



Методика расчёта теплопоступлений через остекления с заданными характеристиками пропускания солнечной энергии

Рецензия эксперта на статью получена 28.12.2023 [The expert review of the article was received on December 28, 2023]

Современные виды стеклопакетов обладают широким диапазоном характеристик пропускания, отражения и поглощения солнечной энергии. Обоснованный выбор модели стеклопакета позволяет значительно повлиять на расчётные значения теплопритоков, что особенно важно при проектировании систем комфортного кондиционирования жилых и общественных зданий.

Отечественная методика расчёта почасовых теплопоступлений через остекления была разработана ещё в 1970-х годах [1] и в усовершенствованном виде [2] до сих пор является основным расчётным вариантом. В то же время в методике [2] не учитываются энергетические характеристики современных стеклопакетов, что не позволяет провести корректный выбор и сравнение различных вариантов для выбора оптимального остекления.

При разработке СП 370.1325800.2017 и проектов изменений к нему были приняты попытки адаптировать методику [2] для решения задачи расчёта современных стеклопакетов, но, на наш взгляд, сделано это было некорректно, без деталь-

ного анализа существующих методик и их адаптации к современной российской нормативной базе.

В данной работе выполняется анализ существующих методик расчёта теплопоступлений через остекление и предлагается адаптированный для практического использования вариант расчётной методики, учитывающий характеристики современного остекления.

Введение

В данной работе рассмотрены четыре методики расчёта теплопоступлений через остекление.

Методика 1. Приведена в СНиП II-33-75, Приложение 12 [1]. Это одна из первых методик расчёта, позволяющих рассчитывать теплопоступления через остекление для каждого часа суток и для различной широты расположения объекта, с учётом индивидуальных характеристик остекления. В некоторых справочниках данная методика называется «Упрощённый графоаналитический метод». До появления этой методики в основном использовались расчёты на базе фиксированных

УДК 697.92. Научная специальность: 05.23.03.

Методика расчёта теплопоступлений через остекления с заданными характеристиками пропускания солнечной энергии

В. А. Волков, к.т.н., старший преподаватель, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. В. Герасимов**, аспирант, кафедра информационных технологий, искусственного интеллекта и общественно-социальных технологий цифрового общества, факультет политических и социальных технологий, Российский государственный социальный университет (РГСУ, г. Москва); **А. Я. Шелгинский**, д.т.н., профессор, кафедра промышленных теплоэнергетических систем, НИУ «МЭИ»

Рассмотрены методики расчёта теплопоступлений через остекление зданий, применяющиеся в Российской Федерации. Выполнен анализ переменных и коэффициентов для различных методик. Предложены варианты учёта стандартных заводских характеристик современного стекла в расчёте теплопоступлений на основе формул существующих методик. Выполнены примеры расчётов и даны рекомендации по условиям применения предложенных расчётных формул.

Ключевые слова: характеристики стёкол и стеклопакетов, светопрозрачные конструкции, солнечный фактор, солнцезащитные устройства, теплопоступления через остекление, расчёт теплопоступлений для систем кондиционирования воздуха, теплопоступления солнечной радиацией, теплопоступление теплопередачей.

UDC 697.92. The number of scientific specialty: 05.23.03.

Methodology for solar heat gain calculation through glazing with specified solar energy transmission characteristics.

V. A. Volkov, PhD, Senior Lecturer, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. V. Gerasimov**, postgraduate student, the Department of Information Technology, Artificial Intelligence and Socio-Social Technologies of Digital Society, the Faculty of Political and Social Technologies, Russian State Social University (RSSU, Moscow); **A. Ya. Shelginsky**, Doctor of Technical Sciences, Professor, the Department of Industrial Thermal Power Systems, NRU "MPEI"

Main methodologies for calculation heat gain through the glazing of buildings, used in the Russian Federation, are considered. An analysis of variables and coefficients for various methods is done. Ways of specified solar energy characteristics considering are proposed on the base of main methodologies' equations. Calculation examples performed and general recommendation about application of proposed equations are given.

