

УДК 697.921.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

*Низовцев М.И., Яворский А.И., Летушко В.Н., Бородулин В.Ю.
Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск*

Измерения тепловых потерь зданий и сооружений показывают, что около 50 % от общего расхода тепла на отопление зданий, а иногда и более, идет на нагрев воздуха, поступающего с улицы для вентиляции помещений (рис. 1), а затем удаляется вместе с ним через общеобменную вентиляцию. Помимо того, что величина теплотерь с воздухообменом одна из определяющих, сам процесс воздухообмена не регулируется и часто бывает для одних помещений избыточным, а для других недостаточным.



Рис. 1. Распределения расхода тепла на отопление современного многоквартирного жилого дома

В настоящее время актуальность решения вопросов регулируемой вентиляции жилых помещений с регенерацией тепла вентилируемого воздуха становится особенно остро, так как с одной стороны растут цены на энергоносители, что вынуждает более активно заниматься вопросами энергосбережения. С другой стороны, все шире начинают применяться новые энергоэффективные конструкции стен и окон, которые, как правило, обладают низкой воздухопроницаемостью, и возникает необходимость специально заниматься вопросами воздухообмена в жилых помещениях.

Сложность решения вопросов воздушной регенеративной вентиляции вызвана низкими коэффициентами теплообмена между воздушной средой и поверхностью твердого тела, что приводит к протяженным теплообменным поверхностям и значительным габаритам теплообменных аппаратов. Другая проблема, которую приходится решать – отвод влаги, конденсирующейся из воздуха внутреннего помещения по мере его охлаждения в теплообменном аппарате.

Эффективность используемых конструкций воздушных регенераторов тепла еще не достаточно высока, кроме того, существенным недостатком известных устройств является и то, что они надежно работают только при относительно высоких

температурах наружного воздуха, в противном случае поверхности теплообмена в них обмерзают, и аппараты перестают выполнять свои функции. Это вызывает необходимость проведения научно-исследовательских работ по оптимизации уже имеющихся конструкций и поиску новых технических решений.

Для утилизации тепла воздушных потоков применяются различные конструкции теплообменников. При выборе теплообменника для утилизации тепла вентиляционных выбросов необходимо принимать во внимание особенности их эксплуатации. Основным назначением вентиляционной системы является обеспечение необходимого количества свежего воздуха, удаление из помещения вредных веществ, бактерий, влаги и пыли.

С учетом особенностей условий эксплуатации определяют требования к конструкции теплообменника для утилизации тепла вентиляционного воздуха. Обычно основными требованиями к такому аппарату являются: высокая эффективность, конструкция теплообменника должна быть простой для разборки и очистки теплообменной поверхности от загрязнений и пыли, поступление вытяжного воздуха в приточную систему должно быть минимальным, должен быть обеспечен вывод из теплообменника влаги, сконденсированной из потока удаляемого воздуха; гарантирована высокая надежностью в условиях отрицательных температур наружного воздуха, когда существует опасность обмерзания теплообменника и выхода его из строя.

В настоящее время применение получили четыре типа утилизаторов тепла вытяжного воздуха: пластинчатые и роторные теплообменники, утилизаторы тепла с использованием промежуточного теплоносителя и теплообменники на основе тепловых труб. Наряду с работами, направленными на исследование и совершенствование [1] рассмотренных выше традиционных конструкций воздушных теплоутилизаторов, в различных научно-исследовательских центрах продолжают выполняться работы по созданию принципиально новых образцов [2–5].

В 2012 г. в Институте теплофизики СО РАН начаты лабораторные исследования нового воздухо-воздушного теплообменника с промежуточным теплоносителем для утилизации тепла вентиляционного воздуха [6]. На рис. 2 показана принципиальная схема исследуемого теплообменника. Он состоит из двух колонок, заполненных насадкой, в качестве насадки использовался керамический гравий. Насадка каждой из колонок продувается снизу вверх потоком воздуха с помощью вентилятора, причем в одну колонку подается воздух, который поступает с улицы в помещение, а через другую направляется воздух из помещения на улицу.

