

А. Б. КОСТУГАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ В РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ УСТАНОВОК АВТОНОМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

RESEARCH OF HEAT DISPOSAL EFFICIENCY
IN RECUPERATIVE HEAT EXCHANGERS OF AUTONOMOUS VENTILATION UNITS

Проведены натурные испытания рекуперативных теплообменников установок автономной вентиляции новой конструкции с целью определения эффективности утилизации теплоты в них. Установлено, что эффективность утилизации теплоты в таких рекуперативных теплообменниках изменяется в пределах от 40 до 70 % в зависимости от начальных параметров приточного и вытяжного воздуха. Также установлено, что для достижения одного и того же эффекта по утилизации теплоты целесообразно использовать конструкцию теплообменников с гофрированной сеткой, нежели конструкцию с гофрированными пластинами, так как первая конструкция при сопоставимом эффекте утилизации теплоты обеспечивает до полутора раз меньшее аэродинамическое сопротивление. При проведении испытаний произведена апробация новой схемы защиты рекуперативных теплообменников от обмерзания.

Ключевые слова: системы автономной вентиляции, рекуперативные теплообменники, утилизация теплоты вентиляционного воздуха

Введение

В работах [1–3] авторами сформулированы проблемы неудовлетворительного качества внутреннего воздуха помещений и неэффективной работы систем вентиляции гражданских зданий, включая жилые здания. По вопросу обеспечения нормируемого воздухообмена помещений, оборудованных только вытяжной вентиляцией в наружных ограждениях (к таким помещениям относится подавляющее большинство помещений жилых зданий), в пунктах 7.8 СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» и 7.1.10 СП 60.13330 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» даётся указание к применению регулируемых приточных устройств. Однако в тексте указанных нормативных документов нет дальнейших разъяснений по вопросу того, какими должны быть данные приточные устройства. В пунктах 7.1.3 и 7.1.10 СП 60.13330 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» указывается,

Full-scale tests of recuperative heat exchangers of autonomous ventilation units of a new design were carried out in order to determine the efficiency of heat recovery in them. As a result of the tests, it was found that the efficiency of heat recovery in such recuperative heat exchangers varies from 40 to 70 %, depending on the initial parameters of the supply and exhaust air. It was also found that in order to achieve the same heat recovery effect, it is advisable to use the construction of heat exchangers with corrugated mesh than the construction with corrugated plates because the first construction with a comparable heat recovery effect provides up to one and a half times lower aerodynamic drag. During the tests was also made an approbation of a new protection scheme for recuperative heat exchangers against freezing.

Keywords: autonomous ventilation systems, recuperative heat exchangers, utilization of the heat of ventilation air

что для помещений, в которых в течение года вентиляцией с естественным побуждением не обеспечиваются параметры микроклимата, следует предусматривать вентиляцию с механическим побуждением. Дополнительно в пункте 7.1.10 того же свода правил указывается, что по заданию на проектирование допускается предусматривать для жилых зданий механическую приточно-вытяжную вентиляцию с применением индивидуальных поквартирных установок или централизованных систем. Дополнительно в пункте 11.1 того же нормативного документа указывается, что требования повышения энергетической эффективности должны соблюдаться при проектировании, экспертизе, строительстве, приёмке и эксплуатации новых, реконструируемых, капитально ремонтируемых отапливаемых жилых зданий и зданий общественного назначения. Далее по тексту того же нормативного документа в пункте 11.3 отмечено, что энергосбережение систем вен-

тиляции следует обеспечивать за счёт выбора высокотехнологичного оборудования, использования энергоэффективных схемных решений и оптимизации управления системами. Далее в этом же пункте указано, что одним из комплексов мероприятий по обеспечению энергосбережения в системах вентиляции является применение приточно-вытяжных вентиляционных систем с механическим побуждением и утилизацией теплоты вытяжного воздуха и индивидуально регулируемым воздухообменом. Кроме этого, в работах [4] и [5] указано и обосновано, что большего результата, по сравнению с усилением тепловой защиты наружных ограждений, в плане сокращения энергетических затрат можно добиться за счёт повышения эффективности систем обеспечения микроклимата, в том числе систем вентиляции. Для многоквартирных жилых домов ранее были разработаны технические рекомендации [6] по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий с указанием мероприятий по энергосбережению.

Таким образом, на сегодняшний день существует масштабная научно-техническая проблема обеспечения энергоэффективного воздухообмена в помещениях гражданских зданий и в первую очередь в помещениях жилых зданий. Решение данной проблемы для жилых зданий должно быть дифференцировано: для многоквартирных жилых домов следует разрабатывать централизованные вентиляционные системы, а для малоэтажных и частных жилых домов предусматривать индивидуальные приточно-вытяжные вентиляционные установки. В обоих случаях предлагаемые технические решения должны отвечать современным требованиям энергоэффективности.

Автором настоящей работы при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, а также при научно-технической поддержке коллектива коллег на протяжении нескольких лет проводятся теоретические и экспериментальные исследования, направленные на разработку автономных приточно-вытяжных вентиляционных установок для помещений жилых зданий. В первую очередь разрабатываемые приточно-вытяжные вентиляционные установки нацелены на использование в помещениях малоэтажных и частных жилых домов. Предшествующие этапы исследований, включающие постановку целей и задач исследования, требования к разрабатываемым вентиляционным установкам, результаты проектирования новых установок и результаты натурных испытаний существующих на рынке подобных вентиляционных установок опубли-

кованы автором ранее, в том числе совместно с коллегами, в работах [7–11]. В настоящей работе автор приводит результаты натурных испытаний новых конструкций приточно-вытяжных вентиляционных установок, в том числе защищённых патентами. Натурные испытания проводились в период с декабря 2018 по февраль 2019 гг.

