

ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ С ПЛАСТИНЧАТЫМИ РЕКУПЕРАТОРАМИ ТЕПЛА. ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЫНКА

Факторы формирования спроса на приточно-вытяжные системы вентиляции с рекуперацией тепла

Приточно-вытяжные установки с рекуперацией тепла становятся все более популярным решением для организации вентиляции в квартирах и частных домах (рис. 1), несмотря на высокую стоимость оборудования и ряд технических сложностей, возникающих при проектировании, монтаже и эксплуатации систем. Такие установки позволяют экономить до 60–80% энергии, затрачиваемой на подогрев приточного воздуха. Возможность снижения эксплуатационных расходов — серьезный, но не единственный аргумент в пользу выбора более дорогого вентиляционного оборудования. Дело в том, что использование вентиляции с рекуперацией тепла дает возможность существенно снизить электрическую и тепловую мощность, необходимую для подключения установки.

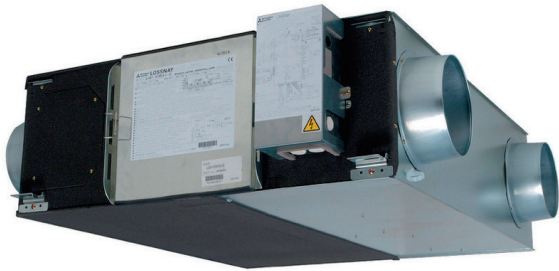


Рис. 1. Приточно-вытяжная вентиляционная установка для подвесного потолочного монтажа (LGH-35 RVX-E)

Для подогрева уличного воздуха с температурой -25°C в объеме 200 кубометров в час до $+22^{\circ}\text{C}$ в обыкновенной приточной вентиляционной установке потребуется нагреватель мощностью 3,3 киловатта. Дополнительный подогреватель придется установить и в установке с высокоэффективным рекуператором (рис. 4), так как одного только тепла рекуперации не хватит, однако мощность этого подогревателя будет всего 1 киловатт. Если речь идет о квартире, выделить 1 киловатт электрической мощности для нагревателя, скорее всего, не составит труда, в то время как подключить 3,3 киловатта может быть затруднительно.

Еще актуальнее вопрос мощности стоит при организации вентиляции частных домов с отсутствующим газоснабжением. С одной стороны, современные технологии строительства и новые материалы позволяют строить дома с удельными расчетными теплопотерями в холодном климате на уровне 30–40 ватт на квадратный метр (без учета подогрева вентиляционного воздуха). Таким образом, для полноценного

обогрева частного дома площадью 100–160 квадратных метров может оказаться достаточно от 3,5 до 7 киловатт тепла. С другой стороны, стоимость подключения газоснабжения в Московской области может достигать 600 тысяч рублей и более. В результате значительное количество собственников небольших частных домов принимает решение отложить подключение газа и использовать для обогрева электричество. Подключить к частному дому до 15 киловатт электрической мощности в большинстве случаев не составит проблем, но эта мощность будет использоваться не только для отопления, но и для подогрева горячей воды, освещения, работы кухонной плиты, микроволновой печи, чайника, холодильника, стиральных, сушильных и посудомоечных машин, и всех бытовых приборов. Кроме того, тарифы на электричество достаточно высоки, поэтому при отсутствии газоснабжения вопрос экономии энергии в частном доме очень важен.

Современный индивидуальный энергоэффективный дом, помимо низких теплопотерь, обладает высокой герметичностью. Постоянное проживание в таком доме требует обязательной организации вентиляции. Для дома площадью 100–160 квадратных метров, в котором живут 3–4 человека, минимальный приток свежего воздуха должен составлять примерно 200 кубометров в час, не важно, при помощи механической приточной вентиляции или через открытые форточки и переточные клапаны. В любом случае, для подогрева 200 кубометров воздуха в час потребуются дополнительно 3,3 киловатта тепловой энергии. При «естественной» вентиляции эта нагрузка ляжет на систему отопления, а при наличии механической приточной вентиляции — на электрический или водяной подогреватель приточного воздуха. Использование рекуперации тепла позволяет уменьшить необходимую дополнительную мощность до 1 киловатта, и часто именно это имеет решающее значение.