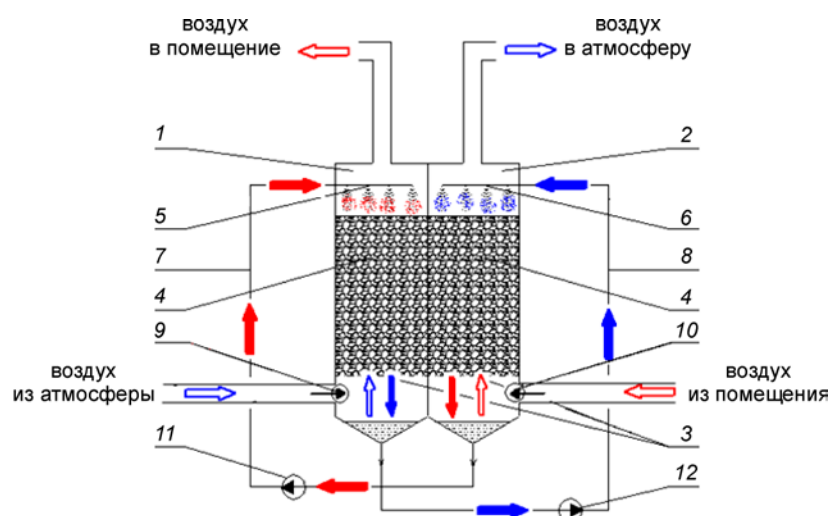


Рис. 2. Схема воздухо-воздушного теплообменника с промежуточным теплоносителем. 1, 2 – корпуса колонок, 3 – решетки, 4 – насадка, 5, 6 – оросители, 7, 8 – трубопроводы, 9, 10 – воздушные вентиляторы, 11, 12 – водяные насосы.

В верхней части каждой из колонок смонтирован ороситель, который разбрызгивает раствор на верхнюю поверхность насадки. Раствор через насадку стекает вниз колонки, соприкасаясь на поверхности насадки с поднимающимся вверх потоком воздуха. Стекающий раствор с помощью насоса подается в ороситель соседней колонки. В результате воздушные потоки, имеющие разную температуру, проходя через колонки с насадкой, обмениваются теплом через промежуточный жидкий теплоноситель.

В процессе измерений фиксировались температура и влажность воздуха на входе и выходе каждой колонки, а также расходы воздуха и промежуточного жидкого теплоносителя через каждую колонку.

На рис. 3 показан общий вид экспериментального стенда и работа оросителя одной из колонок.



Рис. 3. Экспериментальный стенд: а) общий вид, б) работа оросителя.

Расход воздуха через обе колонки был постоянным и составлял $150 \text{ м}^3/\text{час}$, а расход жидкого теплоносителя был одинаков для обеих колонок, но в разных опытах изменялся от 30 л/час до 350 л/час . Колонку, в которую подавался на вход теплый воздух из помещения, условно далее будем называть “охлаждающая”, а колонку, в которую на вход поступал холодный воздух с улицы – “греющая”. Эксперименты проводились в зимнее время, воздух в охлаждающую колонку подавался из лабораторного помещения и был очень сухим, его влажность составляла $13\%–16\%$.

В первой серии экспериментов в качестве промежуточного теплоносителя использовалась вода, по этой причине воздух с улицы перед поступлением в греющую колонку смешивали с воздухом помещения, для повышения температуры воздуха на входе выше $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рис. 4 приведены результаты измерений температур воздушных потоков на входах и выходах из колонок при расходе воды через колонки 110 л/час . Из результатов эксперимента следовало, что изменение температуры воздуха между входом и выходом для охлаждающей колонки было $19.1 \text{ }^\circ\text{C}$, что существенно превышало соответствующий перепад температур в греющей колонке, который составлял $4.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Это было связано с интенсивным испарением воды в относительно сухой воздух, поступавший из помещения, что увеличивало охлаждающий эффект в охлаждающей колонки и наоборот снижало нагрев воздуха поступающего с улицы. Данная особенность отражалась и в изменении температуры воды при прохождении колонок (рис. 5), так в охлаждающей колонке повышение температуры воды между входом и выходом составило $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ и было существенно меньше, чем охлаждение воздуха в колонке, а в греющей колонке наоборот снижение температуры воды составило 5°C и превышало увеличение температуры воздуха в колонке.