Материалы и методы исследования

Теоретические предпосылки и результаты теоретических исследований приведены в ранее опубликованных работах [7–11]. Базой для теоретической части данного этапа исследований послужили источники [12–21]. Ниже приводятся только основные расчётные формулы и определения, необходимые для понимания и объяснения результатов экспериментального исследования рекуперативных теплообменников.

Требуемая площадь поверхности теплообменника вычислялась по формуле

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, передаваемое в рекуперативном теплообменнике приточному воздуху, Вт; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C); Δt_{cp} – средняя логарифмическая разность температур, °C.

Количество теплоты, передаваемое в рекуперативном теплообменнике приточному воздуху, определялось по формуле

$$Q = c_p \cdot G_{np} \cdot (t_{np2} - t_{np1}), \quad (2)$$

где c_p – массовая теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·°C); G_{np} – массовый расход приточного воздуха, кг/с; t_{np1} , t_{np2} – температуры приточного воздуха на входе в теплообменник и на выходе из него соответственно, °C.

Коэффициент теплопередачи рассчитывался по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{y\delta}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{np}}}, \quad (3)$$

где δ – толщина стенки теплообменника, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C); $\alpha_{y\delta}$, α_{np} – коэффициенты теплоотдачи удаляемого и приточного воздуха соответственно, Вт/(м²·°C).

Средняя логарифмическая разность температур определялась по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{np1} - t_{y\delta 2}) - (t_{np2} - t_{y\delta 1})}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\delta}}}, \quad (4)$$

где t_{np1} , t_{np2} – то же, что в формуле (2); $t_{y\delta 1}$, $t_{y\delta 2}$ – температуры удаляемого воздуха на входе в теплообменник и на выходе из него соответственно, °C; Δt_{δ} , Δt_{δ} – большая и меньшая из расчётных разностей температур соответственно, °C.

Эффективность утилизации теплоты в рекуперативном теплообменнике определялась по выражению

$$\eta = \frac{c_p \cdot G_{np} \cdot (t_{np2} - t_{np1})}{c_p \cdot G_{y\partial} \cdot (t_{y\partial1} - t_{np1})} \quad (5)$$

где η – эффективность утилизации теплоты в рекуперативном теплообменнике; G_{np} , $G_{y\partial}$ – массовые расходы соответственно приточного и удаляемого воздуха, кг/с; c_p , t_{np1} , t_{np2} – то же, что в формуле (2); $t_{y\partial1}$ – температура удаляемого воздуха на входе в рекуперативный теплообменник, °С.

Формулы (1) – (4) использовались при теоретическом расчёте рекуперативных теплообменников, а формулы (1), (2), (5) – при конечной обработке результатов экспериментального исследования. Для расчёта коэффициентов теплоотдачи, гидравлического трения и некоторых других необходимых для расчёта величин использовались данные литературных источников [12–21]. Основные полученные осреднённые результаты расчёта габаритных размеров и конструкции теплообменника представлены в табл. 1.

Размеры теплообменника были также определены на основании конструктивных и архитектурно-планировочных требований, предъявляемых к разрабатываемой вентиляционной установке в целом, т. е. установка предпочтительно должна размещаться в пространстве подоконной доски. Расчётный расход воздуха на систему принят в объёме 60 м³/ч. Для проработки принципиальных и конструктивных решений разрабатываемых вентиляционных установок был изучен современный уровень развития техники в рассматриваемой области на основании данных литературных источников [12–21] и результатов патентного поиска по источникам [22–28]. В результате была разработана принципиально новая конструкция приточно-вытяжной вентиляционной установки с утилизацией теплоты и защитой теплообменников-утилизаторов от обмерзания в двух вариантах, представленных на рис. 1 и 2.

торов от обмерзания в двух вариантах, представленных на рис. 1 и 2.

В расчётный холодный период года схема вентиляционной установки, изображённая на рис. 1, работает следующим образом: вытяжной воздух забирается из помещения, затем он проходит через клапан, фильтр, вспомогательный вентилятор и ТЭН, в котором нагревается на необходимую величину. Подогретый вытяжной воздух попадает в пространство между корпусом системы и пластинчатым теплообменником – утилизатором теплоты. В результате того, что корпус системы является теплоизолированным, а поверхность теплообменника металлической, тепловой поток большей частью передаётся периферийной поверхности теплообменника, что способствует поддержанию её положительной температуры и предохраняет её от обмерзания. По ходу своего движения вытяжной воздух охлаждается до значения температуры помещения и после этого забирается вытяжным вентилятором и подаётся в теплообменник-утилизатор, где отдаёт свою теплоту приточному воздуху и охлаждается до расчётной температуры, зависящей от необходимой степени утилизации теплоты. Далее холодный вытяжной воздух выходит в атмосферу. Приточный воздух забирается через узел забора воздуха, расположенный с противоположной стороны уличной части системы. Под действием разрежения, создаваемого приточным вентилятором, воздух проходит через теплообменник – утилизатор теплоты, где нагревается до требуемой температуры, зависящей от необходимой степени утилизации теплоты. Затем подогретый приточный воздух проходит через фильтр, клапан и подаётся в помещение.

