

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

К. В. Афонин, Т. С. Жилина, А. А. Загорская, И. Е. Молостова
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

EFFICIENCY OF VENTILATION SYSTEMS WITH INTERMITTENT OPERATION

Konstantin V. Afonin, Tatjana S. Zhilina, Alla A. Zagorskaya, Irina E. Molostova
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Эффективное управление системой вентиляции в настоящее время является одной из главных задач повышения энергоэффективности зданий общественного назначения. В системах вентиляции энергосбережение предусмотрено в двух формах. Первая – экономия электрической энергии, вторая – экономия тепловой энергии. Для проектируемого торгового комплекса «Магнит» (г. Тюмень) предложена система вентиляции с периодическим режимом работы. В системе вентиляции проектируемого здания рассчитано и подобрано энергопотребляющее оборудование марок российских производителей. Расход воздуха в системе вентиляции зависит от количества посетителей, также учитывается неравномерность посещения людьми проектируемого торгового центра. Построен график распределения необходимого расхода воздуха по периодам времени. Предложена схема автоматизации предлагаемой в проекте системы вентиляции. Рассчитаны количество потребляемой электроэнергии периодически действующей системы вентиляции в течение года, а также годовое потребление тепловой энергии. Расчеты годовых затрат на энергоноси-

Abstract. Effective management of the ventilation system is one of the main priorities for improving the energy efficiency of public buildings today. There are two types of energy saving in ventilation systems. The first is saving electrical energy, the second is saving thermal energy. For the designed shopping centre "Magnit" (Tyumen) the authors proposed the ventilation system with intermittent operation. In the ventilation system of the designed building, we calculated and selected energy consuming equipment of Russian manufacturers. The airflow rate of the ventilation system depends on the number of visitors and takes into account the irregularity of visits to the designed shopping centre. A graph of the distribution of the required airflow rate by period was plotted. An automation scheme for the ventilation system was proposed. The consumption of electricity of the ventilation system with intermittent operation during the year and the annual heat consumption were calculated. Calculations showed that the annual energy cost for ventilation system with intermittent operation in the projected building would be 1.72 times less than for the permanent system, the equipment

тели показали, что затраты на периодически действующую систему вентиляции проектируемого здания будут в 1.72 раза меньше, чем на постоянно действующую систему, оборудование окупится за 0.4 года. Таким образом, можно говорить об эффективности применения системы вентиляции периодического действия в проектируемых зданиях с неравномерным посещением людьми.

Ключевые слова: система вентиляции, периодически действующая система вентиляции, затраты тепловой энергии, затраты электроэнергии

would pay off in 0.4 years. Thus, it is possible to speak about the effective application of ventilation system with intermittent operation in the designed buildings with irregularity of visits.

Key words: ventilation system, ventilation system with intermittent operation, heat energy costs, electricity costs

Для цитирования: Эффективность систем вентиляции с периодическим режимом работы / К. В. Афонин, Т. С. Жилина, А. А. Загорская, И. Е. Молостова. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-58-67. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 58–67.

For citation: Afonin, K. V., Zhilina, T. S., Zagorskaya, A. A., & Molostova, I. E. (2024). Efficiency of ventilation systems with intermittent operation. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 58-67. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-58-67.

1. Введение

Системы вентиляции должны обеспечивать требуемые параметры воздушной среды в обслуживаемых помещениях для комфортного пребывания в них людей [1]. Это не всегда удается сделать в связи с тенденцией к энергосбережению. В настоящее время все технические решения при проектировании зданий и сооружений принимаются с учетом Федерального закона об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности¹.

Усовершенствование системы вентиляции и рациональное управление ее работой сегодня является одним из ключевых способов повышения энергоэффективности систем вентиляции [2].

В системах вентиляции предусматривается сбережение энергии в двух формах: сбережение

электроэнергии и сбережение тепловой энергии. Воздух, поступающий в обслуживаемые помещения, необходимо предварительно подготавливать (охлаждать, нагревать, осушать, увлажнять), а также воздух необходимо транспортировать по системе воздухопроводов, все эти процессы требуют потребления тепловой и электрической энергии.

Большинство мероприятий по энергосбережению способны экономить тепловую и электрическую энергию в совокупности [3]. Но для каждого объекта строительства мероприятия по обеспечению энергоэффективности подбираются в зависимости от типа, назначения, климатических параметров наружного воздуха и других особенностей зданий и сооружений [4, 5].

Формирование требуемых параметров воздухообмена и теплового режима в общественных

¹ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон № 261-ФЗ : принят Государственной Думой 11 ноября 2009 года : одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 года. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 09.01.2024).