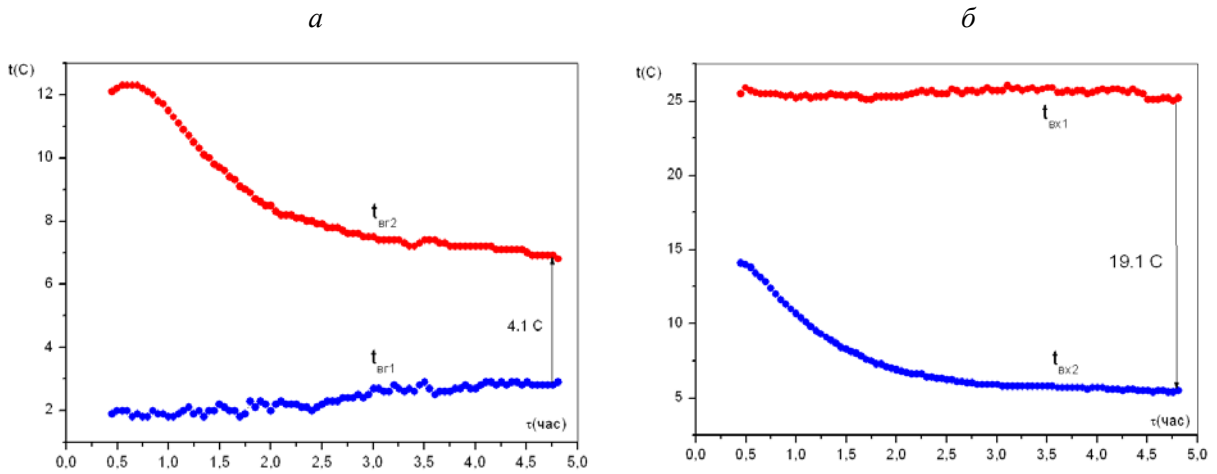


Рис. 4. Температура воздуха на входе и выходе из колонок при орошении водой, $G_{жк} = 110$ л/час:
 а) греющая колонка, б) охлаждающая колонка.

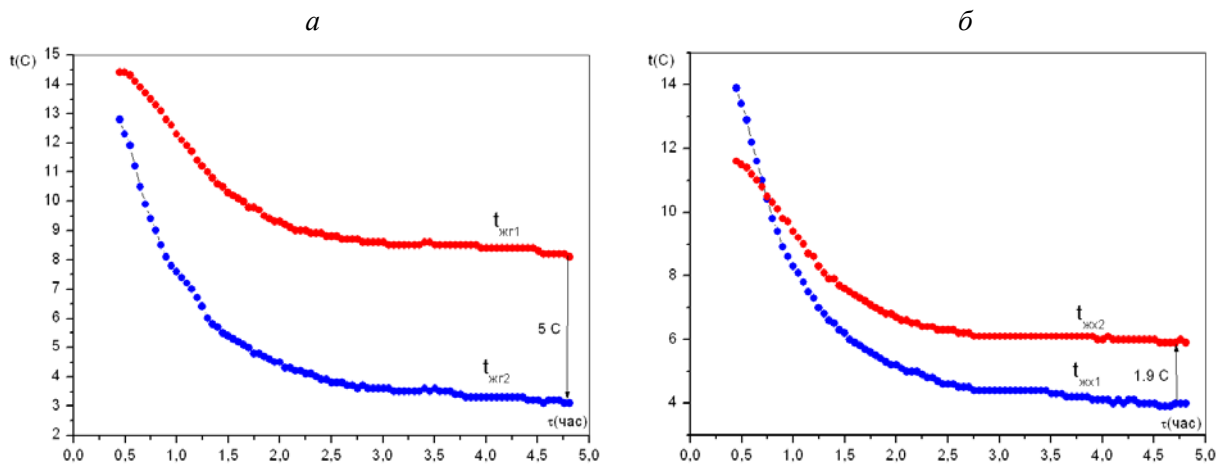


Рис. 5. Температура воды на входе и выходе из колонок при орошении водой, $G_{жк} = 110$ л/час:
 а) греющая колонка, б) охлаждающая колонка.

