

УДК 697.1:699.86

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ
В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ
И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

Л.М. Парфенова

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь
e-mail: l.parfenova@psu.by

В статье рассмотрены методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и методика расчета энергетических показателей в дипломном проекте специальности «Промышленное и гражданское строительство». Приведены упрощения, принятые в расчетах теплотехнических и энергетических показателей, учитывающие специфику подготовки по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Ключевые слова: *теплотехнические показатели, энергетические показатели, класс энергетической эффективности, дипломный проект, промышленное и гражданское строительство.*

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS
IN THE GRADUATION PROJECT OF THE SPECIALTY «INDUSTRIAL AND CIVIL ENGINEERING»

L. Parfenova

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
e-mail: l.parfenova@psu.by

The article discusses the methodology for calculating the reduced resistance to heat transfer of enclosing structures and the methodology for calculating energy indicators in the graduation project of the specialty «Industrial and Civil Engineering». The simplifications adopted in the calculations of thermal technical and energy indicators are given, taking into account the specifics of training in the specialty «Industrial and Civil Engineering».

Keywords: *thermal technical indicators, energy indicators, energy efficiency class, graduation project, industrial and civil construction.*

Введение. Одной из основных задач, решаемых студентами при выполнении дипломного проекта по специальности «Промышленное и гражданское строительство», является проектирование зданий с высоким классом энергетической эффективности. Вопросы энергетической эффективности зданий регламентируются в настоящее время пятью техническими нормативными правовыми актами: СН 2.04.02-2020 [1], СП 2.04.01-2020 [2], СП 3.02.01-2020 [3], СП 2.04.02-2020 [4], СНБ 2.04.05-2000 [5]. Использование методик расчета, справочных и нормативных данных, представленных в пяти нормативных документах, делает задачу по определению класса энергетической эффективности здания достаточно трудоемкой. В этой связи были разработаны методические основы проектирования энергоэффективных зданий, учитывающие специфику специальности «Промышленное и гражданское строительство».

При выполнении расчетов используются следующие определения:

Энергетическая эффективность здания – характеристика соответствия энергопотребления здания нормативным значениям, выраженная в классах по нормируемым показателям [1].

Класс энергетической эффективности здания по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию – характеристика здания по уровню потребления поставляемой энергии нетто, определяемая интервалом значений удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период [1].

Удельный расход энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период – количество поставляемой энергии нетто за отопительный период, необходимое для компенсации тепловых потерь здания с учетом воздухообмена и тепловыделений в здании при нормируемых параметрах теплового и воздушного режимов помещений в здании, отнесенное к единице отапливаемой площади или отапливаемого объема здания [1].

В соответствии с действующими нормативными документами энергетическая эффективность здания характеризуется одним из восьми классов: А+, А, В, С, D, E, F, G. Согласно СН 2.04.02-2020 [1] при разработке проектной документации на вновь возводимые и реконструируемые жилые здания устанавливают классы А+, А, В по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период. Проектирование вновь возводимых и реконструируемых жилых зданий классов С, D, E, F, G по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период не допускается. Таким образом, при разработке дипломного проекта на вновь возводимые и реконструируемые жилые здания должен быть обеспечен класс А+, А, В.

В дипломном проекте при расчете теплотехнических показателей определяются приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций: наружных стен, чердачного перекрытия или покрытия, перекрытия над техническим подпольем или подвалом. Теплотехнические показатели должны быть сопоставлены с нормативными значениями, которые установлены техническими нормативными правовыми актами по энергосбережению [1-4].

Основная часть. При разработке дипломного проекта специальности «Промышленное и гражданское строительство» используется упрощенный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче непрозрачной теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции, при этом запроектированная конструкция наружной ограждающей конструкции должна иметь значение приведенного сопротивления теплопередаче не ниже нормативного значения.

Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для всех типов зданий приведены в таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1]. При расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций упрощенным методом нормативное значение определяют умножением базового значения приведенного сопротивления теплопередаче, указанного в таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1], на повышающий коэффициент, значения которого указаны в таблице 6.1 СП 2.04.01-2020 [2].

В упрощенном методе ограждающую конструкцию условно представляют в виде плоской теплотехнически однородной конструкции, состоящей из одной или нескольких частей с различными слоями. Значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_{пр}$, м²·°С/Вт, состоящей из нескольких частей с различными слоями конструкции, определяют по формуле А.1 СП 2.04.01-2020 [2]. Формулу А.1 применяют в случае нескольких конструктивных решений для ограждающих конструкций, примерно равных или незначительно отличающихся по площади частей. В остальных случаях в качестве значения $R_{пр}$, принимают значение R_{oi} , которое соответствует конструктивному решению большей части конструкции. Сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной i -той части ограждающей конструкции R_{oi} , м²·°С/Вт, определяют по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2].