Key words: characteristics of glasses and double-pane units, glazed surfaces structures, solar factor, shading devices, heat gains through glazing, calculation of solar heat gain for air conditioning systems, heat gain by solar radiation, heat gain by heat transfer.

табличных значений поступления тепла от солнечной радиации, с учётом стороны света и широты, и поправочных коэффициентов, например [5, 6].

Методика 2. Появилась в пособии 2.91 к СНиП 2.04.05–91 [2]. В методике предлагается «более обоснованный подход» по методике д.т.н. В.Н. Богословского, чем в применяющейся ранее в Методике 1.

Методика 3. Приведена в книге «Системы вентиляции и кондиционирования» Ю.С. Краснова [3] (глава 19, стр. 111).

Методика 4. Изложена в справочнике проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства» [4] (на стр. 49 под заголовком «Полный аналитический метод расчёта» со ссылкой на материалы Б.А. Крупнова).

Общие принципы рассматриваемых методик

В общем случае количество тепла, поступающего через световой проём в помещение, состоит из двух слагаемых:

$$Q_0 = Q_c + Q_t, \quad (1)$$

где Q_0 — теплоступления через остекление; Q_c — теплоступления от солнечной радиации через световой проём (солнечные лучи); Q_t — теплоступления за счёт теплопередачи через световой проём.

Рассмотрим методики определения теплоступлений Q_c и Q_t более подробно. Теплоступления от солнечной радиации Q_c состоят из теплоступлений за счёт прямой и рассеянной солнечной радиации. Теплоступления от рассеянной солнечной радиации происходят через всю поверхность остекления. Теплоступления от прямой солнечной радиации осуществляются только через облучённую поверхность.

Соответственно, вертикальные и горизонтальные откосы остекления и различные конструктивные навесы увеличивают площадь затенённой поверхности остекления, что учитывается во всех рассматриваемых методиках.

При определении теплоступлений от солнечной радиации в Методике 1 [1] выделяют две площади на поверхности остекления — площадь, облучаемую прямой солнечной радиацией, и площадь, не облучаемую прямой солнечной радиацией, как указано в табл. 1:

$$F_0 = F'_0 + F''_0.$$

Количество теплоты q' для облучаемой площади остекления учитывает тепло прямой q_n и рассеянной q_p солнечной радиации, а количество теплоты для необлучаемой (затенённой) площади остекления q'' учитывает только рассеянную солнечную радиацию q_p .

Обозначения площади остекления в различных методиках

табл. 1

Параметр	Методика 1	Методика 2	Методика 3	Методика 4
Площадь остекления, м ²	$F_0 = F'_0 + F''_0$	A_{oc}	$F_{ок}$	F_{II}

Обозначения коэффициентов*

табл. 2

Параметр	Методика 1	Методика 2	Методика 3	Методика 4
Коэффициент облучённости прямой солнечной радиацией	—	K_1	$K_{инс}$	$K_{инс}$
Коэффициент для учёта теплопоступлений рассеянной радиации	—	K_2	$K_{обл}$	$K_{обл}$

* Для учёта теплового потока через затенённую и незатенённую поверхности остекления.

Размеры площадей остекления определяют графически, что затрудняет применение данного метода для компьютерных расчётов.

В итоге тепловой поток солнечной радиации по Методике 1 рассчитывается как:

$$Q_c = (q'F'_0 + q''F''_0)C. \quad (2)$$

Формулу (2) можно записать в виде:

$$Q_c = [(q_n + q_p)F'_0 + q_pF''_0]CK_1^{M1}K_2^{M1}.$$

Примечание: подробные расшифровки коэффициентов будут приведены далее, также с ними можно ознакомиться в оригинале указанного источника; индекс «M1» добавлен в рамках статьи для того, чтобы различать коэффициенты с одинаковыми обозначением в оригинале в Методиках 1 и 2.

Основные различия используемых методик

Во всех других методиках нет непосредственного разделения площади остекления. Используются различные коэффициенты для учёта прямой и рассеянной солнечной радиации, например, в Методике 2 эти коэффициенты обозначены как K_1 и K_2 .