В домах площадью более 200 квадратных метров, а также в домах с невысокой тепловой изоляцией необходимость газоснабжения не вызывает сомнений. С одной стороны, это делает вопрос подогрева вентиляционного воздуха не столь актуальным, с другой — для больших домов с высокими требованиями к комфорту минимальный приток свежего воздуха должен составлять не менее 600–800 кубометров в час. Для подогрева такого количества воздуха нужно уже 12–15 киловатт тепла. То есть нужен газовый котел значительно большей мощности, чем потребовалось бы только для компенсации тепловых потерь и горячего водоснабжения. При этом нередко, например, для домов, расположенных на территориях коттедж-



Виталий Алексеевич Волков, к. т. н., эксперт по системам вентиляции

ных поселков, вводятся ограничения максимального суточного потребления газа, поэтому тепла на подогрев вентиляционного воздуха может не хватать. Использование системы вентиляции с рекуперацией тепла позволит обойтись увеличением мощности котла для подогрева свежего воздуха всего на 4 киловатта при расходе воздуха 800 кубометров в час. Еще бо-

лее существенно будут снижены эксплуатационные расходы.

Все эти факторы создают благоприятные условия для использования приточно-вытяжных систем вентиляции с рекуперацией тепла во всех сегментах рынка частных квартир и индивидуальных жилых домов. Что касается малых и средних объектов коммерческого назначения, то здесь решающую роль играет объем первоначальных инвестиций, поэтому при наличии доступных мощностей для подогрева вентиляционного воздуха предприниматели и предприятия все еще предпочитают нести повышенные эксплуатационные расходы, чем инвестировать в более дорогие и сложные системы с рекуперацией тепла.

В результате на рынке оборудования для систем вентиляции востребованы компактные установки производительностью по воздуху от 150 до 500 кубометров в час для квартир и небольших энергоэффективных частных домов и установки производительностью 500–1500 кубометров в час для больших частных домов. При более высоких расходах воздуха и наличии технических помещений достойной альтернативой компактным вентиляционным установкам с рекуперацией становятся блочные промышленные центральные кондиционеры, которые обладают более широкими функциональными возможностями и привлекательной стоимостью.

Конструкция приточно-вытяжной вентиляционной установки

Основным элементом приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуперацией тепла является пластинчатый рекуперативный теплообменник поверхностного типа. Он позволяет использовать тепло вытяжного воздуха, который удаляется из помещений вытяжным вентилятором, для подогрева уличного воздуха, который подается в помещения приточным вентилятором. Теплообмен между вытяжным и приточным потоками осуществляется непрерывно через разделяющую стенку теплообменника.

Поскольку эффективность передачи тепла напрямую зависит от состояния теплопередающей поверхности, для ее защиты от загрязнений обязательно используются фильтры приточного и вытяжного воздуха.

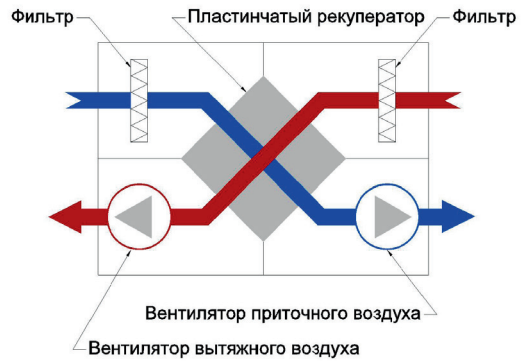


Рис. 2. Приточно-вытяжная вентиляционная установка с рекуперацией тепла

Кроме пластинчатых теплообменников, в приточно-вытяжных установках могут использоваться роторные регенеративные теплообменники. Традиционно такие установки называются приточно-вытяжными рекуператорами с роторным теплообменником.

Эффективность пластинчатого рекуператора

Основная характеристика пластинчатого рекуператора — его эффективность, показывающая, насколько хорошо идет процесс передачи тепла от одного потока воздуха к другому. Эффективность рекуператора по температуре можно рассчитать по формуле

$$\varepsilon = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{11} - t_{21}},$$

где t_{11} — температура приточного воздуха перед рекуператором;

t_{12} — температура приточного воздуха после рекуператора;

t_{21} — температура вытяжного воздуха перед рекуператором.