Алгоритм расчета приведенного сопротивления теплопередаче для наружной стены в дипломном проекте специальности «Промышленное и гражданское строительство» включает следующие действия:

1. Определяется расчетная температура внутреннего воздуха по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2];
2. Определяется относительная влажность воздуха по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2];
3. Определяются условия эксплуатации ограждающих конструкций по таблице 5.2 СП 2.04.01-2020 [2];
4. Принимается расчетный коэффициент теплопроводности материала каждого слоя наружной стены λ_n , Вт/(м·°С), по приложению Д СП 2.04.01-2020 [2];
5. Принимается коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции по таблице 6.4 СП 2.04.01-2020 [2];
6. Принимается коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий по таблице А.1 СП 2.04.01-2020 [2];
7. Определяется значение сопротивления теплопередаче наружной стены R_{oi} по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2];
8. Принимается нормативное значение сопротивления теплопередаче наружных стен по таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1] с учетом повышающего коэффициента, по таблице 6.1 СП 2.04.01-2020 [2];
9. Сравнивается расчетное и нормативное сопротивление теплопередаче, если расчетное значение R_{oi} , м²·°С/Вт меньше нормативного значения $R_{т.норм}$, м²·°С/Вт, следовательно наружная стена требует утепления;
10. Принимается теплоизоляционный материал. Приводятся физико-механические характеристики теплоизоляционного материала;
11. Принимается значение термического сопротивления теплоизоляционного слоя $R_{кп}$, м²·°С/Вт, как разность нормативного значения приведенного сопротивления теплопередаче и расчетного сопротивления теплопередаче наружной стены без утепления;
12. Рассчитывается толщина теплоизоляционного слоя преобразовав формулу А.3 СП 2.04.01-2020 [2];
13. Принимается толщина теплоизоляционного слоя кратно 10 мм. Определяется значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены с утеплением по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]. Значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены с утеплением должно быть выше нормативного приведенного сопротивления теплопередаче.
В СН 2.04.02-2020 п.5 [1] рассматриваются следующие энергетические показатели:
 - удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;
 - удельный расход энергии на охлаждение и вентиляцию здания за период охлаждения;
 - удельный расход энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения.При расчете энергетических показателей в дипломном проекте специальности «Промышленное и гражданское строительство» определяется удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период и по данному показателю определяется класс энергоэффективности здания.
Алгоритм выполнения расчета следующий:
 1. Определяются расчетные условия по СП 2.04.01-2020 [2] и СНБ 2.04.05–2000 [5].
 - 1.1. Продолжительность отопительного периода, $Z_{нт}$, сут, принимается с учетом таблицы 3.1 СНБ 2.04.05-2000 [5];
 - 1.2. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{ср}$, °С, принимается с учетом таблицы 3.1 СНБ 2.04.05-2000 [5];
 - 1.3. Определяются градусо-сутки отопительного периода $D_{от}$, °С·сут.
 2. Указывается функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания.

Назначение, размещение в застройке, тип и конструктивное решение проектируемого здания указывается в соответствии с принятыми объемно-планировочными и конструктивными решениями, представленными в архитектурно-строительном разделе дипломного проекта.

Рекомендуемое содержание информации о здании:

назначение: жилое / общественное / производственное / образовательное учреждение / лечебно-профилактическое учреждение. Если здание жилое, то указывается этажность и секционность здания;

размещение в застройке: меридиональная ориентация, широтная ориентация, диагональная ориентация

тип: каркасное, стеновое

конструктивное решение: указывается конструктивное исполнение здания – кирпичное, из газобетонных панелей, монолитное железобетонное, и т.п.

3. Определяются геометрические показатели здания.

Геометрические показатели здания определяются по архитектурно-строительным чертежам. К геометрическим показателям зданий относятся общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций здания A_g^{sum} , м² площадь жилых помещений A_l , м², расчетная площадь (для общественных зданий) A_l , м², отопливаемый объем V_h , м³, коэффициент остекленности фасада здания f , показатель компактности здания K_g^{des} .

4. Рассчитывается общий приведенный коэффициент теплопередачи здания K_m , Вт/(м²·°C), по формуле 7 СП 2.04.02-2020 [4].

5. Рассчитываются энергетические показатели здания.

5.1. Общие теплотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период Q_h , МДж, определяют по формуле 6 СП 2.04.02-2020 [4].

5.2. Бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода Q_{int} , МДж, определяют по формуле 16 СП 2.04.02-2020 [4]

5.2.1. Удельные бытовые тепlopоступления для жилых зданий, q_{int} , Вт/м², на 1м² площади жилых помещений (A_l , м²) и кухонь (A_k , м²) принимают согласно п. 6.2.1.9. СП 2.04.02-2020 [4].