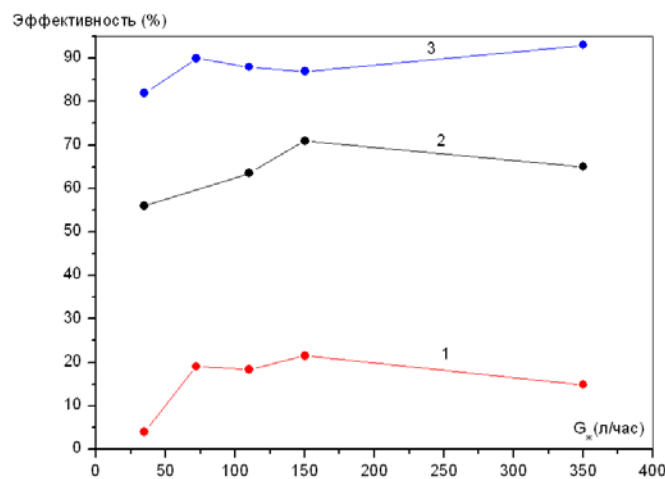


Рис. 6. Эффективность: 1 – температурная по греющей колонке, 2 – энтальпийная по греющей колонке, 3 – температурная по охлаждающей колонке.

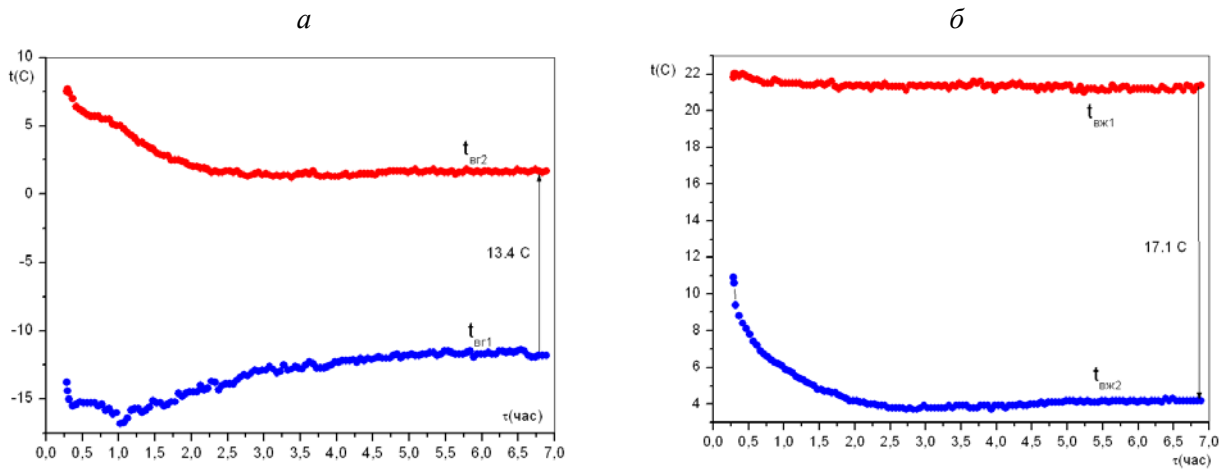


Рис. 7. Температура воздуха на входе и выходе из колонок при орошении раствором хлористого кальция, $G_{ж} = 110$ л/час: а) греющая колонка, б) охлаждающая колонка.