Например, если температура наружного воздуха $t_{11} = -25^\circ\text{C}$, температура приточного воздуха $t_{12} = +10^\circ\text{C}$, температура вытяжного воздуха $t_{21} = +24^\circ\text{C}$, эффективность рекуператора будет равна

$$\varepsilon = \frac{-25 - 10}{-25 - 24} = 0,71 \text{ или } 71\%$$

Данный показатель не учитывает дополнительных затрат электроэнергии вентиляторами для преодоления аэродинамического сопротивления при прохождении потока воздуха между пластинами рекуператора. Поэтому считать, что один рекуператор лучше другого, только потому, что у него выше эффективность, неправильно. При одинаковой эффективности аэродинамическое сопротивление рекуператора может существенно отличаться. Например, при одинаковых расходах воздуха аэродинамическое сопротивление (dP) одного рекуператора будет равно 100 Па, а другого — 200 Па. Это значит, что для прохождения воздуха через рекуператоры вентиляторы

второй установки будут потреблять в 2 раза больше электроэнергии. В некоторых случаях выгода от дополнительной экономии энергии за счет более эффективной рекуперации тепла может оказаться меньше, чем суммарное увеличение энергопотребления.

Казалось бы, зная эффективность рекуператора и значение температуры воздуха на входе в него, можно определить температуру приточного воздуха после рекуператора для любых условий:

$$t_{12} = \varepsilon(t_{11} - t_{21}) + t_{11},$$

но это будет некорректно.

Эффективность рекуператора существенно изменяется при изменении температуры и влажности воздуха [1]. Кроме того, эффективность пластинчатого рекуператора очень сильно зависит от расхода воздуха через него. Этими двумя факторами активно пользуются производители, чтобы представить свою продукцию в более выгодном свете. Например, в каталогах оборудования тепловая эффективность рекуператора может быть заявлена на уровне более 90%, в то время как значение, определенное по нормам европейского регламента по экодизайну № 1253/2014, будет только 80%, но эта цифра может отсутствовать в технических характеристиках оборудования или же быть представлена в неявном виде, например через соответствующие графические зависимости. Однако оба значения эффективности достоверны, поэтому формально претензий к производителям быть не должно.

В результате сравнение тепловой эффективности рекуператоров становится чрезвычайно трудоемкой задачей. Если для крупных вентиляционных систем еще можно попытаться рассчитать и объективно сравнить параметры рекуператоров с помощью заводских программ подбора, то при выборе небольших установок, особенно отечественных или малоизвестных зарубежных производителей, даже специалистам приходится полагаться исключительно на личный опыт, имидж компании и уровень доверия к бренду.

Варианты конструкции пластинчатого рекуперативного теплообменника

В настоящее время можно встретить различные конструктивные исполнения рекуперативных теплообменников поверхностного типа.

Традиционно в системах вентиляции используются *перекрестноточные пластинчатые рекуператоры*, в которых приточный и вытяжной потоки движутся перпендикулярно друг другу по каналам, образованным разделительными пластинами. Важным преимуществом всех типов пластинчатых рекуператоров является то, что потоки воздуха не соприкасаются друг с другом, а высокая герметичность конструкции обеспечивает отсутствие перетоков. Такие рекуператоры можно использовать для утилизации тепла загрязненного вытяжного воздуха из помещений санузлов, ванных комнат... Однако для утилизации тепла вытяжного воздуха, содержащего химически опасные вещества, пластинчатые рекуператоры применять нельзя, в этом слу-

чае следует использовать системы с промежуточным теплоносителем.

Эффективность стандартных перекрестноточных рекуператоров составляет 50–60%. По современным меркам это немного, роторные теплообменники обладают более высокой энергоэффективностью, однако их недостаток — переток воздуха, составляющий 5–10%.