здания является комплексной задачей, поскольку на эти параметры большое влияние оказывают и другие факторы. Учитываются теплотехнические показатели всех наружных ограждений и особенности эксплуатации здания [6, 7].

Хочется отметить, что в зарубежной практике для обеспечения требуемого воздухообмена в помещениях применяются различные подходы. В основном это вытяжная или приточная механическая вентиляция, также приточно-вытяжная (с рекуперацией тепла или без нее).

Зарубежный опыт использования систем вентиляции с периодическим режимом работы в открытых источниках широко не освещается.

В России на текущий момент существует огромное количество технических решений для обеспечения энергоэффективности систем вентиляции. Снижения потребления энергии добиваются различными способами, например, применением рекуператоров тепла [3]. Но это приводит к удорожанию системы вентиляции при проектировании и обслуживании. Поэтому использование системы вентиляции с периодическим режимом работы призвано устранить проблему удорожания системы. При проектировании таких систем будет использоваться стандартное вентиляционное оборудование, аналогичное для работы систем вентиляции с постоянным режимом.

Целью работы авторов явилось изучение действия системы вентиляции с периодическим режимом работы на примере общественного здания.

2. Материалы и методы

В данной статье авторами рассмотрен пример проектирования периодически действующей системы вентиляции для торгового комплекса «Магнит» (г. Тюмень).

Общая торговая площадь здания составит около 1000 м². План торговых площадей комплекса представлен на рис. 1.

В проектируемом здании будет предусмотрено энергопотребляющее оборудование. В его состав входят:

а) в приточной установке – калорифер (BHV – BE3A, Россия; BS – Промвентхолд, Россия

[8, 9]; Uno – Horos, Россия; ComfoAir – Zehnder Group, США) [10, 11] – устройство, предназначенное для передачи тепловой энергии от греющего теплоносителя (вода, воздух) к воздуху, поступающему в обслуживаемые помещения. В зависимости от наружной температуры воздух, поступающий в приточную камеру, требуется нагревать, что влечет за собой затраты на тепловую энергию. В целях энергосбережения необходимо уменьшить объем тепловой энергии, затраченный на нагрев воздуха;

б) в приточной установке – воздухоохладитель (BHV – BE3A, Россия; BS – Промвентхолд, Россия [8, 9]; Uno – Horos, Россия; ComfoAir – Zehnder Group, США) [10, 11] – устройство, предназначенное для охлаждения воздуха, в дальнейшем поступающего в обслуживаемые помещения. В теплое время года наружный воздух может иметь температуру выше, чем требуемая температура приточного воздуха, поэтому его необходимо охлаждать. Как правило, в качестве воздухоохладителя используют фреоновые воздухоохладители, работающие за счет потребления электрической энергии. В целях энергосбережения необходимо добиться сокращения потребления электрической энергии;

в) в приточной и вытяжной установке – вентиляторы (ВРАН – BE3A, Россия; BS – Промвентхолд, Россия [8, 9]; Uno – Horos, Россия; ComfoAir – Zehnder Group, США) [10, 11] – устройства, создающие разность давлений для перемещения

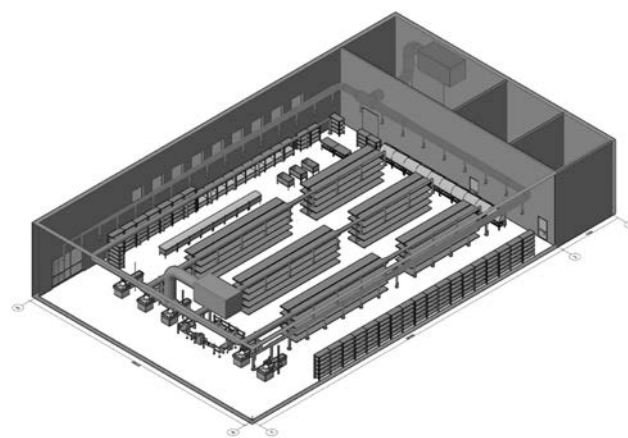


Рис. 1. План торговых площадей комплекса «Магнит»
Fig. 1. Retail space plan for the shopping centre "Magnit"

обработанного воздуха по воздуховодам. Вентиляторы являются основным потребителем электроэнергии, поэтому важно предусматривать меры по снижению ими энергопотребления всевозможными способами.