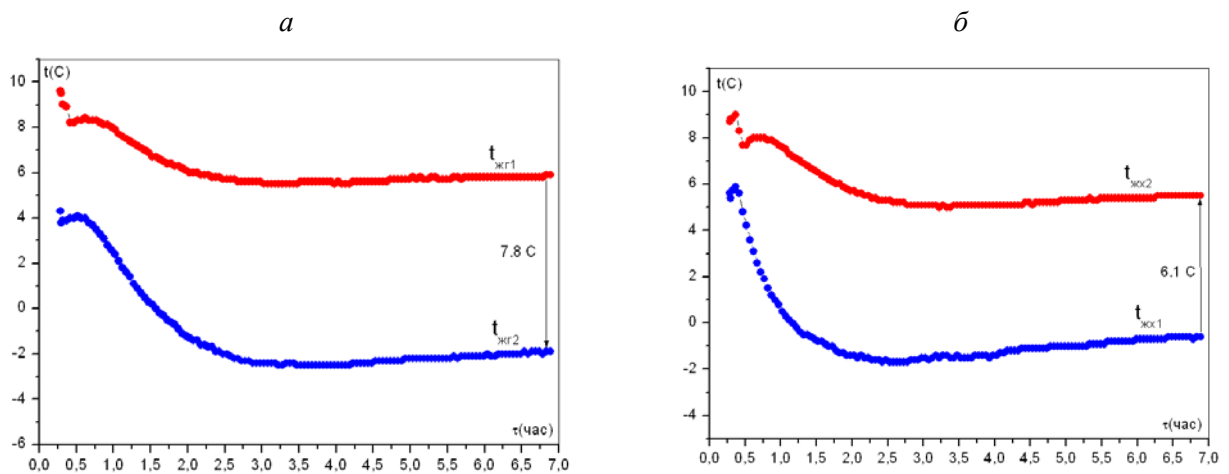


Рис. 8. Температура воды на входе и выходе из колонок при орошении раствором хлористого кальция, $G_{ж} = 110$ л/час: а) греющая колонка, б) охлаждающая колонка.

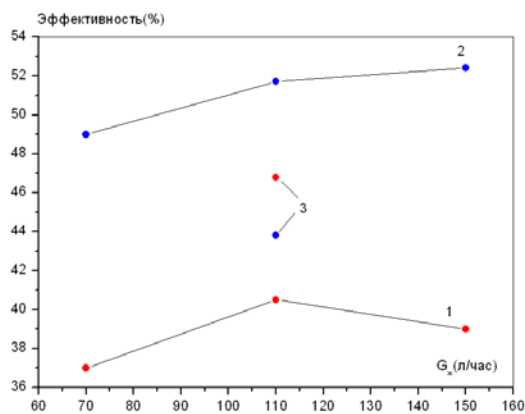


Рис. 9. Эффективность: 1 – температурная по греющей колонке, 2 – температурная по охлаждающей колонке, 3 – при повышении влажности на входе в охлаждающую колонку

Нагрев и охлаждение воздуха в колонках можно характеризовать температурной эффективностью, которая определяется отношением абсолютной величины перепада температур воздуха на входе и выходе колонки к температурному перепаду воздуха между входами греющей и охлаждающей колонок. На рис. 6 показаны результаты определения температурной эффективности нагрева и охлаждения воздуха при различных расходах воды. По результатам экспериментов температурная эффективность охлаждающей колонки была около 90% при расходе воды от 70 л/час до 350 л/час, а греющей колонки незначительно превышала 20% при расходах воды 70 л/час – 150 л/час.

Следует обратить внимание, что в экспериментах при прохождении воздухом греющей колонки его влажность увеличивалась, и в помещение подавался более влажный воздух, чем на улице, что важно в зимнее время с учетом проблем малой влажности воздуха в помещениях в регионах с низкой температурой наружного воздуха. На рис. 6 линия 2 соединяет экспериментальные точки определения энтальпийной эффективности по воздуху греющей колонки. Энтальпийная эффективность определялась аналогично температурной эффективности, но с использованием вместо температур энтальпий воздушных потоков. По результатам экспериментов энтальпийная эффективность греющей колонки достигала около 70%.

