

УДК 628.8

Оценка энергопотребления для отопления и охлаждения зданий

Канд. техн. наук **Лысёв В.И.** kafedra-kv@yandex.ru

Коцюлим Н.Н. hbspn@mail.ru

Кучанский В.А. anonymk91@mail.com

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Энергопотребление системами обеспечения микроклимата зданий базируется на расчете годовых затрат тепловой и электрической энергий на обеспечение микроклимата в помещениях здания при его отоплении и охлаждении. Численные значения энергетических характеристик и показателей регламентируются нормативными документами в зависимости от назначения конкретного здания. Для определения годового энергопотребления здания, необходимо знать теплотехнические и геометрические характеристики его отдельных ограждающих конструкций, а так же условия функционирования здания в зависимости от климатических условий региона, в котором оно находится. Был выполнен анализ действующих нормативных документов по расчету годовых расходов тепловой и электрической энергии, потребляемых системами обеспечения микроклимата в помещениях зданий общественного назначения. Это позволило выполнить необходимые расчеты по определению энергопотребления за отопительный и охлаждающий периоды. Было проведено сопоставление полученных результатов с нормативными величинами.

Ключевые слова: система обеспечения микроклимата, отопительный и охлаждающий периоды, расход теплоты и холода, параметры наружного воздуха, энергетические характеристики и показатели, энергопотребление здания.

Assessment of energy consumption for heating and cooling buildings

Ph.D. **Lysyov V.I.** kafedra-kv@yandex.ru

Kotsyulim N.N. hbspn@mail.ru

Kuchansky V.A. anonymk91@mail.com

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Energy consumption by building environment systems is based on calculation of annual expenses of thermal and electric energies on microclimate provision in premises of the building at its heating and cooling. Numerical values of energy characteristics and indicators are regulated by normative documents depending on the purpose of a particular building. To determine the annual energy consumption of the building, it is necessary to know the thermal and geometric characteristics of its individual enclosing structures, as well as the conditions of the building, depending on the climatic conditions of the region in which it is located. The analysis of the existing normative documents on calculation of annual expenses of thermal and electric energy consumed by building environment systems in premises of public purpose buildings was carried out. This made it possible to perform the necessary calculations to determine the energy consumption for the heating and cooling periods. The results were compared with the normative values.

Keywords: building environment systems, heating and cooling seasons, heat and cold consumption, outdoor air parameters, energetic characteristics and indicators, energy use of building.

В соответствии с требованиями Федерального Закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1] и Распоряжением Правительства РФ [2] для определения потенциала энергопотребления объекта необходимо иметь объективную информацию о его энергетических показателях. Актуальность этого вопроса непосредственно связана с эффективностью использования энергоресурсов в технологических процессах систем обеспечения микроклимата в зданиях [3].

Большинство зданий и сооружений оборудуются техническими системами, обеспечивающими необходимое состояние воздушной среды в замкнутом объеме (помещении). К системам обеспечивающих микроклимат (СОМ) относятся системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК).

Эти системы являются, как правило, потребителями тепловой и электрической энергии.

В холодный период года (отопительный период) потребляется тепловая энергия на отопление и вентиляцию, в теплый период года (охлаждающий период) – электрическая энергия для работы агрегатов и механизмов холодильных установок.

Действующие нормативные документы [4, 5] регламентируют расчет энергии, потребляемый СОМ. Расход тепловой энергии, необходимый для отопления здания за отопительный период, определяется по уравнению теплопередачи и зависит от величины трансмиссионных потоков теплоты через наружные ограждающие конструкции [3, 5]. При этом термические сопротивления теплопередаче отдельных фрагментов теплозащитной оболочки здания должны удовлетворять нормативным требованиям [6]. Расход теплоты, необходимый для нагрева наружного воздуха (поступающего за счет инфильтрации или подаваемый приточными установками) за отопительный период, определяется по уравнению теплового баланса [3, 5].

Кроме того, часть необходимого расхода теплоты может быть компенсирована (восполнена) поступлениями теплоты от внутренних источников и за счет солнечной радиации [5, 6].

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 55656-2013 является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 13790:2008 «Энергетические характеристики здания. Расчет использования энергии для отопления помещений» [5]. Стандарт предназначен, в том числе, «для сравнения энергетических характеристик альтернативных решений проектируемого здания и выяснения уровня энергетических характеристик существующих зданий». Необходимые исходные данные изложены в п.1.3, а основные результаты расчетов в п. 1.4.

Системы обеспечения микроклимата (СОМ) обеспечивают нейтрализацию внешних климатических воздействий [7] (температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации) на внутренние условия микроклимата в помещениях. При этом энергопотребление линейно зависит от температуры наружного воздуха и возможно проводить расчеты по усредненным за некоторый период (сутки, месяц, сезон) значениям температуры и интенсивности солнечной радиации.