В данном здании при проектировании рассматривался вопрос о применении систем вентиляции с переменным расходом воздуха либо периодически действующих систем вентиляции. Оба мероприятия позволяют значительно снизить как теплопотребление, так и электропотребление. Данные способы основаны на том, что общественным зданиям свойственна неравномерность нахождения в них людей [7]. Система вентиляции рассчитывается на воздухообмен при максимально возможном количестве вредных выделений. Как правило, в общественных зданиях основным неблагоприятным фактором, воздействующим на человека, являются вредные выделения, поэтому, в зависимости от заполнения людьми обслуживаемых помещений, следует регулировать объем приточного и вытяжного воздуха.

Моментальный расчет нагрузки можно провести двумя способами:

- определение численности человек в помещении эмпирическим путем. Как правило, для этого во входной группе устанавливают счетчики посетителей, которые определяют точное количество людей, находящихся в помещении в любой момент времени;
- установка в обслуживаемых помещениях датчиков температуры и влажности, газоанализаторов в зависимости от преобладающих вредностей.

Полученные данные о количестве людей либо данные о параметрах микроклимата в помещении передаются на контроллер – специальное устройство, способное выполнять заданную, четко определенную последовательность операций. Получив входные данные, контроллер их обрабатывает посредством заложенных в нем алгоритмов расчета воздухообмена и определяет, какое количество воздуха должно подаваться в помещение и удаляться из него в данный момент времени.

Переменный расход в системах вентиляции достигается за счет использования частотного регулирования. Посредством частотного преобразователя регулируется частота вращения рабочего колеса вентилятора [6, 7]. В итоге сигнал с контроллера передается на частотный преобразователь, и он меняет частоту вращения вентилятора в зависимости от полученных данных, вследствие чего объем воздуха, проходящий через вентилятор, уменьшается либо увеличивается. Недостатки данного способа заключаются в глубине регулирования частотного преобразователя и влиянии переменных режимов на надежность самого вентилятора, также имеются сложности аэродинамического расчета и трудности в подборе воздухораспределителей.

В периодически действующей системе вентиляции контроллер, помимо расчета воздухообмена, определяет продолжительность работы вентилятора. Когда необходимо снизить объем воздухообмена, контроллер подает сигнал на вентилятор, и он отключается. Как только появляется необходимость заменить воздух, контроллер отправляет сигнал на вентилятор, и он запускается.

3. Результаты и обсуждение

Для выполнения расчета систем вентиляции необходимо знать неравномерность посещения людьми обслуживаемого помещения. Было произведено исследование проходимости проектируемого магазина «Магнит», в результате которого были получены максимальные значения количества посетителей в зависимости от времени суток. Количество посетителей в проектируемом торговом центре принималось аналогичным числу посетителей подобных, уже функционирующих торговых площадок. Данная выборка не затрагивает выходные и праздничные дни. Результаты неравномерности отображены в таблице 1.

Расход воздуха в приточной/вытяжной системе вентиляции торгового комплекса напрямую зависит от количества посетителей. Так как вентиляционная установка подбирается на максимально возможную нагрузку (максимально

Таблица 1/Table 1

Количество людей в магазине в зависимости от часов суток
Number of people in the store depending on the hours of the day

Промежуток времени, ч	Кол-во чел.	Промежуток времени, ч	Кол-во чел.	Промежуток времени, ч	Кол-во чел.	Промежуток времени, ч	Кол-во чел.
0:00 – 1:00	150	6:00 – 7:00	0	12:00 – 13:00	400	18:00 – 19:00	400
1:00 – 2:00	0	7:00 – 8:00	200	13:00 – 14:00	380	19:00 – 20:00	400
2:00 – 3:00	0	8:00 – 9:00	250	14:00 – 15:00	290	20:00 – 21:00	370
3:00 – 4:00	0	9:00 – 10:00	280	15:00 – 16:00	290	21:00 – 22:00	300
4:00 – 5:00	0	10:00 – 11:00	300	16:00 – 17:00	330	22:00 – 23:00	220
5:00 – 6:00	0	11:00 – 12:00	270	17:00 – 18:00	400	23:00 – 0:00	150

возможное число посетителей), то во время снижения количества людей в помещении целесообразно корректировать объем воздухообмена.

Корректировка воздухообмена происходит следующим образом: режим работы вентиляционных систем разбивается на 24 промежутка, по 1 часу каждый. Вентиляционная установка работает с неизменным расходом воздуха, при снижении числа посетителей в контроллере происходит перерасчет необходимого объема воздухообмена, вследствие чего вентиляторы систем работают ровно столько времени, сколько необходимо для осуществления воздухообмена, и затем отключаются на определенный промежуток времени. Иными словами, вентиляторам, подобранным на максимальную нагрузку, при снижении необходимого объема воздухообмена в час требуется меньшее время работы для совершения данного воздухообмена, совершив который, они отключаются, тем самым обеспечивая эффективное использование энергоресурсов.