Схема вентиляционной установки, изображённая на рис. 2, в расчётный холодный период года работает следующим образом: вытяжной воздух забирается из помещения, затем он проходит через клапан, фильтр, забирается

Таблица 1

Осреднённые результаты расчёта габаритных размеров и конструкции теплообменника

Наименование величины	Принятое обозначение	Ед. изм.	Значение
Общее число каналов для хода воздуха	n	шт.	28
Площадь теплообменной поверхности	F	м²	2,1
Длина канала	l	мм	600
Длина теплообменника	L	мм	640
Ширина теплообменника	b	мм	200
Высота теплообменника	h	мм	120

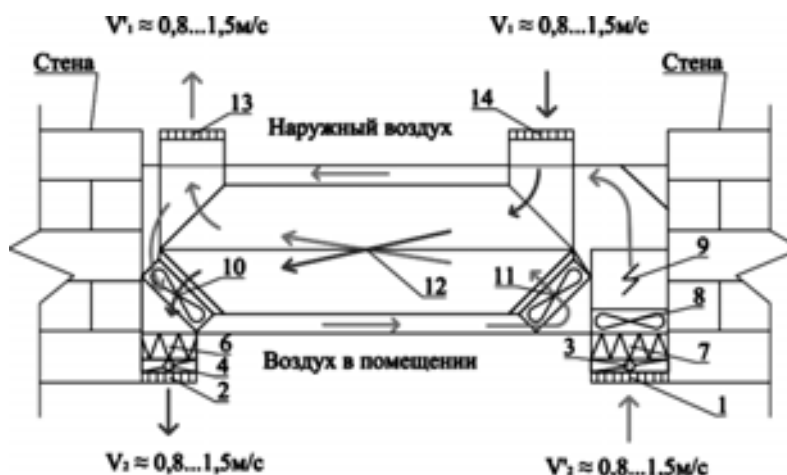


Рис. 1. Принципиальная схема вентиляционной установки с рекуперативным теплоутилизатором и прямоточной схемой защиты от обмерзания:

1 – вытяжной воздухоораспределитель; 2 – приточный воздухоораспределитель; 3 – клапан на вытяжном воздухе; 4 – клапан на приточном воздухе; 5,6,7 – фильтры; 8 – вспомогательный вентилятор; 9 – воздухонагреватель (ТЭН); 10 – приточный вентилятор; 11 – вытяжной вентилятор; 12 – рекуперативный пластинчатый теплообменник; 13 – выпуск воздуха (решётка); 14 – забор воздуха (решётка)

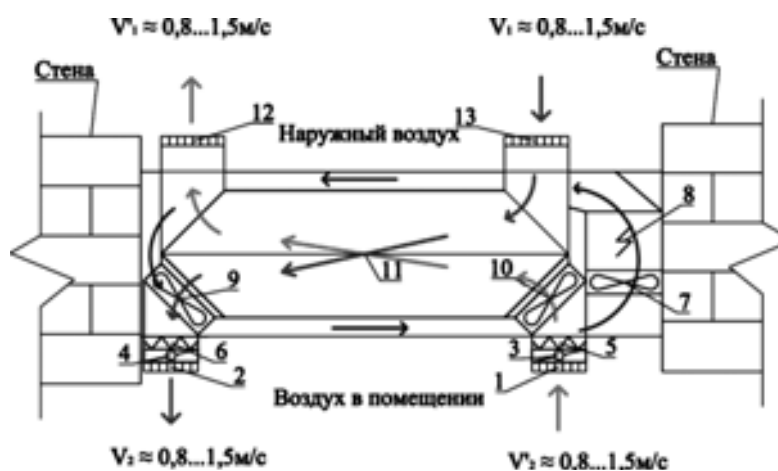


Рис. 2. Принципиальная схема вентиляционной установки с рекуперативным теплоутилизатором и рециркуляционной схемой защиты от обмерзания:

1–6 – то же, что на рис. 1; 7 – вспомогательный вентилятор; 8 – воздухонагреватель (ТЭН); 9 – приточный вентилятор; 10 – вытяжной вентилятор; 11 – рекуперативный пластинчатый теплообменник – утилизатор теплоты; 12 – выпуск воздуха (решётка); 13 – забор воздуха (решётка)

вытяжным вентилятором и подаётся в теплообменник-утилизатор, где отдаёт свою теплоту приточному воздуху и охлаждается до расчётной температуры, зависящей от необходимой степени утилизации теплоты. Далее холодный вытяжной воздух выходит в атмосферу. Приточный воздух забирается через узел забора воздуха, расположенный с противоположной стороны уличной части системы. Под действи-

ем разрежения, создаваемого приточным вентилятором, воздух проходит через теплообменник – утилизатор теплоты, где нагревается до требуемой температуры, зависящей от необходимой степени утилизации теплоты. Затем подогретый приточный воздух проходит через фильтр, клапан и подаётся в помещение. Защита от обмерзания достигается за счёт циркуляции по замкнутому каналу подогретого воздуха, в ре-

зультате чего периферийная часть теплообменника всегда имеет положительную температуру.

Оба варианта конструкции вентиляционных установок были изготовлены. Кроме этого, вариант с прямоточной схемой защиты от обмерзания был изготовлен в двух экземплярах лабораторных образцов установки с различными конструкциями рекуперативных теплообменников: с теплопередающими стенками в виде гофрированных пластин (рис. 3) и с гладкими теплопередающими стенками и проложенной между ними гофрированной металлической сеткой (рис. 4). Геометрические размеры теплообменников максимально выдержаны по отношению к приведённым в табл. 1 с учётом некоторых конструктивных доработок. Общий вид одного из образцов вентиляционной установки представлен на рис. 5. На рис. 6 представлена вентиляционная установка, смонтированная и оборудованная для проведения натуральных испытаний.