В стандарте оговаривается «вариативность» климатической информации (п.1.5) и связанная с ней точность проводимых расчетов (п.1.6). Данный стандарт применим также к существующим зданиям, что позволяет получить информацию для Энергетического паспорта здания и оценить класс его энергетической эффективности[3].

В данном нормативном документе рассматриваются два периода и переходные условия[5]:

– **отопительный** период (heating season): Период, характеризующийся превышением теплотерь здания над тепlopоступлениями, что приводит к необходимости подачи теплоты в здание для поддержания нормируемой температуры в помещениях – период времени действия отопления.

– **охлаждающий** период (cooling season): Период, характеризующийся превышением тепlopоступлений в помещения здания над тепlopотерями, что приводит к необходимости искусственного охлаждения помещений здания для поддержания в них нормируемой температуры.

– **переходные условия**(intermediate conditions): Период, характеризующийся сочетанием наружных метеорологических параметров, при котором тепlopотери помещений здания в среднем компенсируются тепlopоступлениями; служат границей между холодным и теплым периодами года.

Для расчета годовых затрат энергии на отопление, вентиляцию и охлаждение здания в стандарте используются методы стационарного расчета. В случае поддержания температуры помещения только в рабочую часть суток на нестационарность процесса вводятся поправочные коэффициенты, зависящие от режима работы здания и его теплоинерционных характеристик.

Если система вентиляции работает неполные сутки, то средняя за период температура наружного воздуха корректируется для той части суток, которую работает система».

В разделах 7-10 приводятся ссылки на Приложения, которые в тексте данного стандарта *отсутствуют*. Кроме того, в тексте стандарта отсутствуют рекомендации по определению величины солнечной радиации в охлаждающий период, а ссылки на СНиПы [8, 9] не соответствуют действующим сводам правил [6, 7]. Для реализации рекомендаций, изложенных в разделе 11, необходима более детальная и достоверная климатологическая информация. Основным источником современной базовой климатической информации является научно-прикладной справочник по климату [10]. Электронная версия «Научно-прикладного справочника России» включает базовую информацию до 2006 года и формируется по территориальному принципу[11].

На величину расхода энергии, потребляемой СОМ, влияют следующие факторы[12]:

- нормируемые параметры микроклимата (прежде всего, температура воздуха);
- объемно-планировочные решения (характеристики) здания;
- теплотехнические характеристики ограждающих конструкций здания;
- внутренние источники поступлений теплоты и солнечная радиация;
- нормируемый расход воздуха наружного и инфильтрационного;
- климатологические параметры региона, в котором находится объект.

Сочетание перечисленных факторов приводит к значительному числу возможных вариантов технических решений (мероприятий) по обеспечению минимально необходимого (нормируемого) расхода энергии, потребляемой системами обеспечения микроклимата.

Рассмотрим отдельные составляющие теплового баланса СОМ.

В холодный период года (отопительный период) при температурах наружного воздуха ниже, чем в помещении, имеют место потери теплоты через наружные ограждающие конструкции здания. Величина этих (трансмиссионных) потоков теплоты зависит, прежде всего, от теплотехнических свойств ограждающих конструкций здания и в течение отопительного периода изменяется линейно (пропорционально) температуре наружного воздуха. Потери теплоты (трансмиссионные) через наружные ограждения здания, как правило, компенсируются системам отопления: $Q_{от} = Q_{отр}$.

Качество воздуха, влияющее на жизнедеятельность людей, обеспечивается подачей необходимого расхода наружного воздуха в помещения. Величина воздухообмена зависит от назначения помещения и времени пребывания в нем людей [3]. Для нагрева вентиляционного воздуха также необходима теплота: $Q_{вен}$.

Таким образом, для работы (функционирования) систем отопления и вентиляции здания необходима тепловая энергия: $Q_{ов} = (Q_{от} + Q_{вен})$.

Почти во всех зданиях (в том числе общественных) имеют место внутренние источники поступлений теплоты ($Q_{вн}$) (люди, оборудование, освещение и т.п.), наличие которых позволяет сократить расход теплоты на отопление и вентиляцию здания. Кроме того, через светопрозрачные проемы возможно поступление теплоты от солнечной радиации ($Q_{с.р.}$), величина которой изменяется в течение отопительного периода из-за наличия переменной облачности, времени суток, а так же зависит от географической ориентации здания по странам света. В теплый период года (охлаждающий период) при температурах наружного воздуха выше, чем в помещении, имеют место поступления теплоты через наружные ограждающие конструкции здания и с наружным воздухом. Наличие внутренних источников теплоты и солнечной радиации также существенно влияют на поступления теплоты в помещения здания. Тогда возникает необходимость в «отводе» избытков теплоты из помещений. Это приводит к работе СОМ с потреблением холода. Для получения искусственного (машинного) холода необходима электрическая энергия на привод машин и агрегатов систем холодоснабжения.