Автоматизация данной системы строится на следующих принципах: счетчик количества посетителей передает сигнал на сервер обработки данных, в том числе на основной ПК, расположенный в торговом комплексе. Затем ПК передает сигнал посредством кабельных линий связи на контроллер, расположенный в шкафу авто-

матики. Контроллер, обработав входящие данные, задает объем воздухообмена и определяет продолжительность работы вентиляционных установок в течение каждого часа, после чего отправляет сигнал на щиты управления вентиляции о запуске/остановке системы [11]. Схема передачи данных представлена на рис. 2.

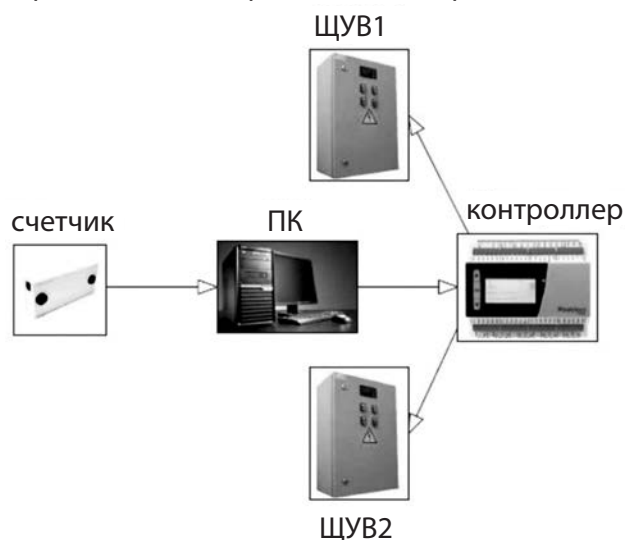


Рис. 2. Схема передачи данных
Fig. 2. Data transmission scheme

Согласно СП 60.13.330.2020², расход воздуха L_{mt} от периодически работающих вентиляционных систем с номинальной производительностью L_n , м³/ч, приводится исходя из продолжи-

² Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха = Heating, ventilation and air conditioning : СП 60.13.330.2020 : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2020 г. № 921/пр : введен 2021-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256> (дата обращения: 09.01.2024).

тельности работы периодически действующей системы вентиляции n , мин, прерываемой работой системы в течение 1 ч, по формуле:

$$L_{mt} = L_n \cdot n / 60 \text{ (м}^3 \text{ / ч)}. \quad (1)$$

L_{mt} принимается равным требуемому расходу воздуха в определенные промежутки времени в зависимости от нагрузок.

Таким образом, зная требуемый объем воздухообмена в течение каждого часа суток, определим продолжительность работы вентиляционной установки для каждого промежутка времени. Результаты расчета приведены на рис. 3.

Система вентиляции предусматривает устройство двух вентиляторов с рабочей мощностью электродвигателей 2.2 кВт. В связи с тем, что режим работы вентиляторов прерывистый, количество потребляемой мощности в час будет изменяться. Результаты расчета потребляемой мощности представлены на рис. 4 [12].

Для определения годового потребления электроэнергии примем количество людей в магазине в зависимости от часов суток согласно таблице 1 и будем считать данную неравномерность постоянной для каждого дня года.

Количество потребляемой электроэнергии вентиляционными установками в течение года определяется по формуле:

$$N_z = \sum_{i=1}^n (N_{di} \cdot 365) \text{ (кВт)}, \quad (2)$$

где N_{di} – потребляемая мощность i -й вентиляционной установки, кВт, за один день.

Количество потребляемой электроэнергии постоянно действующей системы вентиляции в течение года составит:

$$N_{z,n} = (96.0 \cdot 365) + (180.0 \cdot 365) = 100740.0 \text{ (кВт)}.$$

Количество потребляемой электроэнергии периодически действующей системы вентиляции в течение года составит:

$$N_{z,mt} = (55.8 \cdot 365) + (104.63 \cdot 365) = 58555.13 \text{ (кВт)}.$$

Для определения срока окупаемости периодически действующей системы вентиляции необходимо рассчитать количество потребляемой тепловой энергии калориферами вентиляционных установок Q_z , кВт, в течение года. Система вентиляции предусматривает устройство одного калорифера с тепловой мощностью $Q_k = 284$ кВт.

