

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

УДК 662.99

DOI: 10.14529/build210407

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА

Г.Н. Трубицына, Л.Г. Старкова, Е.В. Базанова

Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

Энергосбережение – важная задача по сохранению природных ресурсов, актуальная для всех отраслей народного хозяйства государств с развитой экономикой. Одним из основных способов энергосбережения является использование вторичных энергоресурсов в системах инженерного обеспечения зданий, в том числе применение различных типов теплообменников в качестве утилизаторов тепла удаляемого вентиляционного воздуха. Однако вопрос эффективного использования теплоутилизаторов в климатических условиях России, в особенности для Южного Урала, недостаточно изучен. Исследование, проведенное авторами, направлено на разработку методов оценки эффективности и целесообразности теплоутилизации в системах вентиляции различных зданий с привязкой к климатическим условиям. В работе рассмотрены вопросы по повышению энергоэффективности систем вентиляции на примере подземной одноуровневой автостоянки на 250 машиномест многофункционального торгового комплекса, общей площадью 10 200 м² в г. Магнитогорске.

Ключевые слова: энергосбережение, вентиляция, теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем, теплообменники, автостоянки, экономическая эффективность.

Введение

Повышение энергоэффективности и энергосбережения является главным показателем требований к проектированию и эксплуатации зданий. После вступления в силу закона № 261-ФЗ [1] требования, предъявляемые к проектированию систем теплоснабжения и вентиляции, заставляют конструкторов искать пути по снижению потребления энергоресурсов в этих системах. Одной из эффективных мер экономии энергоресурсов признана утилизация теплоты удаляемого вентиляционного воздуха [2, 3].

Производство широкого спектра теплоутилизационного оборудования для систем вентиляции первоначально было налажено в 70–80-е годы XX века в зарубежных странах с передовой экономикой. Позже зарубежное оборудование распространилось на российский рынок. Однако вопрос эффективного использования теплоутилизаторов в климатических условиях России, в особенности для Южного Урала, недостаточно изучен. С точки зрения авторов, в настоящий момент существует необходимость в разработке методов оценки эффективности и целесообразности применения теплоутилизации в системах вентиляции с учетом климатических условий и типов зданий.

В работе рассмотрены варианты эффективного использования теплоутилизации в системах вентиляции на примере подземной автостоянки на 250 машиномест многофункционального торгового комплекса, общей площадью 10200 м², расположенного в г. Магнитогорске.

Краткий анализ проблематики исследования

Мировым опытом установлено, что рациональность использования системы утилизации тепла зависит от типа здания, тепловых нагрузок и характеристик вентиляционного оборудования [3–5].

Выбор типа утилизатора всегда представляет важнейшую первоначальную задачу, от которой зависит целесообразность и успешность всего мероприятия. Накопленный опыт показывает, что для каждого типа установки необходимо определять оптимальный способ ее интеграции в систему климатизации различных зданий [6–11]. Для оценки теплоутилизаторов используются такие показатели, как тепловая эффективность, потери давления, перетекание вытяжного воздуха в приточный и утечка приточного воздуха [7, 10]. Сравнительный анализ характеристик различных теплоутилизаторов представлен в табл. 1.

Сравнение характеристик теплоутилизаторов

Тип установки	Необходимость специальной компоновки воздуховодов	Возможность перетока вытяжного воздуха	Подвижные механические детали	КПД утилизации, %	Возможность обмерзания
Пластинчатый рекуператор	Да	Незначительный переток до 1%	Нет	50–70	Высокая
Роторный регенератор	Да	До 4%	Да	70–90	Высокая
Теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем	Нет	Невозможен	Нет	40–50	Низкая

Авторы в статьях [8, 9], и специалисты-практики определяют, что опасность обмерзания теплообменника при его использовании в холодный период является видимым и основным препятствием к широкому внедрению теплоутилизаторов в климатических условиях России.

Актуальность исследования заключается в том, что применение утилизаторов в системах вентиляции является значительным ресурсом энергосбережения для регионов с продолжительным отопительным периодом и низкими отрицательными температурами, однако фактор обмерзания существенно сдерживает широкое распространение данного мероприятия.

Область задач исследования: оценка целесообразности использования теплоутилизаторов в холодный период года в условиях Уральского региона.

Новизной исследования является расширение представлений об области эффективного использования теплоутилизации в системах вентиляции подземных паркингов.

1. Описание работы и результатов исследования

Цель исследования: разработка метода комплексной оценки эффективности использования теплоутилизаторов в системах вентиляции на примере подземного конкретного объекта – автопарковочного комплекса торгового центра в г. Магнитогорске.

Задачи работы:

- выбор наиболее рациональной модели теплоутилизатора и оценка термодинамических показателей его работы;
- выбор объекта исследования и разработка для него системы приточно-вытяжной вентиляции с применением выбранного типа теплоутилизатора и определение основных показателей работы системы;
- анализ энергетической эффективности работы теплоутилизатора в холодный период года в г. Магнитогорске;
- оценка целесообразности использования теплоутилизатора в холодный и переходный периоды года для выбранного объекта.