Получение объективной информации об энергопотреблении СОМ возможно после выявления условий функционирования конкретного здания в течение годового цикла его эксплуатации [12, 13].

По результатам анализа нормативно-методических источников, нами предлагается следующий порядок (*алгоритм*) действий:

1. Сбор и обобщение исходной информации (исходных данных) об объекте:
 - нормируемые параметры микроклимата по периодам года;
 - объемно-планировочные решения и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций здания;
 - нормируемый расход наружного воздуха;
 - величина и продолжительность внутренних источников поступлений теплоты в помещениях;
 - климатологические параметры (включая солнечную радиацию) региона, в котором находится объект.
2. Определение температурного диапазона (начала/окончания) и продолжительности отопительного и охлаждающего периодов работы СОМ.
3. Вычисление составляющих расходов тепловой и электрической энергии по периодам функционирования СОМ.
4. Расчет удельного расхода тепловой энергии за отопительный период, сопоставление его с нормативным значением и определение класса энергетической эффективности здания [6].

Потери теплоты через наружные ограждения здания относительно стабильны, так как зависят от теплозащитных свойств ограждающих конструкций, воздухопроницаемости, прежде всего, светопрозрачных конструкций, и наружных климатических условий (в частности, градусосутки отопительного периода – ГСОП).

Расход наружного приточного воздуха, как правило, определяется необходимостью обеспечения его газового состава в помещениях и зависит от расчетного количества людей и времени их пребывания в здании (санитарной нормы расхода наружного воздуха).

Поступления теплоты от внутренних источников и солнечной радиации часто переменны по величине и в течение времени. Поэтому эти величин могут изменяться в довольно широком диапазоне.

Расчетные зависимости, используемые для вычисления расхода тепловой энергии, приводятся в Национальном стандарте РФ [5].

Общие трансмиссионные потери теплоты за отопительный период, мДж, [5]:

$$Q_{отр} = 0,0864(k_{зд} \times F_{отр})ГСОП,$$

где $k_{зд}$ – приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²×°C); $F_{огр}$ – общая (суммарная) площадь внутренних поверхностей всех наружных ограждений теплозащитной оболочки (ТЗО) здания, м²; $ГСОП$ – величина градусо-суток отопительного периода, (°C×сут).

Расход теплоты на нагрев воздуха, мДж, [5]:

$$Q_v = 0,0864[0,28(c_v \times p_v) \cdot L_v \times ГСОП],$$

где c_v – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг×°C); p_v – плотность воздуха, кг/м³; L_v – расход воздуха (объемный часовой), (м³/ч); $ГСОП$ – величина градусо-суток отопительного периода, (°C×сут).

Внутренние поступления теплоты в здании за отопительный период, мДж, [5]:

$$Q_{вн} = 0,0864 (q_{вн} \times F_{расч}) z_{оп},$$

где $q_{вн}$ – удельные (на 1 м² расчетной площади) поступления теплоты, Вт/м²; $F_{расч}$ – расчетная площадь здания, м²; $z_{оп}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Расход тепловой энергии с учетом внутренних тепловыделений, мДж, [5]:

$$Q = (Q_{огр} + Q_v) - Q_{вн}$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, [кДж / м³(°C·сут)]:

$$q = Q / (V \times ГСОП),$$

где V – отапливаемый объем здания, м³.

Расход электроэнергии для работы агрегатов и механизмов холодильных установок определяется по известным зависимостям

Вентилятор, перемещающий обрабатываемый воздух, работает при всех сочетаниях параметров наружного климата. Электропотребление вентилятора определяется по известной формуле:

$$N_{вент} = \frac{GP_{вент}}{3600 \rho_v \eta_{вент}} \tau,$$

где G – расход воздуха, кг/ч;

$P_{вент}$ – аэродинамическое сопротивление вентиляционного тракта, Па;

ρ_v – плотность перемещаемого воздуха, кг/м³;

$\eta_{вент}$ – коэффициент полезного действия вентилятора;

τ – время работы системы при рассматриваемом сочетании параметров климата.

В наших предыдущих публикациях рассматривалось энергопотребление зданий по методикам прошлых лет [14, 15, 16]. Аналогичные исследования проводятся нами, с использованием условий функционирования конкретного объекта. При этом расчеты энергопотребления проводятся, как для отопительного, так и охладительного периодов.