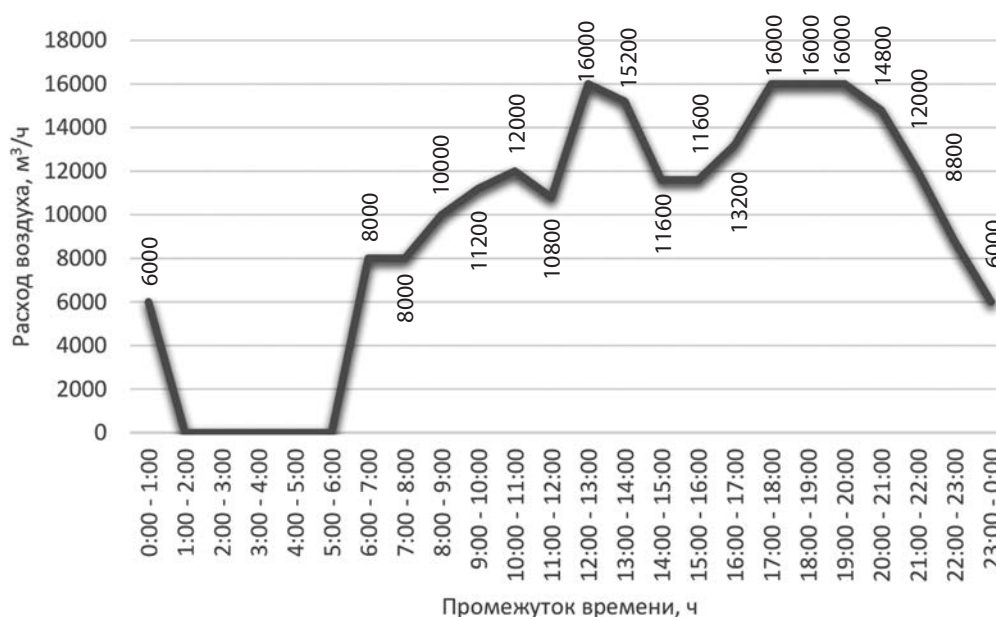


Рис. 3. График распределения необходимого расхода воздуха по периодам времени
Fig. 3. Diagram of the distribution of the required air flow rate by time periods

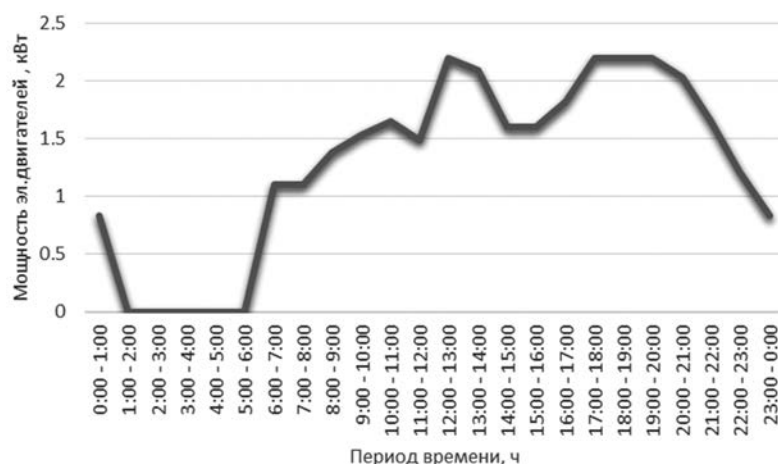


Рис. 4. График распределения потребляемой мощности электродвигателей по периодам времени
Fig. 4. Diagram of electric motor power consumption distribution by time periods

При работе системы вентиляции в прерывистом режиме количество потребляемой тепловой энергии в час Q_{mt} , кВт, будет изменяться. В связи с этим необходимо рассчитать режимы работы калорифера.

Количество потребляемой тепловой энергии воздухонагревателями определяется на основе уравнения теплового баланса по формуле [12]:

$$Q_k = L \cdot C_s \cdot (t_n - t_h) \cdot \rho / 3600 \cdot 1 / \eta \text{ (кВт)}, \quad (3)$$

где L – расход воздуха, проходящего через калорифер, м³/ч;

C_s – удельная теплоемкость воздуха, принимаемая равной 1 005 Дж/кг·°С;

t_h – температура воздуха на входе в калорифер (температура наружного воздуха), °С;

t_n – температура воздуха на выходе из калорифера, °С;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

η – КПД калорифера, для данного калорифера принимается равным 0.85.

В целях упрощения расчетов значение расхода воздуха периодически действующей системы вентиляции L_{mt} , м³/ч, принято среднеарифметическим значением от изменяющегося в течение суток расхода, равным 9 300 м³/ч (рис. 3).

В зависимости от параметров наружного и внутреннего воздуха нагрузка на калорифер будет изменяться, поэтому расчет производится на

основе среднемесячных температур и периода года. Результаты расчета приведены на рис. 5.