Объектом исследования являлись приточно-вытяжные системы вентиляции закрытой подземной автопарковки, рассчитанные на разбавление вредных газовыделений, согласно требованиям [12] и вытяжные системы магазинов 1-го (вышележащего) этажа торгового комплекса «Семейный парк» в г. Магнитогорске. Расчетная температура внутреннего воздуха в помещении автопарковки +5 °С, в торговых помещениях 1-го этажа +18 °С. Вытяжной воздух забирается из верхней и нижней зон поровну системами В1-В6 и удаляется через инерционные решетки, установленные на фасаде здания. Производительность вытяжных систем В1-В6 составляет 12 000 м³/ч каждая. Источником теплоснабжения для объекта многофункционального здания является газопоршневая установка (ГПУ) с параметрами теплоносителя 95–70 °С.

Теоретическое исследование

Поскольку, согласно требованиям норм [12, 13], недопустимо использование вытяжного воздуха автостоянки для его рециркуляции, в качестве основного средства энергосбережения было решено применить теплоутилизаторы (ТУ).

Вытяжной воздух, удаляемый из помещения самой автостоянки, имеет низкий энергетический потенциал, поэтому к использованию в системе вентиляции автостоянки предложено использование вытяжного воздуха, удаляемого из помещений первого этажа ТРК. При этом воздуховоды систем приточного и вытяжного потоков воздуха разделены междуэтажным перекрытием и не могут подходить близко друг к другу.

Анализ различных конструкций теплоутилизаторов [6–11] показал, что применение рекуперативных или регенеративного теплоутилизаторов невозможно из-за ряда их особенностей:

- отсутствие соприкосновения воздуховодов приточной и вытяжной вентиляции;
- вероятность перетока между приточным и удаляемым потоками воздуха, что недопустимо для помещений с содержанием СО и NO₂ [14, 15].

Применение двухфазных теплоутилизаторов также сочли нецелесообразным из-за их дороговизны и сложности изготовления [16].

В результате сравнительного анализа были выбраны к применению *теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем (ПТ) с теплообменниками рекуперативного типа*, соединенные замкнутой системой трубопроводов для промежуточного теплоносителя, как показано на рис. 1.

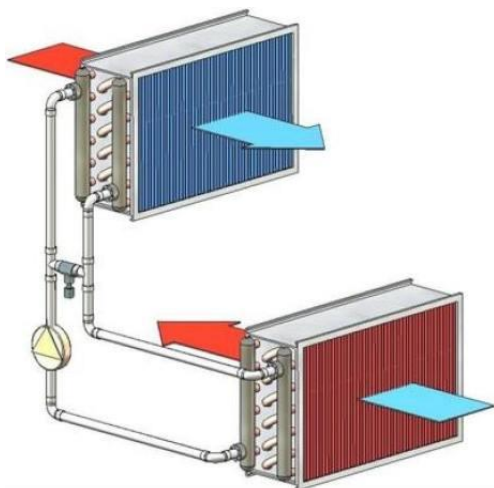


Рис. 1. Теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем с рекуперативными теплообменниками

К достоинствам теплоутилизаторов с ПТ относятся: полная аэродинамическая изоляция приточного и вытяжного воздуха; низкая подверженность обмерзанию, возможность применения теплообменников заводского изготовления; нет необходимости пересечения воздухопроводов приточной и вытяжной систем; простота монтажа и короткий срок окупаемости [17].

Наиболее существенными отмечены следующие недостатки: низкая термодинамическая эффективность (порядка 50 %); наличие циркуляционного насоса и запорно-регулирующей арматуры; дополнительный расход электроэнергии циркуляционным насосом [18].

Вследствие невысокого коэффициента термодинамической эффективности теплоутилизатора с ПТ решено было выполнять догрев приточного

воздуха до расчетной температуры притока, для чего предложено использовать водяной калорифер, который за счет использования теплоутилизатора не подвергается опасности замерзания и, соответственно, не требует дорогостоящей автоматики для его защиты.

Для обоснования целесообразности проведения данного мероприятия необходимо было провести *объективную оценку его эффективности* на основе анализа годовых (сезонных) показателей. Оценка была выполнена только для *холодного периода*. За холодный период приняты дни с первого числа сентября по тридцатое апреля.

Предложено оценить эффективность ТУ с помощью годовых (сезонных) графиков продолжительности стояния температур наружного воздуха для г. Магнитогорска. Натурные данные температуры наружного воздуха для холодного периода 2019–2020 гг. приняты согласно архивным данным [19]. Один из результатов представлен в виде графика на рис. 2.

Практическое исследование

Проверка теоретических результатов была подтверждена конструированием теплоутилизационной установки и расчетом ее термодинамических и экономических показателей.

Выбор источника утилизируемой тепловой энергии

Помещения первого этажа торгового центра обслуживают две большие вытяжные системы В1 и В3 с параметрами: $L_{В1} = 27500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $L_{В3} = 28290 \text{ м}^3/\text{ч}$ с температурами удаляемого воздуха +19 и +27 °С. Система В1 обслуживает торговую зону продуктового супермаркета, система В2 – сеть кафе и другие торговые помещения ТРК.

