

**ECONOMIC BENEFIT OF MEASURES TO INCREASE VENTILATION SYSTEMS
ENERGY EFFICIENCY**

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ВЫГОДА МЕРОПРИЯТИЙ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

<p>Galyuzhin S.D.^a, Cand. Tech. Sc., associate professor Lobikava N.V.^b Lobikava O.M.^c</p>	<p>Галюжин С.Д.^a, канд. тех. наук, доцент Лобикова Н.В.^b Лобикова О.М.^c</p>
<p>Belarusian-Russian University, Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43</p>	<p>Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, 43</p>
<p>E-mail: a – serg.galujin@yandex.ru; b – nadya.lobickova@yandex.ru; c – olg.lobikova@yandex.ru</p>	

Abstract

The necessity of reducing energy consumption in the construction and reconstruction of buildings. The technique of estimation of efficiency of application of heat exchangers in ventilation

systems of buildings. The technique takes into account not only the heat recovery in the heat exchanger, but also its loss due to the increase in the aerodynamic resistance of the ventilation system when installing the heat exchanger. Shows a diagram of the ventilation system with the installation of fans, when the effectiveness of the recuperator is the highest. The prospects of application of modern ventilation systems containing a recuperator are shown.

Аннотация

Обоснована необходимость сокращения потребления энергии при строительстве и реконструкции зданий. Разработана методика оценки эффективности применения рекуператоров в системах вентиляции зданий. Методика учитывает не только утилизацию тепла в рекуператоре, но и его потери из-за увеличения аэродинамического сопротивления вентиляционной системы при установке рекуператора. Показана схема вентиляционной системы с такой установкой вентиляторов, когда эффективность рекуператора является наибольшей. Показана перспективность применения современных систем вентиляции, содержащих рекуператор.

Введение

Мировое сообщество стоит перед необходимостью сокращению потребляемой энергии. Решение вопроса сбережения энергетических ресурсов актуально для всех отраслей экономики, в том числе строительства.

На основе результатов прогнозирования энергетических перспектив развития строительства, более выигрышными сегодня являются два направления повышения энергетической эффективности объектов:

- экономия энергетических ресурсов путем минимизации энергопотребления и потерь энергии, в т.ч. утилизацией энергетически ценных отходов;
- применение при эксплуатации возобновляемых источников энергии [1].

Главное условие при проектировании энергоэффективного здания – обеспечение комфортной внутренней температуры без применения систем отопления путем герметизации здания, а также применение системы вентиляции с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов, использование для целей отопления и горячего водоснабжения вторичных и возобновляемых источников тепловой энергии и применения альтернативных источников энергии. Классификации таких домов проводится на основе их энергопотребления.

Сокращение потребляемой энергии при строительстве и реконструкции зданий поддерживается на законодательном уровне в Беларуси. Анализ законодательной базы в сфере эффективности использования топливно-энергетических ресурсов позволяет выделить следующие ключевые направления государственного регулирования в данной сфере:

1. Техническая модернизация объектов генерации энергии и передающей инфраструктуры.
2. Тарифное регулирование.
3. Энергосбережение.
4. Совершенствование регулирования в сфере использования топливно-энергетических ресурсов и системы мониторинга и оценки управления.

Важным является выбор оптимальной комбинации организационно-технических решений, позволяющих получить синергетический эффект их осуществления.

При этом следует учитывать социальную эффективность технологического развития страны и отдельных ее субъектов, которое должно быть направлено на достижение приоритетов социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы и соответствовать Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года.

Большое внимание уделяется тщательному отбору направлений и объектов вложения капитала. Приоритетными являются вопросы энергосбережения. Поддержание нормативных показателей микроклимата в помещениях в отопительный период требует значительных затрат топливно-энергетических ресурсов. При этом при отклонении от оптимальных параметров микроклимата помещений снижается уровень производительности труда персонала и

ухудшается состояние их здоровья.

Требуемые параметры достигаются применением различных систем, важнейшей из которых является система вентиляции, обеспечивающая удаление загрязненного воздуха из помещения в окружающую атмосферу (вытяжка), а также подачу в помещение свежего воздуха. При этом в холодный период года вместе с загрязненным воздухом выбрасывается тепло, которое целесообразно утилизировать [2]. Один из способов утилизации тепла – установка рекуператоров [3].

Авторами разработана методика оценки целесообразности установки рекуператора в системе вентиляции здания.