Натурные испытания проводились в период с декабря 2018 по февраль 2019 г. на двух вентиляционных установках с прямоточной схемой защиты от обмерзания. Одна из испытуемых установок имела в своём составе рекуперативный теплообменник с теплопередающими стенками в виде гофрированных пластин, а другая была оснащена теплообменником с гладкими теплопередающими стенками и проложенной между ними гофрированной металлической сеткой. Прочие технические характеристики испытуемых систем были идентичными.

Методика проведения испытаний заключалась в следующем:

1. Выбирался режим испытания установок (производительность по воздуху и мощность нагрева электрического воздухонагревателя).

2. Установка эксплуатировалась в выбранном режиме минимум 40 мин до начала испытаний.

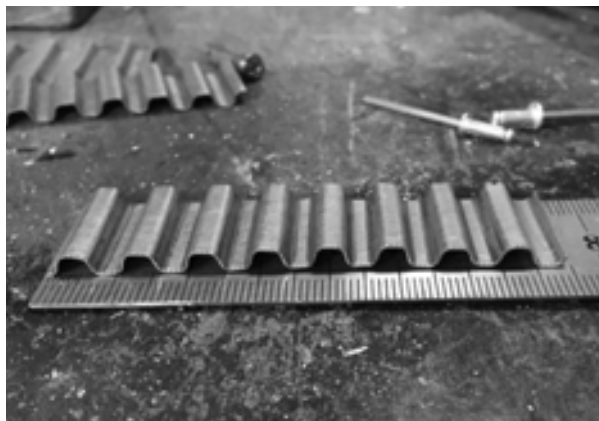


Рис. 3. Фрагмент гофрированной пластины (теплопередающей стенки)

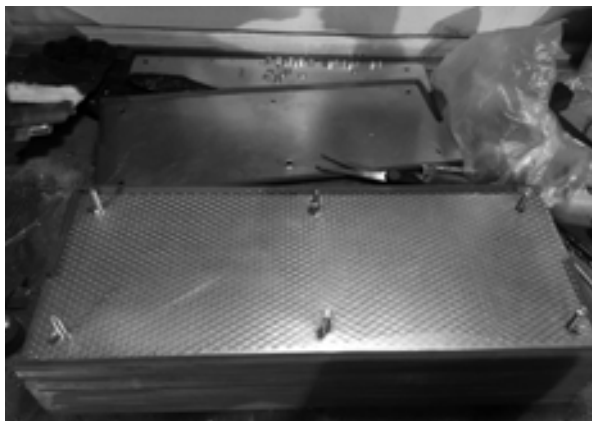


Рис. 4. Теплообменник с гладкими теплопередающими стенками и проложенной между ними гофрированной металлической сеткой в процессе сборки



Рис. 5. Общий вид вентиляционной установки перед процессом монтирования на место проведения натуральных испытаний



Рис. 6. Вентиляционная установка, смонтированная и оборудованная для проведения натуральных испытаний

3. В ходе испытаний производились замеры температуры в 10 контрольных точках (температуры внутреннего и наружного воздуха, до и после воздухонагревателя, до и после рекуперативного теплообменника, на входе и на выходе из установки). Фиксация данного параметра производилась автоматически с интервалом 1 мин.

4. Проводились измерения скорости воздуха на входе и выходе приточной и вытяжной линии, уровень шума при работе установки, барометрическое давление, относительная влажность воздуха помещения и перепады давления в характерных сечениях вентиляционной установки. Фиксация данных параметров производилась вручную в начале и в конце проведения соответствующей серии испытаний.

5. Каждый вариант системы был испытан минимум в трёх сериях с минимальной продолжительностью 3 ч и максимальной продолжительностью 8 ч.

При проведении испытаний использовались следующие измерительные приборы:

- многоканальный портативный измеритель температуры с переносным модулем «Поток» – измерение температуры;
- многофункциональный прибор Testo-480 с набором зондов для измерения параметров микроклимата и систем вентиляции – измерение скорости воздуха и перепадов давления в характерных сечениях вентиляционной установки, барометрического давления, относительной влажности воздуха помещения;
- шумомер ADA ZSM 330 – измерение общего уровня шума.

Применение современного аттестованного и поверенного оборудования, а также про-

ведение последующей обработки результатов экспериментальных исследований позволило получить приемлемую относительную погрешность результатов испытаний, не превышающую максимальной величины $\pm 10\%$.

Результаты исследования

В ходе проведённых натурных испытаний были получены протоколы испытаний со значениями измеренных величин, подлежащих дальнейшей математической обработке. Обработка результатов экспериментального исследования, направленная на усреднение значений величин, устранение грубых промахов, случайных и статистических погрешностей измерения, проводилась по методам, изложенным в [29]. После этого этапа обработки экспериментальных данных был произведён расчёт эффективности утилизации теплоты в вентиляционных установках с использованием формул (1), (2), (5). Обобщённые результаты проведённого исследования представлены в табл. 2.

Из результатов проведённых испытаний следует сделать следующие выводы:

1. Разработанные конструкции вентиляционных установок являются принципиально работоспособными и удовлетворяют таким требованиям, как:

- обеспечение минимального воздухообмена в помещении;
- обеспечение утилизации теплоты вентиляционного воздуха в среднем не ниже 50 %;
- вписывание в интерьер помещения практически без его нарушения (возможна установка в пространстве подоконной доски);

Таблица 2

Обобщённые результаты исследования

Показатель	Значение (интервал значений) показателя	
	для установки, оснащённой теплообменником с теплопередающими стенками в виде гофрированных пластин	для установки, оснащённой теплообменником с гладкими теплопередающими стенками и проложенной между ними гофрированной металлической сеткой
Эффективность утилизации теплоты, %	40 ... 75	40 ... 70
Расход воздуха в системе, м ³ /ч	30 ... 90	
Перепад давления на вентиляторе, Па	60 ... 360	60 ... 270
Уровень шума, дБа	40 ... 60	
Максимальная скорость воздуха на входе и на выходе из установки, м/с	Не более 5	
Максимальное потребление энергии, Вт	Не более 700	

- установки, пригодные для ремонта самими конечными пользователями;

- оценочная стоимость одной такой установки составляет 30 000 руб.