Выбор потребителя утилизированной тепловой энергии

Помещение автопарковки обслуживается двумя канальными системами механической приточной вентиляции П1 и П2. Производительность систем составляет $L_{П1} = 30270 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_{П2} = 29000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Приточный воздух подается в верхнюю зону автопарковки с температурой +5 °С. Приточные камеры установлены на полу, на отметке –3,600.

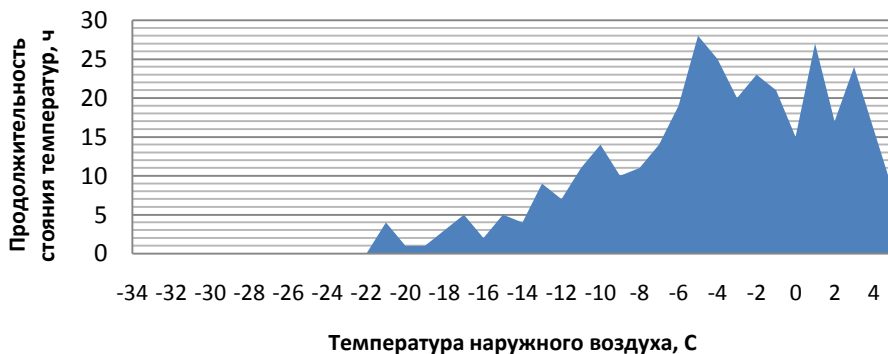


Рис. 2. Графики продолжительности стояния наружных температур в холодный период 2019–2020 гг. для города Магнитогорска

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха...

Описание принципиальной схемы установки

В потоках удаляемого из торговых залов воздуха (в системах В1 и В2) устанавливаются теплообменники для получения утилизируемой тепловой энергии, в потоках наружного воздуха (в системах П1 и П2) устанавливаются теплообменники для передачи утилизированной энергии приточному. С целью исключения выпадения конденсата при охлаждении удаляемого воздуха в теплоприемниках наружный воздух перед подачей в ТУ предложено предварительно подогревать в электрокалориферах от расчетной температуры $t_n^6 = -34$ °С до безопасной для обмерзания температуры $t_{н1} = -20$ °С.

Согласно предложенной схеме, были сконструированы две установки ТУ-1 и ТУ-2 следующим образом:

– ТУ-1: теплоутилизатор расположен между потоками П2 и В1. В качестве промежуточного теплоносителя предложен 40%-ный водный раствор этиленгликоля с температурой замерзания -26 °С.

– ТУ-2: теплоутилизатор расположен между потоками П1 и В3. В качестве антифриза используется 40%-ный водный раствор этиленгликоля с температурой замерзания (-26 °С).

Расчетом была подобрана конструкция теплообменников с использованием методики, представленной в [17]. Основные данные расчета представлены в табл. 2.

На основе результатов расчетов были сконструированы теплоутилизационные установки на базе стандартных калориферов, выпускаемых отечественной промышленностью:

Таблица 2

Расчетные показатели утилизаторов

№ п/п	Наименование показателя расчета	Расчетная формула	Результаты расчета	
			для ТУ-1	для ТУ-2
1	Исходные данные	–	$L_y = 27500 \text{ м}^3/\text{ч};$ $L_n = 29000 \text{ м}^3/\text{ч};$ $t_{y1} = 19 \text{ °С};$ $i_{y1} = 32 \text{ кДж/кг};$ $t_{т.росы} = 4 \text{ °С};$ $t_{н1} = -20 \text{ °С}$	$L_y = 28290 \text{ м}^3/\text{ч};$ $L_n = 30270 \text{ м}^3/\text{ч};$ $t_{y1} = 27 \text{ °С};$ $i_{y1} = 47 \text{ кДж/кг};$ $t_{т.росы} = 10 \text{ °С};$ $t_{н1} = -20 \text{ °С}$
2	Минимальная температура воздуха, на выходе из утилизатора	Задана из условия невыпадения конденсата	$t_{y2} = 4 \text{ °С}$	$t_{y2} = 10 \text{ °С}$
3	Количество переданного тепла в секции УВ	$Q_n = L_y \cdot \rho \cdot (i_{y1} - i_{y2})$	$582313 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$	$753080 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$
4	Температура наружного приточного воздуха на выходе из секции УВ	$t_{н2} = t_{н1} + \frac{Q_n}{L_n \cdot \rho \cdot c}$	$-3,6 \text{ °С}$	$0,23 \text{ °С}$
5	Количество антифриза, циркулирующего в системе	$G_{аф} = \frac{Q_n}{\Delta t_{аф} \cdot c_{аф}}$	$27729 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$35860 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$
6	Требуемый показатель теплотехнической эффективности теплоотдающего теплообменника	$\theta_y = \frac{t_{н2} - t_{н1}}{t_{аф1} - t_{н1}}$	0,68	0,7
7	Требуемый показатель теплотехнической эффективности теплоизвлекающего теплообменника	$\theta_n = \frac{t'_{y1} - t'_{y2}}{t'_{y1} - t_{аф2}}$	0,74	0,78
8	Требуемое фасадное сечение для теплоотдающего теплообменника	$f_{ф,y} = \frac{L_y \cdot \rho_y}{3600 \cdot \omega \rho}$	$4,2 \text{ м}^2$	$4,3 \text{ м}^2$
9	То же для теплоизвлекающего теплообменника:	$f_{ф,n} = \frac{L_n \cdot \rho_n}{3600 \cdot \omega \rho}$	$4,95 \text{ м}^2$	$4,7 \text{ м}^2$
10	Коэффициент теплопередачи при скорости жидкости в трубах 1 м/с: для теплоотдающего теплообменника	$K_y = 29(\omega \rho_{д,y})^{0,455} \omega^{0,14}$	$38,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$	$35,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$
11	То же для теплоизвлекающего теплообменника	$K_n = 29(\omega \rho_{д,n})^{0,455} \omega^{0,14}$	$39,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$	$36,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$
12	Требуемая поверхность теплообмена для теплоотдающего теплообменника	$F = \frac{kF}{K}$	337 м^2	393 м^2
13	То же для теплоизвлекающего теплообменника	$F = \frac{kF}{K}$	400 м^2	522 м^2
14	Расчетный температурный коэффициент теплотехнической эффективности теплоутилизатора	$\theta_t = \frac{t_{н2} - t_{н1}}{t_{y1} - t_{н1}}$	0,56	0,47