Для определения K_1 в Методике 2 вводятся ещё два коэффициента для горизонтального и вертикального затенения, а в методиках 3 и 4 даются готовые формулы, которые обеспечивают практически

идентичные результаты. В общем случае учитывается горизонтальное и вертикальное затенение для прямой и рассеянной солнечной радиации:

$$K_1 = K_{II}K_{пв}.$$

Для полностью затенённого светового проёма $K_1 = 0$, а если тень не доходит до остекления, то $K_1 = 1,0$.

Определение коэффициента K_2 также идентично:

$$K_2 = K_TK_B.$$

Определение коэффициентов K_1 и K_2 имеет важный практический смысл при расчётах остекления с большими затеняющими поверхностями. Для «стандартных» окон без солнцезащитных устройств (СЗУ) для предварительных расчётов допустимо принимать коэффициенты $K_1 = 0,9$, $K_2 = 1,0$ [3].

Тепловой поток солнечной радиации по Методике 2 рассчитывается как:

$$Q_c = (q_nK_1 + q_pK_2)K_3K_4A_{oc}. \quad (3)$$

Тепловой поток солнечной радиации по Методике 3 рассчитывается как:

$$Q_c = (q_nK_{инс} + q_pK_{обл})K_{отн}\tau_2F_{ок}. \quad (4)$$

Тепловой поток солнечной радиации по Методике 4 рассчитывается так:

$$Q_c = (SK_{п}K_{инс} + 0,75DK_{обл}) \times K_{отр}K_{пер}K_{загр}K_{отн.п}. \quad (5)$$

Обозначим как J_B значение, записанное в скобках формул (2)–(5), и назовём его «интенсивность проникающего потока солнечной радиации через стандартное остекление» (индекс «B» обозначает вертикальное остекление, рассматриваемое в данной статье как основной вариант).

Тогда формулы для расчёта теплового потока солнечной радиации будут выглядеть так:

$$\text{Методика 1: } Q_c = J_B CK_1^{M1}K_2^{M1}. \quad (2.1)$$

$$\text{Методика 2: } Q_c = J_B K_3K_4A_{oc}. \quad (3.1)$$

$$\text{Методика 3: } Q_c = J_B K_{отн}\tau_2F_{ок}. \quad (4.1)$$

$$\text{Методика 4: } Q_c = J_B F_{II} K_{отр}K_{пер}K_{загр}K_{отн.п}. \quad (5.1)$$

В табл. 2 приведено соответствие коэффициентов учёта теплового потока при определении J_B в различных методиках.



Коэффициенты учёта влияния различных факторов на поступление тепла солнечной радиации в помещение

Рассмотрим используемые в формулах (2.1)–(5.1) коэффициенты и их влияние на расчётное значение теплоступлений от солнечной радиации, поступающих через остекление.

В формуле (2.1) по Методике 1: K_1^{M1} — коэффициент, учитывающий затенение остекления световых проёмов переплётами и загрязнение атмосферы (принимается по табл. 4 Приложения 12 [1]); K_2^{M1} — коэффициент, учитывающий загрязнение стекла (принимается по табл. 5 Приложения 12 [1]); C — коэффициент солнцезащиты (принимается по табл. 1 Приложения 12 [1]), учитывающий тип светового проёма и материал солнцезащитного устройства (для материалов солнцезащитных устройств указаны коэффициенты отражения и поглощения прямой солнечной радиации плоским образцом материала).

В формуле (3.1) по Методике 2: K_3 — коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств, таких как шторы, маркизы, жалюзи (принимается по Приложению 8 СНиП II-3-79*); K_4 — коэффициент теплопропускания остекления световых проёмов (принимается по табл. 2 [2]).

В формуле (4.1) по Методике 3: $K_{отн}$ — коэффициент относительного проникновения солнечной радиации (табл. 22.5 — усечённая версия (по табл. 1 Приложения 12 [1])); τ_2 — учёт затемнения окна переплётами (Приложение 22.6).