Помимо невысокой эффективности, проблемой пластинчатых рекуператоров является обмерзание поверхности теплообмена при отрицательных температурах приточного наружного воздуха. Теплый вытяжной воздух содержит значительное количество влаги, которая выпадает на поверхности пластинчатого теплообменника в процессе охлаждения. Дальнейшее охлаждение влаги приточным холодным воздухом приводит к образованию инея в вытяжных каналах теплообменника, увеличению сопротивления, снижению эффективности теплопередачи и постепенному заполнению инеем всего сечения канала. Сама конструкция перекрестноточного рекуператора предполагает наличие неблагоприятного «холодного угла» [2], в котором собирается наибольшее количество влаги при низкой температуре воздуха и, соответственно, создаются благоприятные условия для образования инея. Одно из наиболее интересных и актуальных исследований вопроса обмерзания приведено в [3], где показаны результаты испытания работы пластинчатого теплообменника при низких температурах и дана качественная оценка процессов образования инея в каналах.

Чтобы повысить эффективность рекуперации в приточно-вытяжных системах, некоторые производители используют *несколько пластинчатых рекуператоров, установленных последовательно друг за другом*. В этом случае удается повысить эффективность рекуперации до 60–75%. Кроме того, по информации от производителей, использование нескольких рекуператоров позволяет избежать обмерзания. Так, некоторые производители и поставщики обещают работу оборудования без обмерзания рекуператоров при температурах входящего воздуха до -15°C , но есть и такие, кто указывает еще более низкую рабочую температуру — до -25 и даже -35°C . Однако при детальном изучении создается впечатление, что такая информация носит больше рекламно-информационный характер и, как правило, отсутствует в официальной документации оборудования или имеет ряд дополнительных оговорок. В открытых источниках в большинстве случаев также не удастся обнаружить каких-либо достоверных исследований работы нескольких перекрестноточных рекуператоров при низкой температуре входящего воздуха. Данный вопрос активно обсуждается на профильных форумах в Интернете, но приводимая там информация носит субъективный и противоречивый характер. В свою очередь разработчики оборудования отмечают, что использование нескольких пластинчатых рекуператоров значительно усложняет конструкцию корпуса, обеспечивающего герметичность и предотвращающего перетоки между вытяжным и приточным воздухом.

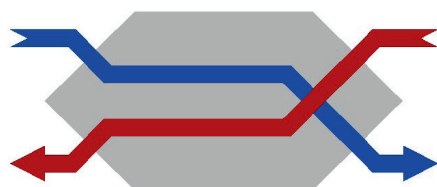
Следующим этапом развития пластинчатых рекуператоров стало появление *противоточных рекуперативных теплообменников*. В таких теплообменниках потоки воздуха движутся навстречу друг другу, что обеспечивает максимальную эффективность передачи тепла и увеличивает площадь поверхности теплообмена. По информации производителей, при некоторых температурных и влажностных параметрах приточного и вытяжного воздуха противоточные пластинчатые рекуператоры могут обеспечить эффективность 90–94%, что является очень высоким показателем даже по сравнению с роторными теплообменниками. Однако оценка эффективности по нормам Регламента ЕС № 1253/2014 при стандартных параметрах воздуха показывает значение 80–84%. Среди российских производителей рекуператоров не удалось найти ни одного, указывающего параметры согласно Регламенту ЕС № 1253/2014 или имеющего сертификат Eurovent. В то же время официальных отечественных стандартов оценки эффективности рекуператоров не существует.



Перекрестноточный теплообменник
Эффективность 50 - 65%



Двойной перекрестноточный теплообменник
Эффективность 60-75%



Противоточный теплообменник
Эффективность >80%

Рис. 3. Варианты конструкции пластинчатых рекуперативных теплообменников

Конструкция противоточного рекуператора позволяет практически исключить проблему «холодного угла». Такое устройство значительно меньше подвержено обмерзанию в процессе эксплуатации при низких температурах, в официальной документации производителей можно увидеть минимальные значения рабочей температуры входящего воздуха на уровне -10 — -15°C .

Первоначально прямоточные рекуператоры разрабатывались для применения в компактных приточно-вытяжных установках частного жилья, где требуется высокая эффективность, а полноценное использование роторных теплообменников затруднено из-за проблем с перетоками воздуха. Сейчас производители предлагают противоточные пластинчатые рекуператоры с эффективностью выше 80% для промышленных центральных кондиционеров большой мощности. Можно ожидать, что в перспективе пластинчатые рекуператоры начнут вытеснять роторные.