ТУ-1: установка комплектуется из 6 калориферов типа КСк3-11 с поверхностью нагрева 68,01 м². Площадь фронтального сечения – 1,668 м², живое сечение для прохода антифриза – 0,00235 м². Для прохода воздуха параллельно устанавливается 3 калорифера в первом ряду и 3 калорифера во втором ряду. Обвязка осуществляется двумя потоками антифриза последовательно по 3 калорифера.

ТУ-2: установка комплектуется из 6 калориферов типа КСк4-11 с поверхностью нагрева 90 м². Площадь фронтального сечения – 1,668 м², живое сечение для прохода антифриза – 0,034 м². Для прохода воздуха параллельно устанавливается 3 калорифера в первом ряду и 3 калорифера во

втором ряду. Обвязка осуществляется двумя потоками антифриза последовательно по 3 калорифера.

2. Метод оценки эффективности использования теплоутилизатора

Теоретические исследования выявили отсутствие единой методики, для оценки эффективности работы утилизатора [18, 20]. Поэтому в работе применялась авторская методика определения годовых показателей работы системы с использованием графоаналитического метода [9]. Были построены сезонные (для холодного периода) интегральные графики расчетной, затраченной и утилизированной теплоты в системе вентиляции П1 и П2, показанные на рис. 3.