Использование воды в качестве промежуточного теплоносителя не позволяет применять данный теплообменник при низких температурах входящего с улицы воздуха. Поэтому, в следующей серии экспериментов в качестве промежуточного теплоносителя использовался раствор хлористого кальция с массовой концентрацией соли 26%–28%. Раствор CaCl_2 данной концентрации не замерзает при температурах $-36^\circ\text{C} \div -41^\circ\text{C}$, кроме того он имеет еще важное преимущество при использовании в подобных аппаратах, это то, что максимальная влажность воздуха над данным раствором не превышает 60%–70% относительной влажности.

Результаты измерения температур воздуха на входах и выходах из колонок при расходе раствора CaCl_2 110 л/час приведены на рис. 7. Из результатов эксперимента следовало, что перепад температур воздуха по греющей колонке увеличился до 13.4°C по сравнению с результатом рис. 4а, а по охлаждающей колонке перепад снизился до 17.1°C по сравнению с результатом рис. 4б. Перепад температур по раствору также увеличился в обеих колонках (рис. 8).

Температурная эффективность по греющей колонке при расходе раствора CaCl_2 110 л/час по сравнению с водой увеличилась до 41% (в 2 раза), а по охлаждающей колонке снизилась до 52% (рис.9).

Низкая влажность воздуха, удаляемого из помещения через теплообменник, при использовании в качестве промежуточного теплоносителя раствора CaCl_2 влияла на тепловую эффективность аппарата, хотя и в существенно меньшей степени, чем при использовании воды. Для определения этого влияния был проведен эксперимент с увлажнением воздуха до 34% относительной влажности, который поступал в охлаждающую колонку. По результатам эксперимента температурная эффективность греющей колонки увеличилась до 47%, а охлаждающей снизилась до 44% (см. точки 3 на рис.9).

Выводы

Выполненное экспериментальное исследование нового регенеративного воздухо-воздушного теплообменника с промежуточным теплоносителем для утилизации тепла вентиляционного воздуха показало:

1. При использовании воды в качестве промежуточного теплоносителя значительное влияние на температурную эффективность охлаждения и нагрева воздуха оказывали

процессы испарения, увеличивающие эффективность охлаждающей колонки и снижающие эффективность греющей колонки.

2. При использовании раствора хлорида кальция регенеративный теплообменник устойчиво работал при отрицательных температурах входящего с улицы воздуха с температурной эффективностью греющей колонки более 40%.
3. Для дальнейшего повышения температурной эффективности колонок регенератора тепла вентиляционного воздуха необходимо проведение дальнейших исследований по оптимизации процессов тепло- и массообмена в колонках.

Литература

1. Kragh J., Rose J., Nielsen T.R., Svendsen S. New counter flow heat exchanger designed for ventilation systems in cold climates / *Energy and Buildings* 39 (2007). – P. 1151–1158.
2. Aristov Yu.I. a, Mezentsev I.V. b, Mukhin V.A. A new approach to regenerating heat and moisture in ventilation systems / *Energy and Buildings* 40 (2008) . – PP. 204–208.
3. Ephraim M. Sparrow, Jimmy Tong C.K., Mark R. Johnson and Gerry P. Martin. Heat and Mass transfer characteristics of rotating regenerative total energy wheel // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – Vol 50. – 2007. – P. 1631–1636.
4. Низовцев М.И. Дисковый теплообменник/ Низовцев М.И., Терехов В.И., Яворский А.И. // Патент на изобретение № 2255282 от 27 июня 2005.
5. Низовцев М.И. Экспериментальное исследование динамических и тепловых характеристик дискового вентилятора-регенератора тепла вентиляционного воздуха // *Известия Вузов. Строительство*. – 2007. – № 10. – С. 46–50.
6. Яворский А.И. Способ регенерации тепла вентиляции// Заявка на изобретение № 2010121465/06 от 26.05.2010.