Для изготовления пластинчатых теплообменников в основном используется алюминиевая фольга, обладающая высоким коэффициентом теплопередачи и позволяющая интенсифицировать теплообмен за счет создания дополнительных канавок или иного рельефа поверхности. В последние годы на рынке появились энтальпийные пластинчатые рекуператоры, в которых приточный воздух забирает у вытяжного не только тепло, но и влагу. Для их изготовления применяется бумага, пропитанная специальным составом, или полимерная мембрана, пропускающая влагу на молекулярном уровне. Такие теплообменники более эффективны, но имеют меньшую механическую прочность, и поэтому их обмерзание в процессе эксплуатации недопустимо. На сегодняшний день накоплено еще слишком мало опыта эксплуатации и статистических данных по реальному сроку службы, надежности и долговечности энтальпийных рекуператоров. Пока такие устройства используются главным образом в вентиляционных установках с относительно небольшим расходом воздуха. Производители обещают, что мембранные пластинчатые рекуператоры способны прослужить до 10 лет.

Решения по предотвращению обмерзания рекуперативного теплообменника

Проблема образования конденсата и обмерзания каналов теплообменника значительно усложняет эксплуатацию приточно-вытяжных систем вентиляции с пластинчатыми рекуператорами. Тем не менее существует ряд решений, обеспечивающих работу рекуперационной установки при низких температурах: временное отключение вентиляции по датчику температуры входящего воздуха, циклическое включение режима осушения рекуператора по таймеру, включение режима оттаивания по датчику перепада давления... [4]. В основе этих решений — возможность встроенной автоматики значительно снизить или полностью приостановить подачу приточного воздуха в помещения на время осушения и оттаивания рекуператора. В отсутствие холодного притока теплый вытяжной воздух может быстро прогреть, освободить от инея и осушить поверхность рекуператора, после чего тот снова будет готов к работе.

Учитывая, что при относительно низких температурах наружного воздуха процесс намерзания инея на рекуператоре может продолжаться до 9 часов [3], а оттаивание занимает ориентировочно 10–20 минут, такие «компромиссные» алгоритмы работы автоматики вполне допустимы. Широкое применение современных ЕС-вентиляторов с плавным регулированием скорости вращения позволило производителям повысить качество «компромиссных» режимов, оптимизировав расход приточного и вытяжного воздуха для циклов оттаивания. Кроме того, использование противоточных рекуперативных теплообменников и теплообменников с влагопередающей мембраной делает оборудование более устойчивым к образованию инея. В то же время при снижении или прекращении подачи приточного воздуха существенно нарушается воздушный баланс в обслуживаемых помещениях. В режиме оттаивания воздух, необходимый для компенсации оттока через вытяжку, будет подсасываться из соседних помещений и с улицы, через щели в окнах и дверях, а также через вытяжные каналы естественной вентиляции, что приведет к временному нарушению комфортного режима.

При температуре наружного воздуха -10°C и ниже скорость обмерзания значительно возрастает, и «компромиссные» режимы работы могут оказаться неспособны удовлетворить требования комфорта, особенно на объектах, расположенных в суровых климатических условиях. Когда среднемесячная температура наружного воздуха находится ниже установленных производителем рабочих диапазонов на протяжении 3–5 месяцев, «компромиссный» режим эксплуатации оборудования становится основным. В этом случае стандартную рекуперационную установку (рис. 2) рекомендуется дооснастить дополнительным оборудованием, установив запорный клапан на входе свежего воздуха, клапан на выходе вытяжного воздуха, предварительный нагреватель с защитным фильтром и дополнительный нагреватель (см. рис. 4).

Дополнительный нагреватель располагается после рекуператора и обеспечивает подогрев приточного воздуха до температуры воздуха в помещении. Например, если зимой в помещении будет поддерживаться $+24^{\circ}\text{C}$, то температура приточного воздуха после рекуперативного теплообменника может быть на уровне $+16\dots+18^{\circ}\text{C}$, что недостаточно комфортно для приточной вентиляции и создает дополнительную нагрузку на систему отопления. Как правило, использование дополнительного нагревателя рекомендуется производителями приточно-вытяжных рекуперационных систем. Система автоматики

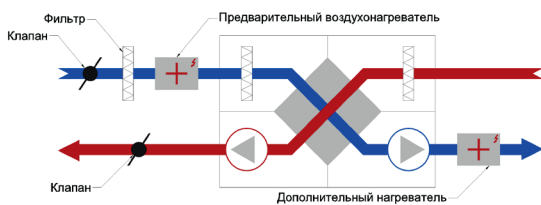


Рис. 4. Дополнительное оборудование для приточно-вытяжной установки с рекуператором

многих моделей предусматривает его простое подключение и управление им.