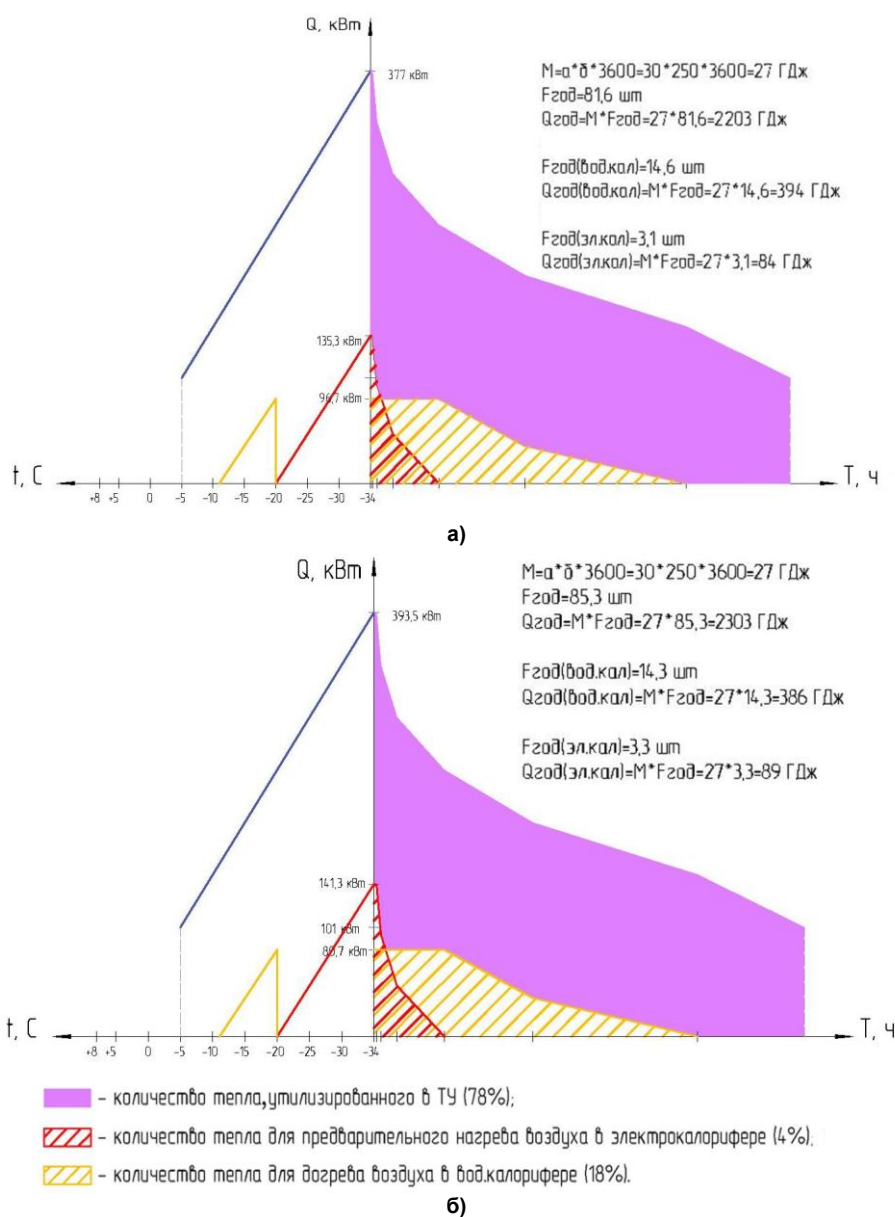


Рис. 3. Интегральный график сезонных затрат теплоты в системе вентиляции для базового и предлагаемого вариантов в период 2019–2020 гг.: а – при использовании теплоутилизатора ТУ-1; б – при использовании теплоутилизатора ТУ-2
Примечание: величины, выраженные в %, получены при сравнении с базовым вариантом.

Сезонные графики потребления вентиляционных нагрузок построены на основе графиков зависимости тепловой нагрузки от значений температуры наружного воздуха t_n . Графики построены для *двух предлагаемых* установок. В качестве *базового* принят вариант подогрева приточного воздуха в системах П1 и П2 без утилизации воздуха, в качестве *предлагаемого* – вариант с применением утилизаторов с ПТ.

Для *базового* варианта расчетное количество теплоты определялось необходимой тепловой мощностью калорифера в системе без использования ТУ, при $t_{n, \text{расч}} = -34$ °С, оно составило:

$$\text{для ТУ-1 } Q_{\text{тр}}^1 = 377 \text{ кВт};$$

$$\text{для ТУ-2 } Q_{\text{тр}}^2 = 377,3 \text{ кВт}.$$

Для *предлагаемого* варианта расчетное количество затраченной теплоты определялось необходимой тепловой мощностью электрического и водяного калориферов в установке с использованием утилизатора с ПТ.

Мощность электрического калорифера первого подогрева ($Q_{\text{эл.к}}$) составила: для ТУ-1 $Q_{\text{эл.к}}^1 = 135,3$ кВт; для ТУ-2 $Q_{\text{эл.к}}^2 = 141,3$ кВт.

Мощность догрева приточного воздуха в водяном калорифере после теплоутилизатора ($Q_{\text{кал}}$) составила:

$$\text{для ТУ-1 } Q_{\text{кал}}^1 = 83,1 \text{ кВт};$$

$$\text{для ТУ-2 } Q_{\text{кал}}^2 = 86,8 \text{ кВт}.$$

Аналогичные расчеты выполнены для промежуточного значения наружной температуры, принятой $t_n = -5$:

$$Q_{\text{тр}(-5)}^1 = 96,7 \text{ кВт}; Q_{\text{тр}(-5)}^2 = 101 \text{ кВт}.$$

При повышении температуры наружного воздуха повышается температура приточного воздуха на выходе из теплоутилизатора, при температуре наружного воздуха $t_{n1} = -11,3$ °С температура на выходе из ПУ составляет 5 °С, таким образом, при $t_n \geq -11,3$ °С в работе водяных калориферов отпадает необходимость. С помощью полученных значений построены левые (вспомогательные) части графиков.

Для построения основной части годового графика была определена продолжительность стояния различных диапазонов температур для г. Магнитогорска по данным за отопительный сезон 2019–2020 гг. Расчет продолжительности стояния различных температур выполнен с шагом 5 °С, от значения с $t_{n,p}^B = -34$.

Анализ графиков

Площади фигур, ограниченных осями координат и графиками в левой части, выражают в масштабе годовые расходы теплоты на вентиляцию для различных вариантов, ГДж/год.

