прит}, \quad (2)$$

где $\eta_{прит}$ – температурное соотношение приточного воздуха на установке рекуперации, если воздухообмен на вытяжке и притоке одинаковы, численные значения которого для различных типичных видов теплообменников представлены в таблице 1.

5. Формулу (2) не следует использовать, если соотношение между приточным и вытяжным воздухообменами составляет менее 0,6.
6. Количество энергии, полученной на рекуперационном оборудовании $Q_{рек}$, МДж, можно рассчитать по формуле:

$$Q_{рек} = Q_{вент(б/рек)} - Q_{вент(с/рек)}, \quad (3)$$

где $Q_{вент(б/рек)}$ – потери зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена, рассчитанные по формуле (1) при значении $\eta_{рек} = 0$, МДж;

$Q_{вент(с/рек)}$ – потери зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена, рассчитанные по формуле (1) при значении $\eta_{рек}$, отличным от нуля, МДж.

Таблица 1. Показатели температурного соотношения приточного воздуха на теплообменниках рекуперационного оборудования $\eta_{прит}$ [10].

Тип теплообменника	Температурное соотношение $\eta_{прит}$
Жидкостной теплообменник	0,45
Теплообменник с пластинами поперечного потока	0,55
Теплообменник с пластинами противотока	0,70
Регенерационный теплообменник	0,75

Без учета утилизации тепла вытяжного воздуха (рекуперации) потери в зданиях тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена за отопительный период могут достигать 50% от суммарных потерь тепловой энергии на отопление зданий [11]. По этой причине использование инженерных устройств, позволяющих утилизировать часть тепла вытяжного воздуха, является актуальной задачей энергосбережения. В стандарте Финляндии [12] годовой КПД утилизации тепла на вентиляцию должен составлять не менее 50% [13], а установка рекуперационных устройств в зданиях является обязательной.

6. Выводы

В работе произведена оценка влияния утилизации тепла вытяжного воздуха на параметры энергосбережения в зданиях.

Были рассмотрены основные устройства систем утилизации тепла. Указаны основные преимущества и недостатки каждого устройства и выявлены наиболее энергетически эффективные.

Представлена формула расчета различных систем вентиляции с применением рекуперативных устройств, учитывающая коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха, который может позволить более точно рассчитать потери тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена.

Показано, что затраты тепловой энергии на вентиляционный воздухообмен могут достигать до 50% от суммарных потерь тепловой энергии, расходуемой в здании. Установки утилизации тепла вытяжного воздуха могут позволить системе регенерировать, то есть - сохранять существующее тепло в здании.

Литература

- [1]. Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7. С. 49-63.
- [2]. Горшков А.С. Принципы энергосбережения в зданиях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. №7. С. 26-34.
- [3]. Горшков А.С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии: учеб. пособие / А.С. Горшков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 160 с.
- [4]. Шилкин Н.В. «Пассивные» здания: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2011. №4. С. 34-40.
- [5]. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 100 с.
- [6]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. №8. 2012. С. 4-14.
- [7]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Горшков А.С. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии и эксплуатационных затрат на отопление для загородного частного дома при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. №1. С. 36-39.
- [8]. Горшков А.С., Немова Д.В., Рымкевич П.П. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии, эксплуатационных затрат на отопление и затрат топливно-энергетических ресурсов для многоквартирного жилого здания при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. № 2. С. 34-39.
- [9]. Ватин Н.И., Величкин В.З., Горшков А.С., Пестряков И.И., Пешков А.А., Немова Д.В., Киски С.С. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана марки «SPU-INSULATION» в строительстве жилых общественных и промышленных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3 (8). С. 1-264.
- [10]. РМД 23-16-2012 Санкт-Петербург. Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий (утверждены Распоряжением Комитета по строительству Правительства Санкт-Петербурга от 13.09.2012 г. № 114).
- [11]. Табунщиков Ю.А. Малозатратные оперативные мероприятия по экономии энергии // Энергосбережение. 2012. № 8. С. 4-9.
- [12]. National Building Code of Finland, Part D3. 2010.
- [13]. Сормунен П. Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 7-8.
- [14]. Дискин М.Е. Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания // АВОК. 2006. №4
- [15]. Dieckmann John. Improving humidity control with energy recovery // ASHRAE Journal, August. 2008. Pp. 38-45
- [16]. Youness El Foujh, Pascal Stabat. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings // Energy and Buildings. 2012. Pages 29-39
- [17]. Sang-Min Kim, Ji-Hyun Lee, Determining operation schedules of heat recovery ventilators for optimum energy savings in high-rise residential buildings // Energy and Buildings. 2012. Pages 3-13
- [18]. Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Вентиляция многоэтажных жилых зданий // АВОК-ПРЕСС. 2005
- [19]. Шилкин Н. В. Методы повышения тепловой эффективности зданий и их экономическая оценка // ВАК. 2007. 174 с
- [20]. Tomasz M. Mróz, Dutka Anna . Exergy-economic evaluation of heat recovery device in mechanical ventilation system // Energy and Buildings. 2014. Pages 296-304
- [21]. Dodoa Ambrose, Gustavssona Leif, Sathre Roger. Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings // Energy and Buildings. 2011. Pages 1566-1572
- [22]. Egidijus Juodis. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties // Energy and Buildings. 2006. Pages 568-573