В формуле (5.1) по Методике 4: $K_{отр}$ — коэффициент, учитывающий тепло отражённой солнечной радиации от земной и других поверхностей перед фасадом (в основном $K_{отр} = 1,0$, но в некоторых случаях принимается 1,15), этот коэффициент исчез из большинства методик; $K_{пер}$ — коэффициент, учитывающий затемнение переплётами остекления световых проёмов (который принимается по табл. 7 СНиП II-A.8-72 «Естественное освещение. Нормы проектирования», но в источнике это «коэффициент, учитывающий потери света»); $K_{загр}$ — коэффициент, учитывающий загрязнение остекления и атмосферы; $K_{отн.п}$ — коэффициент относительного проникновения солнечной радиации через заполнение светового проёма, отличающегося от «стандартного» остекления, то есть от одинарного остекления толщиной 2,5–3,5 мм.

Все приведённые выше коэффициенты учитывают различные физические факторы, которые влияют на поступление тепла солнечной радиации через световой проём.

Учёт факторов, определяющих поступление тепла через остекление*

табл. 3

Факторы, определяющие поступление тепла	Методика 1	Методика 2	Методика 3	Методика 4	СП23	СП370	Итоги
Теплопропускание солнцезащитных устройств	C	K_3	$K_{отн}$	$K_{отн.п}$	—	$g_{сзу}$	$K_3 (g_{сзу})$
Тип остекления светового проёма	C	K_4	$K_{отн}$	$K_{отн.п}$	k	—	X
Затенение/затемнение переплётами	K_1^{M1}	K_4	τ_2	$K_{пер}$	τ	—	$\tau_2 (\tau)$
Загрязнение атмосферы	K_1^{M1}	—	—	$K_{загр}$	—	—	—
Загрязнение стекла	K_2^{M1}	—	—	$K_{загр}$	—	—	—
Тепло отражённой солнечной радиации	—	—	—	$K_{отр}$	—	—	—

* Для различных методик и в нормативной литературе.

В различных методиках эти коэффициенты имеют различное название и различный физический смысл. Табл. 3 показывает взаимное соответствие различных коэффициентов.

Рассмотрим коэффициент K_4 — коэффициент теплопропускания заполнения светового проёма. В отличие от Методик 1 и 3, этот коэффициент на первый взгляд учитывает только тип заполнения светового проёма, но внизу табл. 2 [2] указано, что коэффициент теплопередачи остекления R приведён с учётом неполного заполнения остекления световым проёмом, то есть при наличии переплётов. Для одинарных переплётов без солнцезащитных устройств $K_4 = 0,75$ и $K_3 = 1,0$, и, если сравнить это значение со значением $\tau_2 = 0,75$ и $K_{отн} = 1,0$ (в Методике 3), получается, что $K_4 K_3 = \tau_2 K_{отн}$, то есть затенение переплётами в Методике 2 учитывается в составе коэффициента K_4 .

Коэффициент K_3 (по Приложению 8 СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» или его современной редакции в виде СП 50.13330.2012 [12]) — коэффициент теплопропускания защитных устройств. В нормативных документах приводится достаточно ограниченное количество значений для этого коэффициента, в основ-

ном для жалюзи и штор из светлой или темной ткани. В СП 50.13330.2012 [12] коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств вообще не указан, но приведено только нормируемое значение солнцезащитного устройства — для районов со среднемесячной температурой июля это выше 21 °С.

В более современных нормах СП 370.1325800.2017 в табл. Г.1 приведены характеристики некоторых солнцезащитных устройств, этот коэффициент теплопропускания защитных устройств называется «солнечный фактор солнцезащитных устройств» — $g_{сзу}$, который по содержанию соответствует коэффициенту K_3 Методики 2.