На первом этапе исследований анализируется ситуация, определяются требуемые характеристики оборудования, рассчитываются потери тепла через систему вентиляции.

В качестве примера рассмотрим систему вентиляции производственного цеха, в котором подача приточного и удаляемого воздуха $Q_{\text{пр}}=Q_{\text{вт}}=40000 \text{ м}^3/\text{ч}=11,111 \text{ м}^3/\text{с}$.

Предположим, что вентиляционная система работает в зимний период при температурах приточного воздуха $T_{\text{пр}}=-22 \text{ }^{\circ}\text{C}=251,15 \text{ К}$ и удаляемого воздуха $T_{\text{вт}}=20 \text{ }^{\circ}\text{C}=293,15 \text{ К}$. Тогда внутренняя удельная энергия приточного $e_{\text{пр}}$ и удаляемого $e_{\text{вт}}$ потоков воздуха, проходящих через живое сечение в единицу времени, будет равна:

$$e_{\text{пр}}=Q_{\text{пр}} \cdot c_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}} \quad 1)$$

$$e_{\text{вт}}=Q_{\text{вт}} \cdot c_{\text{вт}} \cdot T_{\text{вт}} \quad 2)$$

где $c_{\text{пр}}$ и $c_{\text{вт}}$ – средние удельные теплоемкости приточного и удаляемого воздуха при постоянном давлении, соответственно, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$: $c_{\text{пр}}=c_{\text{вт}}=1,3 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ [4, с. 457].

При расчетах использованы средние удельные теплоемкости приточного и удаляемого воздуха при постоянном давлении в связи с тем, что при подаче и удалении воздуха, давление в цехе меняется крайне незначительно [5].

При помощи зависимостей (1) и (2) определили $e_{\text{пр}}=3,627 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с}=0,964 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}/\text{с}$; $e_{\text{вт}}=4,234 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с}=1,011 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}/\text{с}$. Тогда разница удельных энергий будет равна $\Delta e=e_{\text{вт}}-e_{\text{пр}}=0,675 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с}=0,259 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}/\text{с}$. Данные расчетов свидетельствуют, что каждую секунду в окружающую среду выбрасывается $0,259 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}$. При продолжительности смены восемь часов ($28,8 \cdot 10^3 \text{ с}$) при постоянно работающей вентиляции будет выбрасываться $\Delta e_{\text{см}}=7,4592 \text{ Гкал}$. Отопление цехов, расположенных в городе, в подавляющем большинстве случаев осуществляется от центральной городской теплотрассы. С учетом стоимости 1 Гкал в 2019 году, равной 92,8471 BYN (белорусских рублей после деноминации 2017 г.), потери за смену из-за нерационального построения системы вентиляции составят 692,57 BYN. За месяц (22 рабочих дня при односменной работе) такие потери уже будут составлять сумму 15236,43 BYN, сопоставимую с месячной зарплатой бригады в 8...10 рабочих.

Данная проблема в значительной мере решается установкой в вентиляционную систему рекуператора, который позволяет передать тепло от удаляемого в окружающую атмосферу загрязненного воздуха к приточному воздуху. В этом случае приточный 1 и вытяжной 2 вентиляторы располагаются в едином корпусе 8 (рис.1).

В вентиляционной установке применен перекрестноточный рекуператор 3. Нагреватель 6 предназначен для подогрева приточного воздуха (при необходимости). Жалюзи 7 закрываются при неработающей вентиляционной установке для предотвращения попадания холодного воздуха из атмосферы в цех. Фильтры 4 и 5 обеспечивают очистку удаляемого и приточного воздуха, как правило, от твердых частиц и пыли.