По результатам построения графиков годовые расходы теплоты на вентиляцию составили:

для *базового* варианта (принимается за 100 %)

$$\text{для ТУ-1: } Q_{\text{тр год}}^{\text{баз } 1} = 2203 \text{ ГДж}$$

$$\text{для ТУ-2: } Q_{\text{тр год}}^{\text{баз } 2} = 2303 \text{ ГДж}$$

Для *предлагаемого* варианта расчетное количество затраченной теплоты определялось необходимой тепловой мощностью калориферов в установке с использованием теплоутилизаторов:

$$\text{для ТУ-1: } Q_{\text{эл год}}^1 = 84 \text{ ГДж (3,8 \% от } Q_{\text{тр}}^A);$$

$$Q_{\text{кал год}}^1 = 394 \text{ ГДж (18 \% от } Q_{\text{тр}}^A);$$

$$\text{для ТУ-2: } Q_{\text{эл год}}^2 = 89 \text{ ГДж (4 \% от } Q_{\text{тр}}^A);$$

$$Q_{\text{кал год}}^2 = 162,4 \text{ ГДж (7 \% от } Q_{\text{тр}}^A).$$

Количество тепла, сэкономленного при использовании теплоутилизатора, составит:

$$Q_{\text{уг год}} = Q_{\text{экон}} = Q_{\text{тр год}}^{\text{баз}} - Q_{\text{эл год}} - Q_{\text{кал год}}$$

$$\text{для ТУ-1: } Q_{\text{экон}}^1 = 1980 \text{ ГДж}$$

что по сравнению с базовым вариантом $Q_{\text{тр год}}^{\text{баз } 1}$ составляет 78 %;

$$\text{для ТУ-2: } Q_{\text{экон}}^2 = 2048 \text{ ГДж}$$

что по сравнению с базовым вариантом $Q_{\text{тр год}}^{\text{баз } 2}$ составляет 89 %.

Основные результаты предложенного метода анализа процессов

1. Предложенный метод позволяет наглядно и точно оценить годовую экономию тепловой энергии в системах вентиляции при осуществлении теплоутилизации при различных температурах наружного воздуха в течение холодного периода.

2. Построения на графиках (см. рис. 3) показали, что за счет утилизации теплоты от вытяжного воздуха *экономится значительная доля* затрат на нагрев приточного воздуха, в годовом выражении экономия составляет 78 и 89 %, что может быть рассмотрено как *существенный резерв* для энергосбережения.

3. Значения параметров, полученных в результате построения графиков, удобно использовать для *оценки инвестиционной привлекательности* предложенного мероприятия. С этой целью был выполнен экономический расчет капитальных и эксплуатационных затрат, по результатам которого определен *срок окупаемости* мероприятия, при *базовом* варианте (принимается за 100 %). *Результаты расчета следующие:* при тарифной стоимости 1 кВт/ч электрической энергии, утвержденной на действующий момент (на 2020 г.) для г. Магнитогорска, равной 3,19 руб, и продолжительности работы установки за отопительный период, равной 2510 часам, *расчетный срок* окупаемости составил для установки ТУ-1 – 2,9 года, а для ТУ-2 – 2,4 года.

Данные сроки почти вдвое ниже рекомендованного срока для подобных мероприятий, составляющего 5 лет [21], что говорит о *высокой степени их экономической целесообразности*.

Заключение

В результате практического исследования подтверждены теоретические выводы, что в помещениях автостоянок с низким потенциалом вы-

тяжного воздуха в холодный период года весьма целесообразно использовать теплоту систем вытяжной вентиляции из смежных помещений, применяя теплоутилизаторы с незамерзающим промежуточным теплоносителем. При этом нет смысла использовать теплоутилизаторы с высокими коэффициентами термодинамической эффективности, так как минимальное значение температуры удаляемого воздуха на выходе их установки ограничено условием незамерзания конденсата.

Установка теплоутилизаторов может быть собрана из типовых калориферов, выпускаемых промышленностью, что по сравнению с иными будет более доступной, иметь меньшую стоимость и, следовательно, небольшой срок окупаемости.

При климатических условиях города Магнитогорска температура наружного воздуха опускается ниже -20°C лишь при 9 % исследуемых временных границах (зимний период 2019–2020 гг.), применение предварительного догрева в электрокалориферах значительно снижает вероятность обмерзания теплоутилизационного оборудования. Необходимость в применении водяных калориферов для подогрева приточного воздуха отпадает при температуре наружного воздуха выше -11°C . Это значительный по продолжительности температурный диапазон стояния температур для климатических условий города Магнитогорска, во время которого при применении утилизаторов возможно сэкономить до 5045 ГДж тепловой энергии в год.