2. Эффективность утилизации теплоты в разработанных рекуперативных теплообменниках существенно возрастает при достижении расхода воздуха в системе уровня $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ и при снижении температуры наружного воздуха ниже минус $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Разработанная прямоточная система защиты от обмерзания положительно зарекомендовала себя на данном этапе исследования, хотя и нуждается в дальнейшей конструктивной доработке.

4. Максимально достигнутая в результате испытаний эффективность утилизации теплоты составила 75 %, что является средним показателем для теплообменников данного класса.

Для дальнейшего совершенствования выполненных разработок следует сформулировать следующие рекомендации:

- применить более мощные радиальные вентиляторы для обеспечения запаса по про-

изводительности и интенсификации процессов теплообмена;

- для интенсификации процессов теплообмена, а также получения большей компактности теплообменника и системы в целом необходимо выполнить более развитую поверхность теплообмена (с большей турбулентностью потока);

- для дальнейшего этапа развития и реализации результатов исследования (этапа НИОКР) рекомендуется разработать модельный ряд энергоэффективных систем вентиляции с утилизацией теплоты воздуха с учётом результатов проведённого этапа исследования, а также по типу усовершенствованного прототипа вентиляционной установки, представленного на рис. 7 и 8. Предлагаемый прототип разработан на основе анализа информации источников [13–31] и будет иметь большую эффективность утилизации теплоты, меньшие размеры (будет более компактным) и более совершенную схему защиты рекуперативных теплоутилизаторов от обмерзания;

- на все разработанные схемы установок необходимо разработать систему контроля и автоматического управления их работой.

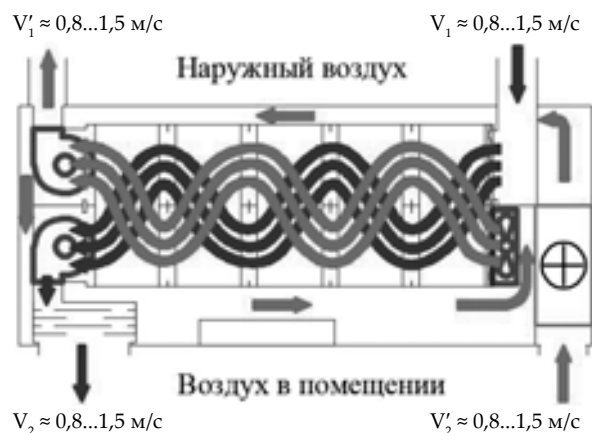


Рис. 7. Принципиальная схема (вид сверху) усовершенствованного прототипа вентиляционной установки

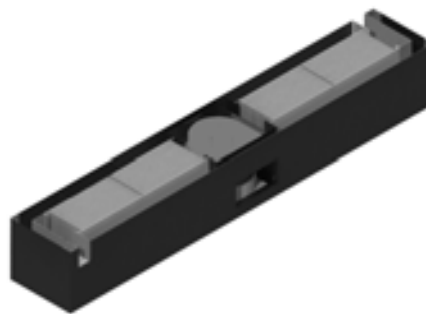


Рис. 8. 3D-модель усовершенствованного прототипа вентиляционной установки

Выводы. 1. Разработанные конструкции рекуперативных теплообменников имеют практически одинаковую эффективность утилизации теплоты на уровне 40–70 %.

2. Для достижения одного и того же эффекта по утилизации теплоты целесообразно использовать конструкцию теплообменников с гофрированной сеткой, нежели конструкцию с гофрированными пластинами, так как первая конструкция при сопоставимом эффекте утилизации теплоты обеспечивает до полутора раз меньшее аэродинамическое сопротивление.

3. Максимально достигнутая в результате испытаний эффективность утилизации тепло-

ты составила 75 %, что является средним показателем для теплообменников данного класса. В то же время имеются потенциальные возможности для повышения этого показателя за счёт совершенствования конструкции теплообменника (применение сборного многократно перекрёстно-точного теплообменника). Данное мероприятие позволит не только увеличить эффективность утилизации теплоты, но и уменьшит габаритные размеры установки, что сделает её ещё более удобной к применению в помещениях жилых зданий.

4. Разработанная прямоточная система защиты от обмерзания положительно зареко-

мендовала себя на данном этапе исследования (полного обмерзания и остановки системы зафиксировано не было). Однако схема нуждается в дальнейшей конструктивной доработке в плане организации мероприятий, повышающих её теплотехническую эффективность.

5. При разработке усовершенствованного прототипа вентиляционной установки необходимо решить следующие задачи:

- повысить эффективность утилизации теплоты в установке до гарантированного значения 85 %;
- снизить уровень шума при работе системы до максимального значения 45 дБ с учётом фонового уровня шума;
- сделать систему более компактной.