Количество потребляемой тепловой энергии вентиляционными установками в течение года определяется по формуле [12]:

$$Q_z = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot a_i) \text{ (кВт)}, \quad (4)$$

где Q_i – потребляемая тепловая энергия вентиляционной установкой, кВт, за один час в i -м месяце; a_i – количество часов в i -м месяце.

Расчет потребляемой тепловой энергии периодически действующей системы вентиляции Q_{mt} , кВт, и постоянно действующей системы вентиляции Q_n , кВт, в течение года отображен на рис. 6.

Согласно [13], были произведены расчеты годовых затрат на энергоносители, потребление тепловой энергии и срока окупаемости периодически действующей системы вентиляции.

Годовые затраты на потребление электроэнергии $\mathcal{E}$, руб., рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = N_z \cdot C_z \text{ (руб.)}, \quad (5)$$

где N_z – количество потребляемой электроэнергии вентиляционными установками в течение года, кВт;

C_z – стоимость 1 кВт электрической энергии, руб. (стоимость 1 кВт электроэнергии при расчетах принята 2.87 руб./кВт³).

³ Тарифы на электроэнергию в Тюмени и Тюменской области с 1 января 2020 года. – Текст : электронный // RusCable.ru : сайт. – URL: https://www.ruscable.ru/articles/tarifs/tarify_na_elektroenergiu_na_2020_god/tyumen_1 (дата обращения: 09.01.2024).

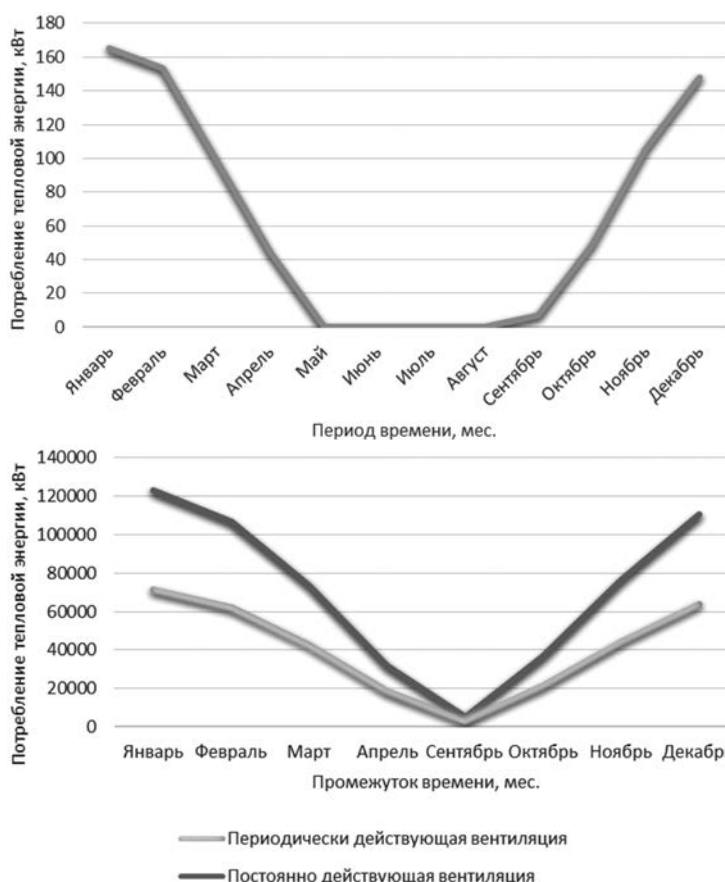


Рис. 5. График потребления тепловой энергии калориферами системы вентиляции в течение часа по месяцам

Fig. 5. Diagram of heat consumption by ventilation system heaters per hour by month

Рис. 6. График годового потребления тепловой энергии системой вентиляции
Fig. 6. Diagram of annual heat consumption by ventilation system

Годовые затраты на потребление тепловой энергии T , руб., рассчитываются по формуле:

$$T = Q_z \cdot C_m \text{ (руб.)}, \quad (6)$$

где Q_z – количество потребляемой тепловой энергии вентиляционными установками в течение года, Гкал;

C_m – стоимость 1 Гкал тепловой энергии, руб. (стоимость 1 Гкал тепловой энергии при расчетах принята 1 530.44 руб./Гкал⁴).

Данные расчетов по формулам (2), (4), (5), (6) представлены в таблице 2.

Таким образом, использование периодически действующей системы приводит к сокращению потребляемой тепловой и электроэнергии в 1.72 раза по сравнению с системой вентиляции постоянного действия (таблица 2).