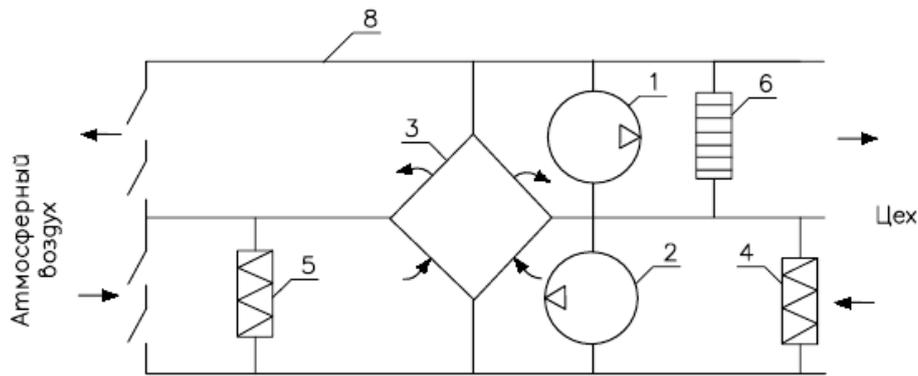


Рисунок 1 – Схема вентиляционной установки с рекуператором: 1 - приточный вентилятор; 2 - вытяжной вентилятор; 3 - рекуператор; 4, 5 - фильтры; 6 - нагреватель; 7 - жалюзи; 8 - корпус установки

В качестве примера рассмотрим эффективность установки широко применяемого в Европе рекуператора типа Klingenburg типа PWT 25. Основные температурные показатели данного рекуператора взяты из технической характеристики [6] и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные температурные показатели рекуператора Klingenburg типа PWT 25

Точка измерения температуры	Температура воздуха, °С (К)	
	Приток	Удаление
Вход	-22 (251,15)	+20 (293,15)
Выход	+4,8 (277,95)	-3,5 (269,65)

С помощью зависимостей (1) и (2) определим внутреннюю удельную энергию приточного $e_{пр.рк}$ и удаляемого $e_{вт.рк}$ воздуха после прохождения рекуператора. После подстановки соответствующих значений получим: $e_{пр.рк}=4,015 \cdot 10^6$ Дж/с= $0,959 \cdot 10^{-3}$ Гкал/с и $e_{уд.рк}=3,89 \cdot 10^6$ Дж/с= $0,929 \cdot 10^{-3}$ Гкал/с. Тогда разница удельных энергий удаляемого и приточного воздуха после прохождения рекуператора составит: $\Delta e_{рк}=0,030 \cdot 10^{-3}$ Гкал/с. За 8-часовую смену ($28,8 \cdot 10^3$ с) при постоянно работающей вентиляции с рекуператором будет выбрасываться $\Delta e_{рк.см}=0,86$ Гкал, т. е. потери тепловой энергии будут в 8,67 раза меньше, чем без рекуператора и составят в стоимостном выражении 79,85 BYN.

На втором этапе исследований определяем потери электрической энергии при установке рекуператора.

При установке рекуператора увеличивается аэродинамическое сопротивление вентиляционной установки. Потери давления Δp на пневмолиниях притока и вытяжки в рекуператоре примерно равны и составляют $\Delta p_{пр}=\Delta p_{уд}=296$ Па [7]. Определим мощность потерь в рекуператоре $P_{пот}$ с помощью известной зависимости [8, с. 287–295]. При этом учтем, что $Q_{пр}=Q_{уд}$:

$$N_{пот}=2 Q_{пр(уд)} \cdot \Delta p_{пр(уд)} \quad (3)$$

Подставив соответствующие значения в зависимость (3) получим, что $N_{пот}=6577,7$ Дж/с= $6,578$ кВт. За 8-часовую смену потери составят 52,62 кВт·ч. При расчетах потерь электрической энергии при установке рекуператора необходимо учесть КПД вентилятора. КПД современных вентиляторов составляет 85...88 % [8]. В дальнейших расчетах примем среднее значение $\eta_v=0,865$. С учетом этого затраты электрической энергии за смену будут больше и составят 60,83 кВт·ч. При стоимости 1кВт·ч электроэнергии в промышленности в 0,24048 BYN, на преодоление аэродинамических сопротивлений в рекуператоре за смену будет дополнительно затрачиваться 14,63 BYN.

Рассмотрим физическую сущность потерь мощности в самом рекуператоре. С точки зрения аэродинамики рекуператор представляет собой аэродинамическое сопротивление, при преодолении которого из-за увеличенного внутреннего трения в воздухе происходит нагрев этого воздуха, т.е. за смену 52,62 кВт·ч электрической энергии превратятся в тепловую энергию. При испытаниях данное явление учтено производителем рекуператора в температурных показателях таблицы 1.