Предварительный нагреватель обеспечивает подогрев свежего воздуха перед рекуператором до минимально допустимой температуры, указанной производителем вентиляционной установки, или до температуры, при которой установка начинает работать с использованием «компромиссных» режимов — обычно от -15 до -5°C . Для небольших приточно-вытяжных систем целесообразно применять электрический нагреватель. При значительных расходах воздуха и наличии газового котла, например в коттедже, нагреватель может быть водяным, с применением незамерзающей жидкости.

Вопрос автоматизации работы предварительного нагревателя требует дополнительного внимания. С одной стороны, штатная система автоматики ряда вентиляционных установок не поддерживает подключение предварительного нагревателя. В этом случае потребуются использовать дополнительный шкаф управления с регулятором мощности, контроллером, датчиками температуры и прочими компонентами. Сложности могут возникнуть и при подключении сервоприводов запорных воздушных клапанов. С другой стороны, на рынке есть производители, которые предлагают штатную систему автоматики, рассчитанную на управление не только дополнительным, но и предварительным нагревателем, а также воздушными клапанами. Кроме того, существуют модели приточно-вытяжных установок со встроенными предварительным и дополнительным нагревателями. Стоимость таких устройств несколько выше, но заказчик получает от производителя законченный функциональный агрегат, не требующий дополнительных доработок и адаптации к холодному климату.

Интересное решение для круглогодичной эксплуатации приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуператором предлагают некоторые отечественные разработчики. В вентиляционных установках, предназначенных для стабильной работы в условиях Сибири и Центральной России, производители используют *трехступенчатый энтальпийный рекуператор*. Производители обещают стабильную эксплуатацию рекуператора при температуре входящего воздуха до -35°C . При этом в установках нет поддона для сбора конденсата, не требуется организация дренажа, а монтаж возможен как горизонтально, так и вертикально. К сожалению, производители не сообщают, достигается ли такой результат использованием «компромиссных» режимов с помощью системы автоматики, или все дело только в конструкции энтальпийного рекуператора. В любом случае, независимые отчеты о результатах тестирования работы установок с трехступенчатым энтальпийным рекуператором при низких температурах наружного воздуха, информация о сроке службы рекуператоров, а также объективные данные об эффективности рекуператора, определенной по стандартным европейским нормам, могли бы значительно повысить привлекательность данной продукции для всех участников рынка.

Альтернативные решения для предварительного подогрева воздуха перед рекуператором

Суровые климатические условия, а также ощутимый рост цен на электроэнергию и тепло побуждают частных застройщиков искать альтернативные варианты для предварительного подогрева приточного воздуха в системах вентиляции, например за счет теплоты грунта.

Одно из таких экспериментальных решений предполагает использование воздушного грунтового теплообменника (рис. 5). Прежде чем попасть в рекуператор, приточный воздух проходит через грунтовой воздухопровод — трубу из полипропилена или ПВХ, уложенную в грунт на глубину ниже уровня промерзания. За счет теплоты грунта холодный приточный воздух нагревается до положительной температуры, что позволяет обойтись без предварительного нагревателя

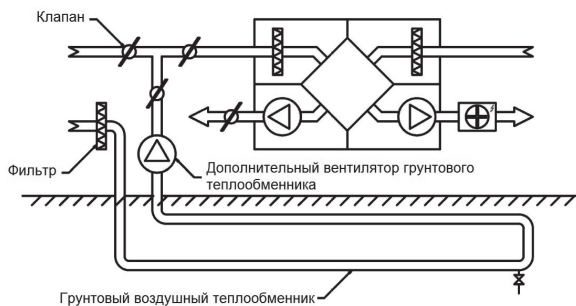


Рис. 5. Использование воздушного грунтового теплообменника для предварительного подогрева воздуха

для предотвращения обмерзания рекуператора. Протяженность воздушного грунтового теплообменника должна быть не менее 50–100 метров, поэтому для подачи воздуха через него необходимо использовать дополнительный каналный вентилятор.

