



Сравнение отечественных и европейских подходов при расчёте ИТП для здания офисного типа

На сегодняшний момент суммарное потребление энергии в мире составляет 20 млрд тонн условного топлива (т.у.т.) в годовом исчислении и ежегодно увеличивается на 1,3 %. Теоретический потенциал энергосбережения в России составляет около 40 %. По оценкам специалистов, экономически целесообразный потенциал экономии в нашей стране примерно равен 300 млн т.у.т.

Около 20 % российского потенциала энергосбережения можно реализовать путём малозатратных энергосберегающих мероприятий, около 25 % — посредством трудоёмких и многозатратных мероприятий и 35 % — за счёт внедрения новейших технологий.

Рынок современных офисных зданий активно развивается как в России, так и в мире. Отмечается стремление собственников помещений к увеличению уровня комфортности. Это способствует внедрению максимального числа современных технологий в здании. В результате офисные здания постепенно приобретают максимальную энергоэффективность, надёжность и экологичность.

Главная сложность модернизации существующего здания состоит в необходимости проведения множества расчётов в условиях недостаточности данных. Исходные данные затруднительно получить

ввиду необходимости временной остановки и даже частичного разбора агрегатов инженерных систем здания. Первым этапом определения потенциала энергосбережения является составление энергетического баланса. Данный процесс является весьма непростым и требует применения экспресс-методик. Недостатком такого подхода является достаточно высокая погрешность.

Однако, основываясь на рассмотренных методиках, можно приблизить результаты оценочных математических вычислений к истинному, реальному значению параметров здания. Также следует помнить о невозможности применения иных способов исследования ввиду их трудоёмкости, невозможности остановки оборудования и высокой стоимости таких методов.

Энергетический баланс любого здания, предприятия или аппарата может быть представлен в виде уравнения, которое устанавливает равенство между поступившей тепловой энергией и потерями. Такой баланс основан на законе сохранения энергии (первом законе термодинамики). Тепловые потери целесообразно представлять в виде суммы составляющих: через ограждающие конструкции, на вентиляцию, на отопление, на горячее водоснабжение и пр.

Рецензия эксперта на статью получена 03.08.2022 [The expert review of the article received on August 3, 2022].

УДК 621.3. Научная специальность: 05.23.03.

Сравнение отечественных и европейских подходов при расчёте ИТП для здания офисного типа

С. В. Гузов, к.т.н., доцент; Е. В. Крылова, к.т.н., доцент; С. А. Андрунин, студент, [Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» \(НИУ «МЭИ»\)](#)

Современные города содержат множество зданий офисного типа. Помимо действующей документации по проектированию известны подходы других стран, использующие несколько иные методы расчёта теплового баланса зданий. В статье приведены некоторые их сходства и различия с отечественными требованиями. Показана незначительность расхождения результатов при итоговом подборе теплообменного и насосного оборудования, как с использованием отечественных норм, так и при дополнительном использовании уточняющих расчётов.

Ключевые слова: энергоэффективность, модернизация, недостаточность данных, энергетический баланс, теплопроводность, методика, микроклимат, тепловые потери.

UDC 621.3. The number of scientific specialty: 05.23.03.

Comparison of domestic and European approaches in the calculation of an individual heating point for an office-type building

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor; E. V. Krylova, PhD, Associate Professor; S. A. Andryunin, student, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute" \(MPEI\)](#)

Modern cities contain many office-type buildings. In addition to the current design documentation, there are approaches from other countries that use slightly different methods for calculating the thermal balance of buildings. The article presents some of their similarities and differences with domestic requirements. The insignificance of the discrepancy between the results in the final selection of heat exchange and pumping equipment is shown, both with the use of domestic standards and with the additional use of clarifying calculations.

Key words: energy efficiency, modernization, lack of data, energy balance, thermal conductivity, methodology, microclimate, heat losses.

Теплопередача через ограждающие конструкции происходит в три этапа:

1. Теплоотдача от внутреннего воздуха к поверхности ограждающей конструкции здания.
2. Теплопроводность внутри ограждающей конструкции.
3. Теплоотдача от ограждающей конструкции к уличному воздуху.

Теплоотдача между стенкой и окружающей средой может происходить не только за конвекции, но и за счёт излучения.