Предлагаемые габаритные размеры системы 1000×200×200 мм;

- планово снизить себестоимость системы за счёт совершенствования её технических характеристик и упрощения процесса изготовления до наименьшего возможного значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fanger O. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–21.
2. Табунщиков Ю.А. Микроклимат и энергосбережение: пора понять приоритеты // АВОК. 2008. № 5. С. 4–11.
3. Костуганов А.Б., Выхчиков Ю.С., Прилепский А.С. Проблемы вентиляции помещений современных жилых зданий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и технологическая безопасность: сборник статей / СГАСУ. Самара, 2017. С. 138–141.
4. Лобов О.И., Ананьев А.И., Кувшинов Ю.Я. Приведение нормирования теплозащитных качеств наружных стен зданий в соответствие с федеральным законом «О техническом регулировании» // Сб. докл. конф. МГСУ - РНТОС 23-25 ноября 2005 г. С. 45–48.
5. Гагарин В.Г. Потребление энергии в России и повышение энергоэффективности в строительстве // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы XI международной научной конференции 23 марта – 5 апреля 2013. Ханой, 2013. С. 55–66.
6. Р НП «АВОК» 5.2-2012. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий. Взамен ТР-АВОК 4-2008; Введ. 19.03.2012. М., 2012. 26 с.
7. Kostuganov A., Vytchikov Y., Prilepskiy A. Self-contained ventilation system of civil buildings built into window structures [Электронный ресурс] // MATEC Web of Conferences : [proceedings] of the 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018, 17-21 Sept. 2018, Rostov-on-Don, Russian Federation. Electronic data. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. Vol. 196. 6 p.
8. Kostuganov A.B., Vytchikov Yu. S. On analysis of operating efficiency of autonomous ventilation systems [Электронный ресурс] // MATEC Web of Conferences : proceedings of the RSP 2017 - XXVI R-S-P Seminar 2017 theoretical foundation of civil engineering, 21-25 aug. 2017, Warsaw, Poland / ed. by S. Jemiolo [et al.]. Electronic data. Warsaw: EDP Sciences, 2017. Vol. 117. 9 p.
9. Костуганов А.Б. К вопросу разработки энергоэффективных систем автономной вентиляции гражданских зданий [Электронный ресурс] // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных: НИУ МГСУ, 2017. С. 998–1000. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29657830>.
10. Мансуров, А.Р., Мансуров Р.Ш. Энерго- и ресурсосберегающие децентрализованные приточно-вытяжные системы вентиляции [Электронный ресурс] // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставкой работ студентов, аспирантов и молодых учёных 17–20 декабря 2013 г. Екатеринбург: УрФУ, 2013. С. 138–140. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30374808>.
11. Костуганов А.Б., Приходько В.А., Воронов А.О. Теплообменные установки для утилизации теплоты вытяжного воздуха [Электронный ресурс] // Студенческие научные общества – экономике регионов : сб. материалов Междунар. молодежной науч. конф., 31 окт. – 2 нояб. 2018 г., Оренбург. Электрон. дан. Оренбург: ОГУ, 2018. Ч. 1. С. 31–36.
12. Кокорин О.Я. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: МГСУ, 2005. 99 с.: ил.
13. Кэйс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. М.: Энергия, 1967. 224 с.: ил.
14. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции // Теория, техника и проектирование на рубеже столетий: в 2 т. Т. 1. СПб.: изд. «АТ-PUBLISHING», 2005. 504 с.: ил.
15. Протасевич А.М. Энергоснабжение в системах теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. 286 с.
16. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1983. 319 с.: ил.
17. Белоногов Н.В. Пути совершенствования пластинчатых перекрёстноточных рекуперативных теплообменников: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2005. 204 с.: ил.
18. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под. ред. М.О. Штейнберга.

3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.: ил.

19. *Куприянов В.Н., Сайфутдинова А.М., Зиганшин А.М., Сафин И.Ш.* Исследование возможностей приточно-вытяжных устройств для обеспечения нормативного воздухообмена жилых помещений [Электронный ресурс] // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. С. 245–254. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25921050>.

20. *Хаузен Х.* Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрёстном токе. М.: Энергоиздат, 1981. 384 с.: ил.

21. *Колодяжный С.А., Кавыгин А.А.* Расчёт современных пластинчатых рекуператоров с использованием функции коэффициента полезного действия // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 36 (55). С. 182–188.

22. Пат. 2 538 516 Российская Федерация. МПК F24F 7/06 (2006.01), F24F 7/08 (2006.01). Приточно-вытяжная установка с пластинчатым рекуперативным теплоутилизатором / Кавыгин А.А., Колодяжный С.А.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ВКТехнология». № 2013130112/12; заявл. 01.07.2013; опублик. 10.01.2015, Бюл. № 1.

23. Пат. Российская Федерация. МПК. Приточно-вытяжной вентиляционный прибор для энергосберегающей вентиляции небольших помещений, преимущественно квартир / Ланда Ю.И.; заявитель и патентообладатель Омск, Ланда Ю.И. № 2009108672/22; заявл. 10.03.2009; опублик. 20.11.2009, Бюл. № 32.

24. Пат. 2003 117 221 Российская Федерация. МПК F24F 5/00, F24F 11/00. Энергосберегающая система вентиляции и кондиционирования воздуха / Кокорин О.Я., Балмазов М.В.; заявитель и патентообладатель Москва, Закрытое акционерное общество «Обитель». № 2003117221/06; заявл. 10.06.2003; опублик. 20.12.2004.

25. Пат. 2 488 748 Российская Федерация. МПК F24F 7/08 (2006.01). Приточно-вытяжное вентиляционное устройство для зданий с вентилируемым фасадом / Васильев Г.П., Тимофеев Н.А., Горнов В.Ф., Лесков В.А.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Инсолар-Энерго». № 2011125778/12; заявл. 23.06.2011; опублик. 27.12.2012, Бюл. № 36.

26. Пат. 2 449 223 Российская Федерация. МПК F24F 7/08 (2006.01). Теплообменный вентилятор / ТАКАДА Масару, ОНИСИ Сигеки, АРАИ Хидемото; патентообладатель МИЦУБИСИ ЭЛЕКТРИК КОРПОРАЦИЯ. № 2010146452/12; заявл. 16.04.2008; опублик. 27.04.2012, Бюл. № 12.