5.2.2. Удельные бытовые тепlopоступления в общественных зданиях $q_{int, pub}$, Вт/м², определяют по формуле А.1 СП 2.04.02-2020 [4], с учетом тепlopоступления от людей, освещения, электрических приборов и технологического оборудования.

Тепlopоступления от людей Q_{pers} , Вт, определяют по их количеству с учетом времени работы по формуле А.2 СП 2.04.02-2020 [4].

Тепlopоступления от освещения Q_{ligh} , Вт, определяют с учетом мощности освещения и времени работы по формуле А.4 СП 2.04.02-2020 [4].

Тепlopоступления от электрических приборов и технологического оборудования Q_{eq} , Вт, определяют по их установленной мощности, в зависимости от продолжительности работы и загрузки оборудования в течение недели, по формуле А.5 СП 2.04.02-2020 [4].

5.2.3. Тепlopоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна и фонари) в течение отопительного периода Q_s , МДж, для зданий, ориентированных по четырем сторонам света, определяют по формуле 17 СП 2.04.02-2020 [4].

5.3. Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода Q_h^y , МДж, рассчитывают по формуле 5 СП 2.04.02-2020 [4].

5.4. Комплексные показатели.

Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q_h^{des} , МДж/(м²·г) или МДж/(м³·г), определяют по формуле 4 СП 2.04.02-2020 [4].

5.5. Класс энергоэффективности здания

Определяется базовое значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период в соответствии с таблицами 6.1 и 6.2 СН 2.04.02-2020 [1].

Определяется величина отклонения значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период от базового значения.

Рассчитанная величина отклонения от базового значения сопоставляется с диапазонами отклонений от базовых значений соответственно классу энергоэффективности по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период по п. 6.1 СН 2.04.02-2020 [1]. На основании диапазона отклонений, соответствующего рассчитанной величине отклонения от базового значения, определяется класс энергоэффективности здания.

В предложенной методике расчета энергетической эффективности зданий в дипломном проекте специальности «Промышленное и гражданское строительство» принято несколько упрощений:

1. расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций выполняется упрощенным методом;

2. при расчете общего приведенного коэффициента теплопередачи здания K_m , Вт/(м²·°С), условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, K_m^{inf} , Вт/(м²·°С) допускается принимать $K_m^{inf} = 1,5 \div 1,65 K_m^{tr}$. Приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания K_m^{tr} , Вт/(м²·°С), определяется по формуле (8) СП 2.04.02-2020 [4].

3. количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода Q_{ho}^y , МДж, допускается рассчитывать по формуле

$$Q_{ho}^y = Q_n \cdot \beta_n - (Q_{int} + Q_s) \cdot v \zeta \quad (1)$$

где Q_n – общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период, МДж, определяют по формуле 6 СП 2.04.02-2020 [4];

β_n – коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери, связанные с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждающих конструкций, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения; принимают согласно п.6.2.1.4. СП 2.04.02-2020 [4];

Q_{int} – бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода, МДж, определяют по формуле 16 СП 2.04.02-2020 [4];

Q_s – тепlopоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна и фанари) в течение отопительного периода, МДж, для зданий, ориентированных по четырем сторонам света, определяют по формуле (17) СП 2.04.02-2020 [4];

v – коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $v = 0,9$;

ζ – коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления; принимают по таблице 1 СП 2.04.02-2020 [4].

Количество вспомогательной энергии на обеспечение функционирования оборудования систем отопления и вентиляции здания за отопительный период, $Q_{h.aux}^y$, МДж, допускается принимать равным $4,5 \cdot 10^{-4} Q_{ho}^y$.

Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода Q_h^y , МДж, в дипломном проекте определяется по формуле

$$Q_h^y = Q_{ho}^y + Q_{h.aux}^y \quad (2)$$

4. Класс энергоэффективности здания определяется по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

Данные упрощения приняты с учетом специфики подготовки и приобретенных студентами знаний и умений по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Заключение. Представленные методические основы проектирования энергоэффективных зданий базируются на действующих ТНПА [1-5] и направлены на повышение профессиональной компетентности студентов в области энергетической эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность = Будынкі і збудаванні. Энергетычная эфектыўнасць: СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 29 с.
2. Строительная теплотехника = Будаўнічая цеплатэхніка: СП 2.04.01-2020. – Введ. 20.01.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 77 с.
3. Тепловая изоляция зданий и сооружений = Цеплавая ізаляцыя буданкаў і збудаванняў: СП 3.02.01-2020. – Введ. 07.12.2020. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 44 с.
4. Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели = Цеплавая ахова жылых і грамадскіх будынкаў. Энергетычныя паказчыкі: СП 2.04.02-2020. – Введ. 01.02.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 33 с.
5. Строительная климатология = Будаўнічая кліматалогія: СНБ 2.04.05-2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск : Минстройархитектуры , 2000. – 37 с.