Литература

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Немировская, В.В. Энергосбережение с применением утилизаторов теплоты / В.В. Немировская, А.В. Кузовлев // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2015. – № 2.
3. Youness EI Foujh, Pascal Stabat. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings // *Energy and Buildings*. – 2012. – P. 29–39.
4. Real heat recovery with air handling units / S.A. Roulet, F.D. Heidt, F. Foradini, M.C. Pibiri // *Energy and Buildings* – 2001. – Vol. 33(5). – P. 495–502.
5. Ливчак, И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И.Ф. Ливчак, А.Л. Наумов. – М.: АВОК-ИРЕСС, 2005.
6. Besant, R. Air-to-air heat exchanger / R. Besant, C. Simonson // *ASHRAE*. – 2005.
7. *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.
8. Дискин, М.Е. Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания / М.Е. Дискин // *АВОК*. – 2006. – № 4.
9. Starkova L.G. Assessment of the efficiency of using heat recovery units in ventilation systems in the conditions of the Southern Urals / L.G. Starkova, E.K. Doroshenko, M.A. Khudyakova // *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*. – 2018. – P. 012096.
10. Трубицына, Г.Н. Особенности проектирования вентиляции в подземной автостоянке / Г.Н. Трубицына, А.А. Каширская // *Актуальные проблемы архитектуры, строительства и дизайна*. – 2015. – С. 102–104.
11. СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99*. – М., 2016.
12. СП 60.13330.2020. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М., 2020.
13. Фактор энергоэффективности при выборе параметров системы вентиляции автостоянки закрытого типа / А.П. Волков, А.В. Свердлов, С.В. Рыков, М.А. Волков // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. – 2015. – № 3 (15). – С. 27–36.
14. Волков, А.П. Методика расчета вентиляционной системы парковки закрытого типа / А.П. Волков, А.М. Гримитлин, С.В. Рыков // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. – 2014. – № 2 (15). С. 45–57.
15. Демин, Ю.К. Использование вторичных энергоресурсов (ВЭР) компрессора для теплоснабжения промышленных зданий / Ю.К. Демин, Р.В. Хасанова, Г.Н. Трубицына // *Серия конференции ИОП. Материаловедение и инженерия (МСЭ)*. – 2018. – № 4. – P. 16–22.
16. Способы энергосбережения в системах создания микроклимата / Т.Н. Ильина, А.Ю. Феоктистов, Р.Ю. Мухамедов, С.В. Сериков // *Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: Междунар. науч.-практ. конф. / Белгород. гос. технол. ун.-т. – Белгород: Изд.-во БГТУ, 2012. – С. 244–248.*
17. Капко, Д.В. Совмещенные системы вентиляции и воздушного отопления для складских помещений на базе компактных приточно-вытяжных агрегатов / Д.В. Капко, А.Е. Иванов, Г.В. Протасов // *АВОК*. – 2016. – № 3.
18. Колодяжный, С.А. Экспериментальные исследования пластинчатого перекрестно-противоточного теплоутилизатора в условиях обмерзания / С.А. Колодяжный, А.А. Кавыгин, В.Г. Камбург // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура*. – 2014. – № 1. – С. 20–27.
19. Обоснование параметров теплоутилизационной установки на базе полимерного пере-

крестноточного пластинчатого теплообменника для животноводческих помещений / М.П. Шаталов. – М., 2010. – 23 с.

20. Иванов, О.П. Анализ сроков окупаемости пластинчатого и роторного теплоутили-

заторов / О.П. Иванов, С.А. Тихомиров // Холодильная техника и кондиционирование. – 2007. – № 1. – С. 1–5.

21. Сайт <https://www.gismeteo.ru/diary> «Дневник погоды»

Трубицына Галина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление недвижимостью и инженерные системы», Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова (Магнитогорск), trubgala51@mail.ru

Старкова Лариса Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление недвижимостью и инженерные системы» Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова (Магнитогорск), starkova-lg@mail.ru

Базанова Елена Викторовна, ассистент кафедры «Управление недвижимостью и инженерные системы», Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова (Магнитогорск), bazanova_alena@mail.ru

Поступила в редакцию 17 мая 2021 г.

DOI: 10.14529/build210407

CHOOSING AN EFFECTIVE HEAT RECOVERY SCHEME IN THE VENTILATION SYSTEM OF THE UNDERGROUND PARKING OF A SHOPPING MALL

G.N. Trubitsyna, trubgala51@mail.ru

L.G. Starkova, starkova-lg@mail.ru

E.V. Bazanova, bazanova_alena@mail.ru

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Energy saving is an important task for the conservation of natural resources, which is relevant for all sectors of the national economy of developed countries. One of the main methods of energy saving is the use of secondary energy resources in utility systems of buildings, including the use of various types of heat exchangers as heat recovery units of the discharged ventilation air. However, the issue of effective use of heat recovery units in the climatic conditions of Russia, especially for the South Ural region, has not been sufficiently studied. The research conducted by the authors is aimed at developing methods for evaluating the efficiency and appropriateness of heat recovery in ventilation systems of various buildings with reference to climatic conditions. The paper considers the issues of improving the energy efficiency of ventilation systems in an underground single-level parking lot for 250 parking spaces in a shopping mall with a total area of 10200 m² in the city of Magnitogorsk.

Keywords: energy saving, ventilation, heat recovery units with an intermediate heat carrier, heat exchangers, car parking space, economic efficiency, energy efficiency.

References

1. *Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii* [On Energy Saving and on Improving Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation]. The Federal Law no. 261-FL. Application 23.11.2009
2. Nemirovskaya V.V., Kuzovlev A.V. [Energy Conservation Using Heat Recoverers], *Journal by ITMO University. Ser. Refrigeration and Air Conditioning*, 2015, no. 2, pp. 14–21. (in Russ.)
3. Youness EI Foujh, Pascal Stabat. [Adequacy of Air-To-Air Heat Recovery Ventilation System Applied in Low Energy Buildings]. *Energy and Buildings*, 2012, pp. 29–39.
4. Roulet S.A., Heidt F.D., Foradini F., Pibiri M.C. [Real Heat Recovery with Air Handling Units]. *Energy and Buildings*, 2001, vol. 33(5), pp. 495–502.
5. Livchak I.F., Naumov A.L. *Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy* [Ventilation of Multi-Storey Residential Buildings]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2005. 136 p.