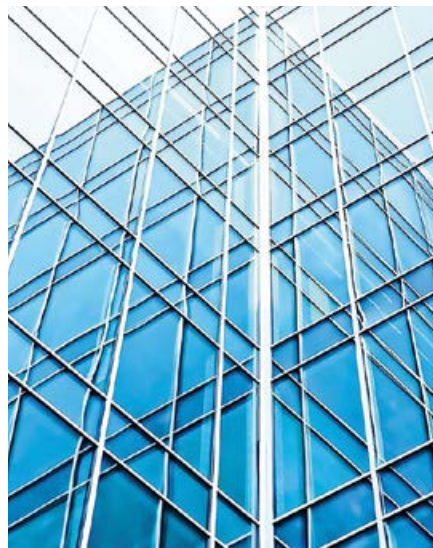
Обновлённые справочные значения коэффициентов относительного пропускания солнечной радиации и коэффициента затенения непрозрачными элементами приведены в Приложении Л СП 23-101-2004. По логике таблицы из СП 23-101-2004, коэффициенту K_4 из Методики 2 будет соответствовать произведение двух коэффициентов τk .

В итоге в табл. 3 показано, что для того, чтобы учесть все основные факторы снижения теплоступлений солнечной радиации, достаточно использовать следующую формулу:

$$Q_c = J_b g_{сзу} X \tau F_c. \quad (6)$$

Согласно полученной формуле (6), влияние характеристик конкретного типа остекления на поступление солнечной радиации определяется коэффициентом X . Как видно из табл. 3, в рассмотренных методиках нет коэффициента, являющегося полным эквивалентом X . Вместе с тем тот коэффициент напрямую определяется свойствами отдельных стёкол и современных стеклопакетов, предлагаемых производителями.

Далее рассмотрим основные характеристики, которые должны предоставлять производители стёкол, и то, как их можно использовать для расчёта теплоступлений солнечной радиации.



Характеристики современных стёкол и стеклопакетов

В современных нормативных документах [7] приводятся подробные характеристики, связанные с пропусканием солнечной энергии стёклами и стеклопакетами различной конфигурации.

Падающий на рассматриваемое остекление поток солнечного излучения Φ_e делится на три части:

- пропущенная часть — $\tau_e \Phi_e$;
- отражённая часть — $\rho_e \Phi_e$;
- поглощённая часть — $\alpha_e \Phi_e$,

где τ_e — коэффициент пропускания солнечного излучения; ρ_e — коэффициент отражения солнечного излучения; α_e — коэффициент поглощения солнечного излучения, при этом:

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1.$$

Коэффициент поглощения солнечного излучения можно определить как:

$$\alpha_e = 1 - (\tau_e + \rho_e).$$

Поглощённая часть $\alpha_e \Phi_e$, в свою очередь, делится на две части — количество энергии, переданной внутрь помещения и наружу в окружающую среду:

$$\alpha_e = q_i + q_e,$$

где q_i — коэффициент вторичной теплопередачи в помещение (этот коэффициент характеризует теплопередачу за счёт конвекции и длинноволнового инфракрасного излучения части солнечного излучения, которая была поглощена остеклением); q_e — коэффициент вторичной теплопередачи наружу в окружающую среду.

В стандарте [7] вводится «коэффициент общего пропускания солнечной энергии» (Total Solar Energy Transmittance) или «солнечный фактор» (Solar Factor) — это общее количество солнечной энергии, пропускаемой стеклом в помещение:

$$g = \tau_e + q_i.$$

Именно эти данные могут предоставить производители остекления для своей сертифицированной продукции (табл. 4). В документации производителей [10] некоторые коэффициенты могут отсутствовать, но их можно определить по приведённым выше формулам.

Коэффициент проникания прямой солнечной радиации через одинарное остекление, значение которого приведено в табл. 2.3 [4], учитывает как характеристику самого стекла, так и угол падения солнечного излучения к поверхности стекла, в зависимости от ориентации по сторонам света и географической широты

Далее рассмотрим, будет ли корректно использовать именно значение солнечного фактора g при расчётах по формуле (6). Для этого для формул (2.1)–(5.1) проанализируем расчёт значения «интенсивности проникающего потока солнечной радиации через стандартное остекление» J_b более подробно.

Использование характеристик стёкол и стеклопакетов для расчёта теплопоступлений солнечной радиации

Например, для формулы (3.1) по Методике 2:

$$J_b = q_n K_1 + q_p K_2,$$

где q_n — поверхностная плотность теплового потока прямой солнечной радиации через остеклённый световой проём, Вт/м²; q_p — поверхностная плотность теплового потока рассеянной солнечной радиации через остеклённый световой проём, Вт/м².