27. Пат. 186 155 Российская Федерация. МПК F24F 12/00 (2006.01), F24F 13/30 (2006.01). Устройство рекуперации тепла в системах приточно-вытяжной вентиляции зданий и сооружений / Колмаков К.Н., Москалев И.С.; патентообладатели Колмаков К.Н., Москалев И.С. № 2018107993; заявл. 06.03.2018; опублик. 11.01.2019, Бюл. № 2.

28. Пат. 51 715 Российская Федерация. МПК F24F 7/007 (2006.01). Устройство утилизации тепла вытяжного воздуха / Барон А.В., Барон В.Г.; патентообладатель Барон А.В. № 2005127066/22; заявл. 26.08.2005; опублик. 27.02.2006, Бюл. № 6.

29. Третьяк Л. Н. Обработка результатов наблюдений [Электронный ресурс]. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. 171 с.

REFERENCES

1. Fanger O. The quality of indoor air in the 21st century: the impact on comfort, productivity and human health. AVOK [Association of HVAC Engineers], 2003, no. 4, pp. 12-21. (in Russian).

2. Tabunshchikov Yu.A. Microclimate and energy conservation: time to understand priorities. AVOK [Association of HVAC Engineers], 2008, no. 5, pp. 4-11. (in Russian).

3. Kostuganov A.B., Vytchikov Yu.S., Prilepsky A.S. Ventilation problems in modern residential buildings. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Yestvennyye nauki i tekhnosferayabezopasnost'* [Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and technosphere security. Collections of articles], Samara, 2017, pp. 138-141. (in Russian).

4. Lobov O.I., Ananyev A.I., Kuvshinov Yu.Ya. Bringing the regulation of heat-shielding qualities of the exterior walls of buildings in accordance with the federal law «On Technical Regulation». *Sbornik dokladov konferentsii MGSU – RNTOS 23-25 noyabrya* [Collection of reports of the conference MGSU - RNTOS November 23-25], Moscow, 2005, pp. 45-48. (in Russian).

5. Gagarin V.G. Energy consumption in Russia and energy efficiency in construction. *Kachestvo vnutrennego vozdukhа i okruzhayushchey sredy. Materialy XI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii 23marta–5 aprelya 2013* [The quality of indoor air and the environment. Materials of the XI international scientific conference March 23 - April 5, 2013], Hanoi, 2013, pp. 55-66. (in Russian).

6. RNP «ABOK» 5.2-2012. Technical recommendations for the organization of air exchange in apartments of residential buildings Instead of TR-AVOK 4-2008; Moscow, AVOK Publ., 2012. 26 p.

7. Kostuganov A., Vytchikov Y., Prilepskiy A. Self-contained ventilation system of civil buildings built into window structures. MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 196. Available at: <http://www.osu.ru/doc/1041/kaf/5729/rep/19255> (accessed 16 November 2019)

8. Kostuganov A.B., Vytchikov Yu. S. On analysis of operating efficiency of autonomous ventilation systems. MATEC Web of Conferences, 2017, Vol. 117. Available at: <http://www.osu.ru/doc/1041/kaf/5729/rep/19255> (accessed 16 November 2019)

9. Kostuganov A.B. To the question of developing energy-efficient autonomous ventilation systems for civil buildings Construction. *Stroitel'stvo-formirovaniye sredy zhiznedeyatel'nosti. Elektronnyy resurs:sbornik trudov XX*

Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh [Formation of the living environment: collection of works of the XX International Interuniversity Scientific and Practical Conference of students, master students, post-graduate students and young scientists], Moscow, 2017, pp. 998-1000. (in Russian).

10. Mansurov A.R., Kostuganov A.B., Mansurov R.Sh. Energy - and resource-saving decentralized supply and exhaust ventilation systems Energy and Resource Saving. Power supply. *Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyayemye istochniki energii. Sbornik materialov Vserossiyskoy studencheskoy olimpiady, nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem i vystaoki rabot studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Non-traditional and renewable energy sources: Collection of materials of the All-Russian Student Olympiad, scientific-practical conference with international participation and an exhibition of works of students, post-graduate students and young scientists December 17-20, 2013], Yekaterinburg, 2013, pp. 138-140. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30374808> (accessed 16 November 2019)

11. Kostuganov A.B., Prihodko V.A., Voronov A.O. Heat exchangers for extract air heat recovery. *Studencheskie nauchnye obshchestva ekonomike region. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii* [Student Scientific Societies - Regional Economics: Collection of materials of the international youth scientific conference, October 31-November 2, 2018, Orenburg / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orenburg State University"; Chief Editor V. I. Zhadanov], Orenburg, 2018, Part 1, pp. 31-36. Available at: <http://www.osu.ru/doc/1041/kaf/5729/prep/19255> (accessed 16 November 2019)

12. Kokorin O.Ya. *Otechestvennoe oborudovanie dlya sozdaniya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Domestic equipment for creating ventilation and air conditioning systems]. Moscow, MGSU Publ, 2005. 99 p.

13. Case V.M. Compact heat exchangers. Second edition. Mc Graw-Hill Book Company, 1964, 224 p. (Russ. ed.: Keys V.M., London A.L. Kompaktnye teploobmenniki. Moscow, Energiya Publ., 1967. 224 p.).

14. Sotnikov, A.G., *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukh i ventilyatsii tom1* [Processes, apparatuses and air conditioning and ventilation systems Vol. 1 Theory, technology and design at the turn of the century . In two volumes. Volume 1]. St. Petersburg, «AT-PUBLISHING» Publ., 2005.