Расчёт теплоотдачи, как от тёплого воздуха к ограждающей конструкции, так и от ограждающей конструкции к холодному воздуху, рассчитывается по закону Ньютона — Рихмана. Распределение температурного поля внутри ограждающие конструкции имеет линейную зависимость. Трансмиссионные потери тепла составляют порядка 70–75 % всех потерь здания — это связано с тем, что их значение прямо пропорционально площади наружных ограждений здания.

Для обеспечения необходимых параметров микроклимата (влажность, температура, концентрация CO₂, NO₂ и других веществ) необходимо обеспечить подачу «свежего» воздуха с улицы и удаление «отработавшего» тёплого воздуха. Также необходимо учитывать теплотери от инфильтрации, возникающие в связи с неорганизованным проникновением холодного уличного воздуха внутрь помещения через щели в окнах, дверях и прочих неплотностях за счёт ветрового давления и разности температур.

Необходимо отметить сложность определения объёма инфильтрационного воздуха. Использование усреднённых значений из нормативной документации существенно снижает точность расчёта. Поскольку тепловые затраты на систему отопления и вентиляции для офисного



здания составляют около 90 % от всей тепловой энергии, поступающей в здание, то неточности расчёта существенно увеличивают погрешность всего расчёта энергобаланса.

В состав обязательных к рассмотрению тепловых притоков входит:

1. **Теплопритоки от труб системы ГВС**, возникающие из-за разности температуры внутри помещения и температуры горячей воды, на которые также влияет наличие изоляции труб и её состояние. Для крупного здания оказывается весьма трудоёмко произвести необходимые за-

меры для всех участков труб. Принимаются усреднённые показания, существенно снижающие точность расчёта.

2. **Теплопритоки от людей**. Так как температура человека больше температуры внутри здания, то каждый человек выделяет количество тепла, пропорциональное интенсивности его деятельности.

3. **Теплопритоки от остывающей пищи необходимо учитывать с учётом наличия местных вытяжных зонтов**. Как правило, не представляется возможным быстро и точно отдельно рассчитать количество тепловой энергии, уходящее в вытяжку, и отдельно — остающееся в помещении. В странах Евросоюза ещё 15 лет назад не учитывались внутренние теплопоступления даже для жилых зданий, однако с повышением цен на энергоносители этот пробел был устранён. Так, в европейских нормах ISO 13790:2008 [1] в п. 10.3 указаны все части внутренних теплопоступлений, которые стоит учитывать при проектировании жилых, общественных и некоторых производственных зданий.

Таким образом, классический подход к расчёту энергобаланса не учитывает значительное число факторов. Выполняется только констатация сущности процесса теплообмена при идеальных условиях. Например, считается, что в каждой точке стены её физические свойства одинаковы, то есть стена изотропная, хотя на практике это условие может не соблюдаться ввиду наличия в стене неоднородностей бетона, различного состава стены (бетон и арматура), а также из-за краевых эффектов. При определении коэффициента теплоотдачи возникают погрешности при определении скорости наружного воздуха и пр. Поэтому использование таких формул на практике не представляется возможным — для этого существуют специальные методики.

Классический подход к расчёту энергобаланса не учитывает значительное число факторов. Выполняется только констатация сущности процесса теплообмена при идеальных условиях. Например, считается, что в каждой точке стены её физические свойства одинаковы



Основные методики расчёта в России отражены в документах [2, 3]. Определяя теплопотери через ограждающие конструкции, как самые значительные в энергобалансе, основной нормируемой характеристикой является сопротивление теплопередаче. Зная её величину, можно судить об уровне энергосбережения здания и проводить сравнения этого уровня в России с другими странами. В последней версии [2] используется метод расчёта предложенный НИИСФ [4] и гармонизированный с европейскими стандартами [5, 6]. В странах Европейского союза используются свои методики. Основной характеристикой теплотехнических качеств в ЕС является коэффициент теплопередачи U [Вт/(м²·°C)] (U-фактор). Документы, нормирующие максимально возможный U-фактор на 2021 год:

1. **Финляндия:** National Building Code of Finland 2012 — Section D3 on Energy Management in Buildings.
2. **Швеция:** Boverket's Building Regulations, BBR18 — (BFS 2011:26).
3. **Ирландия:** Building Regulations: Part L — Conservation of Fuel and Energy: Dwellings and Part L — Conservation of Fuel and Energy Buildings other than Dwellings.
4. **Германия:** Energy Conservation Regulations (EnEV), DIN 4108.
5. **Дания:** Building Regulation 10 (BR10).
6. **Англия и Уэльс:** The Building Regulations 2010 Conservation of fuel and power in new dwellings (L1A) and in new buildings other than dwellings (L2A).
7. **Австрия:** OIB — Richtlinie 6.
8. **Нидерланды:** Bouwbesluit 2012 — Chapter 5 (NEN 7120:2011).