Таблица 2/Table 2

Годовые затраты на энергоносители
Annual costs for energy carriers

Периодически действующая система вентиляции			
N_z , кВт	Q_z , Гкал	Э, руб.	T , руб.
58 555.13	281.44	168 053.21	430 727.03
Постоянно действующая система вентиляции			
N_z , кВт	Q_z , Гкал	Э, руб.	T , руб.
100 740.00	484.20	289 123.80	741 039.05

Количество сэкономленных материальных средств в год на эксплуатационных расходах при применении периодически действующей системы вентиляции определяется по формуле:

$$\Delta_c = (\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_{mt}) + (T_n - T_{mt}) \text{ (руб.)}. \quad (7)$$

⁴ Тарифы и нормативы. – Текст : электронный // УСТЭК : сайт. – URL: <https://ao-ustek.ru/potrebitelyam/tarify/> (дата обращения: 09.01.2024).

$$\Delta_c = (289123.80 - 168053.20) + \\ + (741039.05 - 430727.03) = 431382.6 \text{ (руб.)}$$

Срок окупаемости периодически действующей системы вентиляции в сравнении с постоянно действующей системой вентиляции определяется по формуле:

$$n = \frac{C_{в.о.}}{\Delta_c} (2), \quad (8)$$

где $C_{в.о.}$ – стоимость вспомогательного оборудования, монтажа и пусконаладки периодически действующей системы вентиляции, руб.

$$n = \frac{177960.0}{431382.6} = 0.4 (2).$$

4. Заключение

Системы вентиляции с периодическим режимом работы являются одним из оптимальных

способов экономии затрат на тепловую и электрическую энергию.

Согласно расчетам, использование такой системы в проектируемом торговом центре «Магнит» (г. Тюмень) приведет к экономии затрат на тепловую и электрическую энергию в 1.72 раза по сравнению с системой вентиляции постоянного действия. Применение данной системы не повлечет за собой значительных капитальных вложений, оборудование окупится за 0.4 года.

В итоге можно сделать вывод, что применение периодически действующей системы вентиляции в общественных зданиях с большой пиковой нагрузкой и большой неравномерностью посещения людьми является эффективным решением как при возведении новых объектов, так и при техническом перевооружении и реконструкции существующих.

Библиографический список

1. Ferstl, N. Ventilation and Air-Conditioning Systems / N. Ferstl. – Текст : электронный // GMT Journal : сайт. – 2022. – 28 March. – URL: <https://www.gmp-journal.com/current-articles/details/ventilation-and-air-conditioning-systems.html> (дата обращения: 09.01.2024).
2. Кувшинов, Ю. Я. Прерывистый режим работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Ю. Я. Кувшинов, Н. В. Ткаченко. – Текст : непосредственный // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2011. – № 5. – С. 26–29.
3. Жилина, Т. С. Опыт проектирования приточно-вытяжных систем вентиляции на примере помещений офисного центра в г. Тобольске / Т. С. Жилина, С. Д. Вяткина, Ю. С. Ульянова. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-60-72. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4. – С. 60–72.
4. Residential heat recovery ventilation units. – Текст : электронный // AFEC : сайт. – 2021. – September. – URL: <https://www.afec.es/documentos/eurovent-residential-heat-recovery-ventilation-units-guidebook-en-20210914.pdf> (дата обращения: 09.01.2024).
5. Balanced ventilation systems (HRVs and ERVs). – Текст : электронный // Building Science.com Corporation : сайт. – 2013. – 12 September. – URL: <https://buildingscience.com/documents/information-sheets/info-611-balanced-ventilation-systems> (дата обращения: 09.01.2024).
6. Aktershev, S. Numerical simulation of the energy-saving device for ventilation with periodic veering of an air flow / S. Aktershev, I. Mezentsev, N. Mezentseva. – DOI 10.1088/1742-6596/1677/1/012101. – Текст : непосредственный // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1677, No. 1. – P. 012101.
7. Liang, B. A preliminary research on the periodic characteristics of a ventilation system with fluid oscillator / B. Liang, H. Wang. – DOI 10.1051/e3sconf/202235601068. – Текст : непосредственный // E3S Web of Conferences. – 2022. – Vol. 356. – P. 01068.
8. ВЕЗА : сайт. – URL: <https://www.veza.ru> (дата обращения: 09.01.2024). – Текст : электронный.
9. Обработка воздуха. Обзор вентиляционных систем. – Текст : электронный // Группа компаний промвентхолод : сайт. – URL: https://ekb.promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/obrabotka-vozdukh-obzor-ventilyatsionnykh-sistem.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 09.01.2024).
10. Виды вентиляции и чем они отличаются. – Текст : электронный // Horos : сайт. – URL: <https://rushoros.ru/blog/tekhnologii/vidy-ventilyatsii-i-chem-oni-otlichayutsya/> (дата обращения: 09.01.2024).
11. Ventilation system ComfoAir Luxe. – Текст : электронный // zehnderamerica.com : сайт. – URL: <https://www.zehnderamerica.com/wp-content/uploads/2014/01/Zehnder-User-Manual-ComfoAir160-200-350-550-2014.pdf>.