- [23]. Наумов А.Л., Серов С.Ф., Будза А.О. Квартирные утилизаторы теплоты вытяжного воздуха // АВОК. 2012. №1
- [24]. ТР АВОК–4–2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома.– М.: АВОК-ПРЕСС, 2004
- [25]. Наумов А.Л. Энергоэффективный жилой дом в Москве // Здания высоких технологий. 2012. С. 40-49
- [26]. Adamski M. Longitudinal flow spiral recuperators in building ventilation systems // Energy and Buildings, 40 (2008), Pages 1883–1888
- [27]. Adamski M. Ventilation system with spiral recuperator // Energy and Buildings, 42 (2010), Pages 674–677
- [28]. Gendebien S., Bertagnolio S., Lemort V. Investigation on a ventilation heat recovery exchanger: Modeling and experimental validation in dry and partially wet conditions // Energy and Buildings. 2013. Pages 176-189
- [29]. ASHRAE handbook, 2008. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (I-P Edition) // American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2008)
- [30]. Roulet C.A., Heidt F.D., Foradini F., Pibiri M.C. Real heat recovery with air handling units // Energy and Buildings 33 (2001). Pages 495–502
- [31]. Fernández-Seara José, Diz Rubén, Francisco J. Uhía, Alberto Dopazo, José M. Ferro. Experimental analysis of an air-to-air heat recovery unit for balanced ventilation systems in residential buildings // Energy Conversion and Management. 2011. Pages 635-640
- [32]. Три вида теплообменников по принципу действия [Электронный ресурс]. URL:<http://www.teplopuls.ru/> (дата обращения: 08.12.2014)
- [33]. Утилизация теплоты удаляемого воздуха [Электронный ресурс]. URL:<http://www.ventclub.ru/> (дата обращения 08.12.2014)

Energy saving in buildings with heat recovery exhaust air

I.A. Gubina¹, A.S. Gorshkov²

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskayast., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 18 December 2014
Accepted 26 March 2015

Keywords

heat recovery,
devices of the heat utilization,
energy saving,
effectiveness coefficient of installation
of exhaust air heat recovery,
ventilation,
energy recovery unit,
heat-exchange facility

ABSTRACT

The technical justification of the vent air heat utilization system is introduced in the article. The efficiency of the application of engineering devices, allowing to dispose of the exhaust air heat. The main devices of the heat utilization are described. The influence of the vent air heat utilization rate on energy saving parameters in buildings is shown. The methods for calculation the heat losses on account of venting air exchange and the energy saving ability in venting systems with the vent air heat utilization are submitted. Lower operating costs for heating air by heat recovery proved.