Заключение

Наличие зданий с разнообразными характеристиками (по объемно-планировочным решениям, теплотехническим характеристикам ограждающих конструкций, технических решений систем вентиляции, наличию внутренних источников поступлений теплоты и т.д.) приводит к большому числу возможных вариантов энергопотребления.

Здания прежней («старой») застройки имеют оконные проемы с деревянными переплетами. Это обстоятельство приводит к увеличению потерь теплоты (в том числе, значительной инфильтрации наружного воздуха) и, как следствие, затратам на их компенсацию (расход тепловой энергии на отопление здания). Однако, наличие инфильтрационного воздуха, позволяет обеспечить потребность людей в кислороде (свежем наружном воздухе) и не требует затрат на нагрев наружного воздуха в системах вентиляции с механическим побуждением.

В настоящее время в оконные проемы зданий устанавливают стеклопакеты, имеющие, по сравнению с деревянными переплетами, более значительные термические сопротивления теплопередаче. Это позволяет (иногда существенно) сократить потребление тепловой энергии непосредственно на компенсацию потерь теплоты, то есть на отопление здания. Но при этом возникает необходимость в обустройстве здания системами механической вентиляции, что требует не только затрат на нагрев наружного приточного воздуха, но и дополнительных инвестиций на сооружение систем приточной вентиляции и установку стеклопакетов в процессе реконструкции здания. Это обстоятельство приводит к необходимости проведения технико-экономического обоснования целесообразности проводимых мероприятий.

Согласно указаниям свода Правил [6] показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания является удельная характеристика расхода тепловой энергии (УХРТЭ) на отопление и вентиляцию здания. Этот показатель учитывает как теплозащитные свойства здания, так и затраты тепловой энергии на нагрев наружного воздуха.

Удельный расход тепловой энергии на отопление здания должен быть не больше нормируемой величины, зависящей от типа здания. Однако, неопределенность исходных условий, влияющих на расход воздуха и внутренние теплопоступления, приводит к значительному диапазону значений удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

По величине отклонения расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии здания от нормируемого (требуемого) значения определяется класс энергетической эффективности здания [6]. В зависимости от конкретных исходных условий объекта могут быть разные расчетные значения удельной характеристики расхода тепловой энергии и, как следствие, классы энергетической эффективности здания.

Литература

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1 – 6. Вып. 1–35. Л.: Гидрометеоздат, 1990 – 1999.
3. Сотников А.Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС (в 2-х томах с продолжением). Т. 1. СПб., 2013. 423 с.: ил.
4. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1990. – 300 с.
5. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006.– 640 с.
6. Лысёв В.И., Чурюмов М.С., Шилин А.С. Энергетические показатели зданий учебных корпусов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 1. С. 33 – 37.
7. Лысёв В.И., Чурюмов М.С., Шилин А.С. Оценка потенциала теплопотребления для зданий общежитий. В сборнике: VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Материалы конференции. Санкт-Петербург, Россия, 2015, С. 394 – 397.
8. Лысёв В.И., Шилин А.С. Результаты энергетического обследования здания общежития. В сборнике: VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Материалы конференции. Санкт-Петербург, Россия, 2015, С. 398 – 401.

References

1. Federallaw of 23.11.2009 № 261 «On energy saving and on increasing energy efficiency and on amending certain legislative acts of the Russian Federation».
2. Scientific and applied book on climate of USSR. Ser. 3. P. 1 – 6. Вып. 1–35. Л.: Hydrometeorological publishing house, 1990 – 1999.
3. Sotnikov A.G. Design and calculation of ventilation and air-conditioning systems. Vol. 1. SPb., 2013. 423 p.
4. Rymkevich A.A. System analysis of optimization of general ventilation and air-conditioning – М.: Stroiizdat, 1990. – 300 p.
5. Belova E.M. Central air-conditioning system in buildings. –М.: Euroclimate, 2006.- 640 p.
6. Lysev V.I., Churyumov M.S., Shilin A.S. Energy indicators of educational buildings // *The scientific journal of ITMO. Series: Refrigeration and air conditioning*. 2015. № 1. P. 33–37.
7. Lysev V.I., Churyumov M.S., Shilin A.S. Estimation of the potential for heat consumption for the hostel buildings. In the collection: Y11 International scientific and technical conference "Low-temperature and food technologies in the XXI century". Conference proceedings. Saint-Petersburg, Russia, 2015, P. 394 - 397.

8. Lysev V.I., Shilin A.S. The results of the energy survey of the hostel building. In the collection: U11 International Scientific and Technical Conference "Low-Temperature and Food Technologies in the 21st Century". Conference proceedings. Saint-Petersburg, Russia, 2015, С. 398 – 401.

Статья поступила в редакцию 14.03.2018 г.