12. Кувшинов, Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий : монография / Ю. Я. Кувшинов. – Москва : МГСУ, 2010. – 321 с. – Текст : непосредственный.
13. Экономика и управление в современных условиях : монография / под науч. ред. В. А. Шапошникова. – Екатеринбург : Изд-во РГПУ, 2022. – 143 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Ferstl, N. Ventilation and Air-Conditioning Systems. Available at: <https://www.gmp-journal.com/current-articles/details/ventilation-and-air-conditioning-systems.html> (accessed 09.01.2024). (In English).
2. Kuvshinov, Yu. Ya., & Tkachenko, N. V. (2011). Preryvisty rezhim raboty sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh. AVOK, (5), pp. 26-29. (In Russian).
3. Zhilina, T. S., Viatkina, S. D., & Ulyanova, Yu. S. (2022). Experience in designing the supply-and-exhaust ventilation systems on the example of the premises of the office center in Tobolsk. Architecture, Construction, Transport, (4(102)), pp. 60-72. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-4-60-72.
4. Residential heat recovery ventilation units. Available at: <https://www.afec.es/documentos/eurovent-residential-heat-recovery-ventilation-units-guidebook-en-20210914.pdf> (accessed 09.01.2024). (In English).
5. Balanced ventilation systems (HRVs and ERVs). Available at: <https://buildingscience.com/documents/information-sheets/info-611-balanced-ventilation-systems> (accessed 09.01.2024). (In English).
6. Aktershev, S., Mezentsev, I., & Mezentseva, N. (2020). Numerical simulation of the energy-saving device for ventilation with periodic veering of an air flow. Journal of Physics: Conference Series, 1677(1), pp. 012101. (In English). DOI 10.1088/1742-6596/1677/1/012101.
7. Liang, B., & Wang, H. (2022). A preliminary research on the periodic characteristics of a ventilation system with fluid oscillator. E3S Web of Conferences, 356, pp. 01068. (In English). DOI 10.1051/e3sconf/202235601068.
8. VEZA. Available at: <https://www.veza.ru> (accessed 09.01.2024). (In Russian).
9. Obrabotka vozdukh. Obzor ventilyatsionnykh sistem. Available at: https://ekb.promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/obrabotka-vozdukh-obzor-ventilyatsionnykh-sistem.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (accessed 09.01.2024). (In Russian).
10. Vidy ventilyatsii i chem oni otlichayutsya. Available at: <https://rushoros.ru/blog/tekhnologii/vidy-ventilyatsii-i-chem-oni-otlichayutsya/> (accessed 09.01.2024). (In Russian).
11. Ventilation system ComfoAir Luxe. Available at: <https://www.zehnderamerica.com/wp-content/uploads/2014/01/Zehnder-User-Manual-ComfoAir160-200-350-550-2014.pdf> (accessed 09.01.2024). (In English).
12. Kuvshinov, Yu. Ya. (2010). Energoberezhenie v sisteme obespecheniya mikroklimata zdaniy. Moscow, MGSU Publ., 321 p. (In Russian).
13. Shaposhnikov, V. A. (eds.). (2022). Ekonomika i upravlenie v sovremennykh usloviyakh. Ekaterinburg, RSVPU Publ., 143 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Афонин Константин Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: afoninkv@tyuiu.ru. ORCID 0009-0007-9431-4244

Жилина Татьяна Семеновна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zhilinats@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-7832-2331

Загорская Алла Александровна, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zagorskajaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3147-0438

Молостова Ирина Евгеньевна, старший преподаватель кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: molostovaie@tyuiu.ru. ORCID 0009-0002-5809-9106

Information about the authors

Konstantin V. Afonin, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: afoninkv@tyuiu.ru. ORCID 0009-0007-9431-4244

Tatyana S. Zhilina, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: zhilinats@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-7832-2331

Alla A. Zagorskaja, Senior Lecturer at the Department of Industrial Safety, Industrial University of Tyumen, e-mail: zagorskajaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3147-0438

Irina E. Molostova, Senior Lecturer at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: molostovaie@tyuiu.ru. ORCID 0009-0002-5809-9106