Из-за наличия потерь в самом вентиляторе 9,14 кВт·ч электрической энергии за смену в обоих вентиляторах будет превращаться также в тепловую энергию. При этом будут нагреваться электродвигатель вентилятора, рабочее колесо и корпус вентилятора, а также воздух при воздействии на него лопастей вентилятора. При компоновке вентиляционной установки, приведенной на рис.1, удаляемый воздух будет дополнительно нагреваться от вентилятора 2 до рекуператора и примерно половину данной тепловой энергии отдавать приточному воздуху. На пневмолинии притока вентилятор 1 установлен после рекуператора, поэтому все тепло от него будет отдаваться приточному воздуху (при соответствующем утеплении стенок корпуса 8 вентиляционной установки). Данный анализ означает, что около $\frac{3}{4}$ тепловой энергии (6,855 кВт·ч за смену), образующейся от работы вентиляторов 1 и 2, будет отдаваться приточному воздуху, поступающему в цех.

С учетом того, что $1 \text{ Гкал} = 1,16 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, получим, что за смену приточному воздуху будет дополнительно отдано $5,91 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}$ тепла, а в стоимостном выражении – 0,55 BYN. Тогда действительные финансовые потери на преодоление аэродинамических сопротивлений в рекуператоре будут равны $14,63 - 0,55 = 14,08 \text{ BYN}$.

Третий этап исследований включает расчет необходимой энергии для функционирования системы вентиляции.

Итак, потери энергии в стоимостном выражении при использовании вентиляции без рекуператора за 8-часовую смену составят 692,57 BYN, а при установке рекуператора – 93,93 BYN.

Таким образом, при установке рекуператора экономия на приобретение тепловой энергии, расходуемой на отопление цеха, за 8-часовую смену будет составлять 598,64 BYN. В холодный период года в месяц экономия будет достигать 13170,08 BYN.

Следующий этап представляет собой оценку эффективности проектов. Следует отметить, что установка рекуператора ведет к удорожанию вентиляционной установки. Оценка затрат на реализацию проекта и срок окупаемости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка затрат на реализацию проекта вентиляции

Статья расходов, показатель	Значение показателя
Стоимость рекуператора Klingenburg, BYN	20220
Затраты на усложнение корпуса установки, BYN	409
Экономия на отопление за месяц при применении рекуператора, BYN	13170,08
Срок окупаемости, мес.	1,6

Срок окупаемости проекта рассчитан, исходя из того, что все это время (1,6 месяца) будут низкие температуры атмосферного воздуха, что характерно для северных районов России. Для Беларуси срок окупаемости проекта будет несколько большим – примерно один отопительный сезон.

Разработанная методика позволяет производить оценку эффективности применения рекуператоров в системах вентиляции промышленных зданий в стоимостном выражении. Методика учитывает потери энергии из-за увеличения аэродинамического сопротивления вентиляционной системы при установке рекуператора. В холодное время года установка рекуператора позволяет достичь экономии при двухсменной работе более 13,1 тыс. BYN в месяц. Срок окупаемости затрат при этом не превышает отопительного сезона.

Потому при строительстве и реконструкции зданий целесообразно проектировать сис-

темы вентиляции с устройствами рекуперации тепла. При дальнейшем совершенствовании систем вентиляции и применении в них встроенных тепловых насосов [2] данная методика может быть дополнена без существенных изменений.

Список литературы

1. Лобикова, О. М. Повышение энергоэффективности жилых зданий: Проблемы, опыт решения / Лобикова О. М., Лобикова Н. В. // В сборнике: Россия: Тенденции и перспективы развития Ежегодник. Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук; Ответственный редактор В. И. Герасимов. – 2018. – С. 351-353.
2. Лобикова, Н. В. Эффективность различных систем отопления индивидуальных жилых домов с учетом экологичности проекта / Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова, С. Д. Галюжин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2018. №4 (61). – С. 120-130.
3. Требования инженеров к стандартам вентиляционных систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=70 (дата обращения 10.11.2018).
4. Ананьев, В. А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика // В. А. Ананьев, Л. Н. Балуева, В. П. Мурашко. М. – Евроклимат, 2008. – 504 с.
5. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин.– М.: Высш.шк., 1975.– 469 с.
6. Каталог оборудования Klingenburg. Рекуперация тепла пластинчатыми теплообменниками. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/klingenburg/10825>(дата обращения 01.12.2018).
7. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика: учебник для студентов вузов / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
8. Караджи В. Г. О высоком КПД вентиляторов и эффективности вентиляционных систем/ В. Г.Караджи, Ю.Г.Московко. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid.(дата обращения 01.12.2018).