Минимальные значения сопротивления в Германии намного меньше, чем в РФ. Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции не учитывает неоднородности, которые влияют на теплотехнические характеристики. Это не значит, что в европейских стандартах нет учёта неоднородностей. Например, в [5, 6] приведённый метод расчёта аналогичен предложенному расчёту в российском стандарте [2]. Несмотря на это, в Германии нет понятия «приведённое сопротивление». Минимально возможные сопротивления изложены в [7] для конструкций, содержащих в себе линейные и точечные неоднородности или тепловые мостики.

Рассмотрим, как в других странах Евросоюза учитывают «тепловые мостики».

Норвегия разделяет их на два типа: сильно влияющие, например, края бетонного пола, идущего через изолированную стену, и незначительно влияющие. Оба типа тепловых мостов должны быть учтены путём расчёта.



В **Финляндии** расчёты тепловых мостов производятся с упрощениями, которое применимо только для ограждений из разных материалов и, как следствие, с разной теплопроводностью. Если отношение теплопроводности двух смежных материалов с самым большим и самым меньшим значениями наружного ограждения меньше 5,0, то теплопроводность всей конструкции берём как среднее по всему сечению. В другом случае считаем, что материал с большей теплопроводностью — это тепловой мостик, влияние которого рассчитывается по соответствующим методам. Добавка от влияния точечных и линейных теплотехнических неоднородностей рассчитывается аналогично российскому подходу, затем прибавляется к U-фактору при расчёте теплопотерь. Важно отметить, что нормативные документы не содержат явные ограничения на влияние тепловых мостиков, то есть имеют рекомендательный характер.

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции не учитывает неоднородности, которые влияют на теплотехнические характеристики

В **Бельгии** существует пять различных методик расчёта учитывающие влияния мостиков холода.

1. С использованием ЭВМ при математическом 2D- и 3D-моделировании объекта.
2. С использованием специальных таблиц с добавочным коэффициентом ΔU к общей величине тепловых потерь. Значения ϕ и χ могут быть приняты как из этих таблиц, которые разрабатываются и дополняются, так и из 2D- и 3D-моделей, использующихся в этом методе.
3. С использованием специальных таблиц при условии, что конструкция наружного ограждения выполнена по всем

требованиям. Добавляют к значению теплопотери конструкции определённую установленную величину из таблицы, которая учитывает линейные и точечные неоднородности конструкции.

Заметим, что максимальные значения коэффициентов ϕ и χ , а также прочих подобных величин, не должны отклоняться не более чем на 5 % от значений, приведённых в нормативных документах по тепловой защите зданий

4. В случае, если конструкция в своём составе имеет нетиповые включения, которые нельзя учесть, используя методы выше, тогда проводится 2D- и 3D-расчёт величин ϕ и χ .

5. Без учёта неоднородностей — в этом случае в расчётах появляется надбавка к общим трансмиссионным потерям.

В **Нидерландах** используются и упрощённый, и сложный методы. Суть упрощённого состоит в добавке $\Delta U = 0,1$ Вт/(м²·°C). Такой метод расчёта учитывает только линейные неоднородности.

Во **Франции** математический аппарат расчёта основан на европейских стандартах [5, 6], но точный расчёт или так называемый «атлас неоднородностей Th-U» производится только для линейных неоднородностей. По нормативным документам значения теплового потока через линейные неоднородности не должны превышать: для индивидуальных зданий — 0,65 Вт/(м²·°C), многоквартирных зданий — 1,0 Вт/(м²·°C), для иных зданий — 1,2 Вт/(м²·°C).

В **Польше** используется как точный метод, так и упрощённый. В упрощённом методе используется две добавки:

1. $\Delta U = 0,05$ Вт/(м²·°C) — для поверхности наружных стен с дверными или оконными проёмами.
2. $\Delta U = 0,05$ Вт/(м²·°C) — для поверхности наружных стен с дверными или оконными проёмами и балконными плитами, проходящими через стену, в которой $\Delta U = 0,15$ Вт/(м²·°C).