К явным недостаткам такой конструкции можно отнести возможность выпадения конденсата внутри трубы, особенно при эксплуатации в теплый период года, что создаст благоприятные условия для размножения опасных для здоровья бактерий. Данные о том, насколько велики эти риски, отсутствуют. Однако, исходя из имеющегося опыта, рекомендуется регулярно проводить дезинфекцию воздушного грунтового теплообменника. Для отвода конденсата труба теплообменника должна иметь уклон, а для обслуживания и сбора конденсата следует соорудить дополнительные смотровые шахты. Еще одним недостатком воздушного грунтового теплообменника считают необходимость его периодического отключения для прогрева грунта вокруг подземного воздуховода в процессе эксплуатации. Для решения этой проблемы предлагается использовать два независимых контура, что значительно увеличивает капитальные затраты. Однако вполне вероятно, что данная проблема связана с неправильным расчетом размеров теплообменника, не учитывающим постепенного вымораживания грунта в процессе эксплуатации.

Дополнительную информацию по расчетам и опыту использования воздушных грунтовых теплообменни-

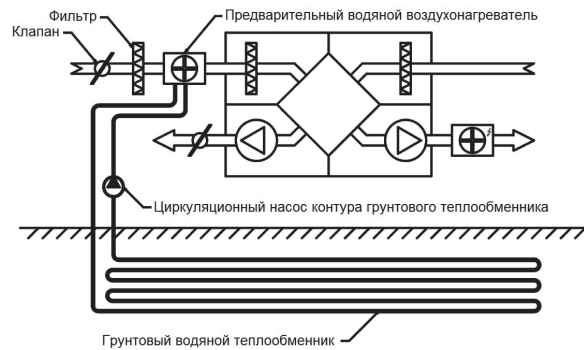


Рис. 6. Использование водяного грунтового теплообменника для предварительного подогрева воздуха

ков, а также примеры реализованных проектов и отзывы пользователей можно найти на строительных интернет-форумах и сайтах монтажных компаний.

Второй вариант подогрева приточного воздуха за счет теплоты грунта предполагает использование водяного грунтового теплообменника. В этом случае перед рекуператором устанавливается предварительный водяной подогреватель воздуха, который получает тепло от грунтового теплообменника (рис. 6). В качестве промежуточного теплоносителя используется незамерзающая жидкость, которая циркулирует в контуре с помощью небольшого насоса.

Использование водяных грунтовых теплообменников получило более широкое распространение по сравнению с воздушными грунтовыми теплообменниками в связи с активными работами по внедрению тепловых насосов в отечественную практику строительства. За последнее десятилетие в России накоплен определенный опыт проектирования, монтажа и эксплуатации грунтовых теплообменников, получены данные о вымораживании грунта, опубликованы работы с рекомендациями по проектированию (например, [5]). Эти обстоятельства делают использование водяного грунтового теплообменника для предварительного подогрева приточного вентиляционного воздуха более надежным, стабильным и предсказуемым решением.

Литература

- Белоногов Н. В. Утилизация теплоты в перекрестно-точных пластинчатых рекуператорах. // Журнал С. О. К. 2012. № 2.
- Вишневецкий Е. П. Особенности обеспечения эффективной работы пластинчатых теплообменников рекуперативного типа в суровых климатических условиях // Журнал С. О. К. 2005. № 1.
- Белоногов Н. В. Обмерзание и конденсация водяного пара в перекрестноточных пластинчатых рекуператорах // Журнал С. О. К. 2005. № 11.
- Рекуператор для квартиры, загородного дома и офиса. URL: http://www.rfclimat.ru/htm/vent_recuperator.htm
- Гашио Е. Г., Козлов С. А. и др. Тепловые насосы в современной промышленной и коммунальной инфраструктуре: Информационно-методическое издание. М.: Перо, 2017. 204 с

Виталий Алексеевич Волков,
канд. техн. наук, эксперт
по системам вентиляции

Технический обзор рынка вентиляционных установок с рекуперацией тепла будет продолжен в следующем номере журнала «Мир климата».