6. Besant R., Simonson C. Air-to-Air Heat Exchanger. *Journal ASHRAE*, 2000, vol. 42, iss. 5, pp. 31–42.
7. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (I-P Edition). ASHRAE Handbook. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Publ., 2008.
8. Diskin M.E. [Heat Recovery Efficiency in Ventilation Systems at Ambient Temperatures Below Freezing Hazard Temperature]. *AVOK*, 2006, no. 4, pp. 11–13. (in Russ.)
9. Starkova L.G., Doroshenko E.K., Khudyakova M.A. [Assessment of the Efficiency of Using Heat Recovery Units in Ventilation Systems in the Conditions of the Southern Urals]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)*, 2018, pp. 012096. DOI:10.1088/1742-6596/451/1/012096
10. Trubitsyna G.N., Kashirskaya A.A. [Features of Ventilation Design in Underground Car Park]. *Aktual'nyye problemy arkhitektury, stroitel'stva i dizayna* [Current Issues of Architecture, Construction and Design], 2015, pp. 102–104. (in Russ.)
11. *SP 113.13330.2016 Stoyanki avtomobiley. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 21-02-99** [Set of Rules 113.13330.2016 Car Parking Lots. Updated Revision SNIp 21-02-99]. Moscow, 2016. 21 p.
12. *SP 60.13330.2020 «SNIp 41-01-2003 Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha»* [Set of Rules 60.13330.2020 Heating, Ventilation and Air Conditioning]. Moscow, 2020. 87 p.
13. Volkov A.P., Sverdlov A.V., Rykov S.V., Volkov M.A. [Energy Efficiency Factor when Selecting Parameters of Closed Parking Ventilation System]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye* [Scientific Journal of NRU ITMO. Refrigeration and Air Conditioning Series], 2015, no. 3 (15), pp. 27–36. (in Russ.)
14. Volkov A.P., Grititlin A.M., Rykov S.V. [Procedure for Calculation of Closed Type Parking Ventilation System]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye* [Scientific Journal of NRU ITMO. Refrigeration and Air Conditioning Series], 2014, no. 2 (15), pp. 45–57. (in Russ.)
15. Dyomin Yu.K., Khasanova R.V., Trubitsyna G.N. [The Using of Compressor's Secondary Energy Resources (SER) for Heat Supply of Industrial Buildings]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)*, 2018, no. 4, pp. 16–22. (in Russ.)
16. Il'ina T.N., Feoktistov A.Yu., Mukhamedov R.Yu., Serikov S.V. [How to Save Energy in Microclimate Systems]. *Energoberezeniye i ekologiya v zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve i stroitel'stve gorodov: Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf.* [Energy Conservation and Ecology in Housing and Communal Services and Urban Construction: International Scientific and Practical Conference]. Belgorod, BSTU Publishing House, 2012, pp. 244–248. (in Russ.)
17. Kapko D.V., Ivanov A.E., Protasov G.V. [Combined Ventilation and Air Heating Systems for Warehouses Based on Compact Plenum and Exhaust Units]. *AVOK*, 2016, no. 3, pp. 48–53. (in Russ.)
18. Kolodyazhnyy S.A., Kavygin A.A., Kamburg V.G. [Experimental Studies of Plate Cross-Current Heat Recovery Device under Freezing Conditions]. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2014, no. 1, pp. 20–27.
19. Shatalov M.P. *Obosnovaniye parametrov teplouutilizatsionnoy ustanovki na baze polimernogo perekrestno-tochnogo plastinchatogo teploobmennika dlya zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy. Avtoref. kand. diss.* [Substantiation of Parameters of a Heat-Recovery Plant Based on a Polymer Cross-Current Plate Heat Exchanger for Livestock Premises. Abstract of cand. sci. diss.]. Moscow, 2010. 23 p.
20. Ivanov O.P., Tikhomirov S.A. [Analysis of Payback Period of Plate and Rotary Heat Recovery Plants]. *Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye* [Refrigeration and Air Conditioning], 2007, no. 1, pp. 1–5. (in Russ.)
21. Available at: <https://www.gismeteo.ru/diary> “Dnevnik pogody”

Received 17 May 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Трубицына, Г.Н. Выбор эффективной схемы теплоутилизации в системах вентиляции подземной автостоянки торгового центра / Г.Н. Трубицына, Л.Г. Старкова, Е.В. Базанова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 55–63. DOI: 10.14529/build210407

FOR CITATION

Trubitsyna G.N., Starkova L.G., Bazanova E.V. Choosing an Effective Heat Recovery Scheme in the Ventilation System of the Underground Parking of a Shopping Mall. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 4, pp. 55–63. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210407