В **Германии** тепловые мостики учитывают либо по упрощённой методике, где $\Delta U = 0,05\text{--}0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ для всевозможных конструкций, либо по расчёту DIN, о котором упомянуто выше.

Приведённые методы демонстрируют только один аспект различия расчётных подходов к составляющим энергобаланса в условиях недостаточности данных. Вопросы корректности применения того или иного подхода вызывает множество вопросов, поэтому на практике при проектировании сочетают все методы.

Неоднозначным является также определение параметров микроклимата, так как каждый из стандартов касается вопроса комфорта человека в помещении. В табл. 1 приведены значения для жилого помещения, поэтому ПДК приводится только для CO_2 , и, если в помещении имеют место другие вредные выделения, то их необходимо пересчитывать на CO_2 .

Важно отметить, что человеческий организм адаптируется к параметрам окружающей среды спустя 15 минут пребывания в ней. И здесь видны различия подходов европейского EN, который рассчитан на не адаптировавшихся людей [8], и американского ASHRAE, в котором предусмотрена адаптация человека.

Очевидно, что европейские стандарты более комфортные, но это, в свою очередь, влечёт за собой увеличение кратности воздухообмена, который увеличивает энергетические затраты, усложняет систему вентиляции и воздухораспределительную сеть [10].

Из табл. 1 видно, что разница между объёмами большая — так, например, I и III категории отличаются между собой в 2,5 раза. В свою очередь, расход III категории в 1,45 раза больше, чем у ASHRAE. Необходимо добавить, что стандарт EN не учитывает очистку воздуха, которая тоже влияет на объём подаваемого воздуха, в отличие от ASHRAE.

Таким образом, с точки зрения повышения точности расчёта энергобаланса

в методике определения величин теплопритоков необходимо оценить целесообразность дополнения российских сводов правил (СП) с учётом европейских норм. Следует также оценить ожидаемое повышение точности с точки зрения расчёта повышения энергоэффективности здания. Рассмотрим для примера установку ИТП в здании офисного типа.

В качестве примера рассмотрим офисное здание в городе Москве: площадь основания — 1800 м^2 ; высота здания — $49,2 \text{ м}$; высота от земли до середины окна (первый этаж) — $2,2 \text{ м}$; высота от земли до середины двери (первый этаж) — $1,7 \text{ м}$; сопротивление воздухопроницаемости окна (для окон с тройным остеклением) — $3,25 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$; температура наружного воздуха — -26°C ; средняя температура за отопительный период — $-2,2^\circ\text{C}$; температура внутреннего воздуха — 20°C ; продолжительность отопительного периода — 204 суток).

Выполним тестовый расчёт теплообменника ИТП для систем вентиляции согласно СП 41-101-95 [10] (приложение 8).

Начальные данные:

- начальная температура теплоносителя в греющем контуре — 130°C ;
- конечная температура теплоносителя в греющем контуре — 75°C ;
- начальная температура теплоносителя в нагреваемом контуре — 70°C ;
- конечная температура теплоносителя в нагреваемом контуре — 95°C ;
- полная мощность — 1101 Вт .

Определено соотношение числа ходов для греющего $X_{\text{г}}$ и нагреваемого $X_{\text{н}}$ теплоносителей — 1,2. Применена симметричная компоновка. Коэффициент теплопередачи — $8304 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Поверхность нагрева — $13,2 \text{ м}^2$. Расчётное общее число пластин составляет 60 пластин. Автоматизированный расчёт, выполненный с учётом европейских подходов, предлагает аналогичный теплообменник. Аналогично, подбор насоса имеет одинаковый результат как по отечественной методике,



так и по методике с учётом европейских подходов. Таким образом, в условиях недостаточности данных достигаемая точность результатов не даёт существенных различий, как по отечественным, так и по европейским подходам. Показано, при расчёте ИТП для здания офисного типа дополнительное использование европейских уточняющих методик не приводит к изменению типоразмера выбранных агрегатов. Следовательно, достаточно использовать только отечественные нормы проектирования. ●