1

Corresponding author:

+7 (981) 822 7413, ira.leks@mail.ru (Irina Alekseevna Gubina, Student)

2

+7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Aleksandr Sergeevich Gorshkov, Ph.D., Associate Professor)

References

- [1]. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. *Formula energoeffektivnosti* [Energy formula] Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. Vol. 7. Pp. 49-63. (rus)
- [2]. Gorshkov A.S. *Printsipy energosberzheniya v zdaniyakh* [Principles energy saving in buildings]. Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2014. Vol.7. Pp. 26-34. (rus)
- [3]. Gorshkov A.S. *Inzhenernyye sistemy. Rukovodstvo po proyektirovaniyu, stroitelstvu i rekonstruktsii zdaniy s nizkim potrebleniyem energii* [Engineering systems. Guidelines for the design, construction and reconstruction of buildings with low energy consumption]. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2013. 160 p. (rus)
- [4]. Shilkin N.V. «Passivnyye» zdaniya: vozmozhnosti sovremennogo stroitelstva ["Passive" buildings: Opportunities of modern construction]. *Energoberezhniye*. 2011. Vol. 4. Pp. 34-40. (rus)
- [5]. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. *Energoeffektivnyye zdaniya* [Energy-efficient buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2003. 100 p. (rus)
- [6]. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. *Vliyaniye urovnya teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy na velichinu poter teplovoy energii v zdanii* [The influence of the level of thermal protection of protecting designs on the value of the loss of thermal energy in the building] Magazine of Civil Engineering. 2012. Vol. 8. Pp. 4-14. (rus)
- [7]. Vatin N.I., Nemova D.V., Gorshkov A.S. *Sravnitelnyy analiz poter teplovoy energii i ekspluatatsionnykh zatrat na otopleniye dlya zagorodnogo chastnogo doma pri razlichnykh minimalnykh trebovaniyakh k urovnyu teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy* [Comparative analysis of heat losses and operating costs for heating private house for a country with different minimum requirements for the level of thermal protection walling]. *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2013. Vol. 1. Pp. 36-39. (rus)
- [8]. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Rymkevich P.P. *Sravnitelnyy analiz poter teplovoy energii, ekspluatatsionnykh zatrat na otopleniye i zatrat toplivno-energeticheskikh resursov dlya mnogokvartirnogo zhilogo zdaniya pri razlichnykh minimalnykh trebovaniyakh k urovnyu teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy* [Comparative analysis of heat losses, operating expenses and the cost of heating fuel and energy resources for the apartment building at different minimum requirements for the level of thermal protection walling]. *Krovelnyye i izolyatsionnyye materialy*. 2013. Vol. 2. Pp. 34-39. (rus)
- [9]. Vatin N.I., Velichkin V.Z., Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Peshkov A.A., Nemova D.V., Kiski S.S. *Albom tekhnicheskikh resheniy po primeneniyu teploizolyatsionnykh izdeliy iz penopoliuretana marki «SPU-INSULATION» v stroitelstve zhilykh obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy* [Album of technical solutions for the application of polyurethane foam insulation products brand «SPU-INSULATION» in the construction of residential public and industrial buildings]] Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. Vol.3 (8). Pp. 1-264. (rus)
- [10]. *RMD 23-16-2012 Sankt-Peterburg. Rekomendatsii po obespecheniyu energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy (utverzhdeny Rasporyazheniyem Komiteta po stroitelstvu Pravitelstva Sankt-Peterburga ot 13.09.2012 g. № 114).*
- [11]. Tabunshchikov Yu.A. *Malozatratnyye operativnyye meropriyatiya po ekonomii energii* [Low-cost operational measures to save energy]. *Energoberezhniye*. 2012. Vol. 8. Pp. 4-9. (rus)
- [12]. National Building Code of Finland, Part D3. 2010.
- [13]. Sormunen P. *Energoeffektivnost zdaniy. Situatsiya v Finlyandii* [Energy Efficiency in Buildings. The situation in Finland] Magazine of Civil Engineering. 2010. Vol.1. Pp. 7-8. (rus)
- [14]. Diskin M. Ye. *Effektivnost rekuperatsii teploty v sistemakh ventilyatsii pri temperaturakh naruzhnogo vozdukha nizhe temperatury opasnosti obmerzaniya* [Efficiency heat recovery ventilation systems at outdoor temperatures below the freezing danger]. AVOK. 2006. Vol. 4. (rus)
- [15]. Dieckmann John. Improving humidity control with energy recovery. ASHRAE Journal, August. 2008. Pp. 38-45
- [16]. Youness El Foujh, Pascal Stabat. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings. Energy and Buildings. 2012. Pages 29-39
- [17]. Sang-Min Kim, Ji-Hyun Lee, Determining operation schedules of heat recovery ventilators for optimum energy savings in high-rise residential buildings. Energy and Buildings. 2012. Pages 3-13
- [18]. Livchak I. F., Naumov A.L. *Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy* [Ventilation of multi-storey residential buildings]. AVOK-PRESS. 2005. (rus)
- [19]. Shilkin N. V. *Metody povysheniya teplovoy effektivnosti zdaniy i ikh ekonomicheskaya otsenka* [Methods to improve the thermal performance of buildings and their economic evaluation]. 2007. 174 p. (rus)