15. Protasevich A.M. *Energosnabzhenie v sistemakh teplogazosnabzheniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Energy supply in heat and gas supply, ventilation and air conditioning systems]. Minsk: New knowledge Publ, 2012. 286 p.

16. Bogoslovsky V.N., Pos. M.Ya. *Teplofizika apparatov utilizatsii tepla sistem otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Thermophysics of heat recovery

apparatus for heating, ventilation and air conditioning systems]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 319 p.

17. Belonogov N.V. *Puti sovershenstvovaniya plastinchatykh perekrostnotochnykh rekuperativnykh teploobmennikov*: Cand, Diss [Ways to improve plate cross-flow recuperative heat exchangers. PhD Diss.]. St. Petersburg, 2005. 204 p.

18. Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim sprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992. 672 p.

19. Kupriyanov V.N., Sayfutdinova A.M., Ziganshin A.M., Safin I.Sh. Study of the possibilities of supply and exhaust devices to ensure regulatory air exchange of living spaces. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoy akademii arhitektury i stroitel'nykh nauk* [Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences], 2013, no 16. pp. 245-254. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25921050> (accessed 16 November 2019)

20. Hausen H. Heat transfer in countercurrent, forward flow, and cross current. By Springer-Verlag 1976, 384 p. (Russ. ed.: Khauzen, Kh. Teploperedacha pri protivotoke, pryamotoke i perekrestnom toke. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 384 pp.)

21. Kolodyazhny S.A., Kavygin A.A. Calculation of modern plate heat exchangers using the function of the coefficient of efficiency. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], 2014, no. 36 (55), pp. 182-188. (in Russian).

22. Kavygin A.A., Kolodyazhny S.A., e.a. *Pritochno-vytyazhnaya ustanovka s plastinchatym rekuperativnym teploutilizatorom* [Supply and exhaust unit with a plate recuperative heat exchanger]. Patent RF, no. 2013130112, 2015.

23. Landa Yu.I., e.a. *Pritochno-vytyazhnay ventilyatsionnyy pribor dlya energosberegayushchey ventilyatsii nebol'shikh pomescheniy, preimushchestvenno kvartir* [Supply and exhaust ventilation device for energy-efficient ventilation of small rooms, mainly apartments]. Patent RF, no. 2009108672, 2009.

24. Kokorin O.Ya., Balmazov M.V., e.a. *Energosberegayushchaya Sistema ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Energy-saving ventilation and air conditioning system]. Patent RF, no. 2003117221, 2004.

25. Vasiliev G.P., Timofeev N.A., Gornov V.F., Leskov V.A., e.a. *Pritochno-vytyazhnoe ventilyatsionnoe ustroystvo dlya zdaniy s ventiliruemym fasadom* [Supply and exhaust ventilation device for buildings with a ventilated façade]. Patent RF, no. 2011125778/12, 2012.

26. TAKADA M., ONISI S., ARAI H., e.a. *Teploobmennyy ventilyator* [Heat exchanger fan]. Patent RF, no 2010146452/12, 2012.

27. Kolmakov K.N., Moskalev I.S., e.a. *Ustroystvo rekuperatsii tepla v sistemakh pritochno-vytyazhnay ventilyatsii zdaniy i sooruzheniy* [Heat recovery device in the supply and exhaust ventilation systems of buildings and structures]. Patent RF, no 2018107993, 2019.

28. Baron A.V., Baron V.G., e.a. *Ustroystvo utilizatsii tepla vytyazhnogo vozdukha* [Exhaust air heat utilization device]. Patent RF, no 2005127066/22, 2006.

29. Tretyak L.N. *Obrabotka rezul'tatov nablyudeniya* [Processing the results of observations]. Orenburg, IPK OGU Publ., 2004. 171 p.

Об авторе:

КОСТУГАНОВ Арман Береклович

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики Оренбургский государственный университет 460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, 13 аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: _kostuganow@mail.ru

KOSTUGANOV Arman B.

Senior Lecturer of the Heat and Gaz Supply and Ventilation and Hydromechanics Chair Orenburg State University 460018, Russia, Orenburg, Pobedy av., 13 Postgraduate student of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: _kostuganow@mail.ru

Для цитирования: *Костуганов А.Б.* Исследование эффективности утилизации теплоты в рекуперативных теплообменниках установок автономной вентиляции // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 1. С. 36–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.6.

For citation: *Kostuganov A.B.* Research of heat disposal efficiency in recuperative heat exchangers of autonomous ventilation units. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, Pp. 36–46. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.6.

Уважаемые читатели!

Центр «Энергосбережение в строительстве» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- проведение теплотехнических обследований
- тепловизионный контроль объектов строительства
- экспериментальное исследование характеристик строительных материалов
- проектирование и обследование систем водоснабжения и водоотведения
- проектирование и обследование систем теплогазоснабжения и вентиляции
- выполнение работ по акустике и звукоизоляции зданий и сооружений
- автоматизация инженерных систем зданий и сооружений
- обеспечение светового комфорта застройки
- проведение мероприятий по пропаганде и внедрению энергоэффективных технологий в Самарской области
- изучение, обобщение и распространение передового опыта в области энергосбережения
- формирование общественного сознания в вопросах энергосбережения
- создание современной материально-технической базы для выполнения научно-проектной документации
- координация разработки и продвижения новых образовательных программ в области энергосбережения, проектирования и строительства

Руководитель *Витчиков Юрий Серафимович*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, корпус 11 (АСА СамГТУ), каб. 481
тел. (846) 339-14-76, 339-14-55
E-mail: git.2008@mail.ru