1. ISO 13790:2008. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling [Энергетические показатели зданий — Расчёт энергопотребления для обогрева и охлаждения помещений]. May 2008. Revised by ISO 52016-1:2017.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02-2003 (с Изм. №1 и №2) / Дата введ.: 01.07.2013.
3. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (с Изм. №1) / Дата введ.: 01.07.2021.
4. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчёта приведённого сопротивления в теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы, 2010. №12.
5. DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren [Тепловые мосты в высотном строительстве. Тепловые потоки и температура поверхности. Ч. 1: Общие методы расчёта]. August 1995.
6. DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken [Тепловые мосты в высотном строительстве. Тепловые потоки и температура поверхности. Ч. 2: Линейные тепловые мосты]. Juni 2001.
7. DIN 4108-2. Wärmeschutz und Energie — Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz [Теплозащита и энергосбережение в зданиях. Ч. 2: Минимальные требования к теплозащите]. Juli 2003.
8. EN 15251:2007. Indoor microclimate indicators for designing buildings and calculating their energy efficiency [Показатели микроклимата в помещениях для проектирования зданий и расчёта их энергоэффективности]. CEN/TC 156. Revised by EN 16798-1:2019.
9. Olesen B.W. Показатели микроклимата помещений для проектирования зданий и расчёта их энергетической эффективности — EN 15251 // АВОК, 2008. №6.
10. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов / Дата введ.: 01.07.1996.

References — see page 78.

● Требуемые параметры микроклимата в помещении

табл. 1

Параметр	Российские стандарты	Стандарты ASHRAE	Европейские стандарты
Температура в холодный период года, $^\circ\text{C}$	14–24	20–24	19–25
Температура в тёплый период года, $^\circ\text{C}$	18–28	23–26	22–27
Относительная влажность, %	30–60	30–65	20–70
Скорость воздуха, м/с	0,15–0,3	менее 0,25	0,15–0,3
Допустимый уровень CO_2	На 400–1000 ppm выше наружного	Не более чем на 700 ppm выше уровня наружного	350–800 ppm
Расход	18–72 $\text{м}^3/\text{ч}$ на человека или 1–3 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2	9–36 $\text{м}^3/\text{ч}$ на человека + 1,1–3,2 на м^2 или 2,4–37,1 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2	14,4–52,9 $\text{м}^3/\text{ч}$ на человека + 1,1–7,2 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2

Comparison of domestic and European approaches in the calculation of an individual heating point for an office-type building. Pp. 48–51.

Sergey V. Guzhov, PhD, Associate Professor; **Elena V. Krylova**, PhD, Associate Professor; **Sergey A. Andryunin**, student, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute" \(MPEI\)](#)

1. ISO 13790:2008. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling. May 2008. Revised by ISO 52016-1:2017.
2. *SP 50.13330.2012 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 50.13330.2012]. Teplovaja zashhita zdaniy [Thermal protection of buildings]. Aktualiz. red. SNiP 23-02-2003 (s Izm. №1 i №2) [Updated edition of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02-2003 (with Amend. No. 1 and No. 2)].* The impl. date: July 1, 2013. [In Russian]
3. *SP 60.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 60.13330.2020]. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha (s Izm. №1) [Heating, ventilation and air conditioning (with Amend. No. 1)].* The impl. date: July 1, 2021. [In Russian]
4. V.G. Gagarin, V.V. Kozlov. *Teoreticheskie predposylki rascheta privedennogo soprotivlenija v teploperedachi ogradhdajushhih konstrukcij* [Theoretical prerequisites for calculating the reduced resistance in the heat transfer of building envelopes]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction materials" Magazine]. 2010. No. 12. [In Russian]
5. DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. August 1995.
6. DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken. Juni 2001.
7. DIN 4108-2. Wärmeschutz und Energie — Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003.
8. EN 15251:2007. Indoor microclimate indicators for designing buildings and calculating their energy efficiency. CEN/TC 156. Revised by EN 16798-1:2019.
9. Olesen B.W. *Pokazateli mikroklimata pomeschenij dlja proektirovanija zdaniy i rascheta ih jenergeticheskoy jeffektivnosti — EN 15251* [Indices of the microclimate of premises for designing buildings and calculating their energy efficiency — EN 15251]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2008. No. 6. [In Russian]
10. *SP 41-101-95 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 41-101-95]. Proektirovanie teplovyyh punktov [Design of heat substations].* The impl. date: July 1, 1996. [In Russian]