- [20]. Tomasz M. Mróz, Dutka Anna . Exergy–economic evaluation of heat recovery device in mechanical ventilation system. *Energy and Buildings*. 2014. Pp. 296-304.
- [21]. Dodoaa Ambrose, Gustavssona Leif, Sathre Roger. Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings. *Energy and Buildings*. 2011. Pp. 1566-1572.
- [22]. Egidijus Juodis. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties *Energy and Buildings*. 2006. Pp. 568-573.
- [23]. Naumov A. L., Serov S. F., Budza A.O. *Kvartirnyye utilizatory teploty vytyazhnogo vozdukha* [Apartment Waste heat exhaust air]. AVOK. 2012. Vol. 1. (rus)
- [24]. TR AVOK–4–2004. *Tekhnicheskiye rekomendatsii po organizatsii vozdukhoobmena v kvartirakh mnogoetazhnogo zhilogo doma* [Technical advice on the organization of air in apartments apartment house] M.: AVOK-PRESS, 2004. (rus)
- [25]. Naumov A. L. *Energoeffektivnyy zhiloy dom v Moskve* [Energy-efficient house in Moscow]. *Zdaniya vysokikh tekhnologiy*. 2012. Pp. 40-49. (rus)
- [26]. Adamski M. Longitudinal flow spiral recuperators in building ventilation systems. *Energy and Buildings*, 40 (2008), Pp.1883–1888.
- [27]. Adamski M. Ventilation system with spiral recuperator. *Energy and Buildings*, 42 (2010), Pp. 674–677.
- [28]. Gendebien S., Bertagnolio S., Lemort V. Investigation on a ventilation heat recovery exchanger: Modeling and experimental validation in dry and partially wet conditions. *Energy and Buildings*. 2013. Pp. 176-189.
- [29]. ASHRAE handbook, 2008. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (I-P Edition) // American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2008)
- [30]. Roulet S.A., Heidt F.D., Foradini F., Pibiri M.C. Real heat recovery with air handling units. *Energy and Buildings*. 33 (2001). Pp. 495–502.
- [31]. Fernández-Seara José, Diz Rubén, Francisco J. Uhía, Alberto Dopazo, José M. Ferro. Experimental analysis of an air-to-air heat recovery unit for balanced ventilation systems in residential buildings. *Energy Conversion and Management*. 2011. Pages 635-640
- [32]. Tri vida teploobmennikov po printsipu deystviya [Elektronnyy resurs]. URL:<http://www.teplo puls.ru/> (data obrashcheniya: 08.12.2014)
- [33]. Utilizatsiya teploty udalyayemogo vozdukha [Elektronnyy resurs]. URL:<http://www.ventclub.ru/> (data obrashcheniya 08.12.2014).

Губина И.А., Горшков А.С. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4(31). С. 209-219.

Gubina I.A., Gorshkov A.S. Energy saving in buildings with heat recovery exhaust air. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 4(31), Pp. 209-219. (rus)