Значения q_n и q_p приведены в различных справочниках и нормативных документах, в том числе в [2–4] и в новом [10]. Именно на этих базовых значениях основаны все расчёты по Методикам 1–3. Важным моментом является то, что значения плотности теплового потока, указанные в таблицах, относятся именно к одинарному остеклению со стеклом толщиной 2,5–3,5 мм (далее будем называть такое стекло «стандартным») и по факту являются пересчитанными значениями интенсивности прямой S и рассеянной D радиации.

В Методике 4 этот вопрос показан подробнее, где для формулы (5.1) определено:

$$J_b = SK_n K_{\text{инс}} + 0,75 DK_{\text{обл}};$$

$$q_n = SK_n;$$

$$q_p = 0,75 D,$$

здесь K_n — коэффициент проникания прямой солнечной радиации через одинарное остекление, значение коэффициента приведено в табл. 2.3 [4]. Этот коэффициент учитывает как характеристику самого стекла, так и угол падения солнечного излучения к поверхности стекла, в зависимости от ориентации по сторонам света и географической широты. Именно с учётом этого коэффициента K_n пересчитаны значения интенсивности прямой солнечной радиации S в значения теплового потока q_n через «стандартное» остекление. Аналогично значения рассеянной солнечной радиации D пересчитаны в тепловой поток q_p с постоянным коэффициентом 0,75. Максимальное значение коэффициента проникания K_n согласно [4] составляет 0,88, что соответствует облучению стекла под углом, близким к прямому (90°) к его поверхности.

С другой стороны, согласно данным [7], коэффициент общего пропускания солнечной энергии (солнечный фактор) для стандартного бесцветного стекла толщиной 3–4 мм составляет 0,87. Это значение практически совпадает с максимальным значением K_n .

В стандарте [7] вводится понятие — коэффициент общего затенения SC (вернее, Solar Heat Gain Coefficient, SHGC), который определяется по формуле:

$$SC = g/0,87.$$

В стандарте не даётся пояснений относительно назначения и применения коэффициента SC . Согласно приведённым выше обоснованиям, именно этот коэффициент и позволяет использовать значения солнечного фактора g , указанные в технических характеристиках остекления, в сочетании с рассматриваемыми методиками расчёта, основанными на данных о тепловом потоке прямой и рассеянной солнечной радиации, проходящем через стандартное остекление.

Характеристики характеристик современных стеклопакетов, определяющие пропускание тепла солнечной радиации

табл. 4

№	Тип стеклопакета	Свето- про- пускание	Коэффициент пропускания солнечного излучения τ_e , %	Коэффициент отражения солнечного излучения ρ_e , %	Коэффициент поглощения солнечного излучения α_e , %	Солнечный фактор g , %	Теплопереда- ча в помеще- ние q_i , %	Тепло- передача на улицу q_e , %	Термическое сопротивление R_o , (м ² ·°C)/Вт
Стекло 1	4M1-8-4M1	80	68	11	21	78	10	11	0,28
Стекло 2	4M1-16-4M1-16-K4	68	50	16	34	72	22	12	0,65
Стекло 3	4M1-8-4M1-8-И4	66	34	31	35	50	16	19	0,61
Стекло 4	Стеклопакет Suncool 0.70	70	34	35	31	37	3	28	1,00
Стекло 5	Стеклопакет Optifloat 0.75	75	61	16	23	72	11	12	0,67

Кoeffициенты теплопропускания внутренних СЗУ*

табл. 5

Внутреннее солнцезащитное устройство	$g_{CЗУ}$
Штора-жалюзи с металлическими пластинами, повёрнутыми под углом 45°	0,60
Штора-жалюзи с металлическими пластинами, повёрнутыми под углом 90°	0,70
Штора из светлой ткани	0,40
Штора из темной ткани	0,80

* По данным Приложения 8 СНиП II-3-79*.

В этом случае итоговая расчётная формула примет вид:

$$Q_c = J_{\text{в}} g_{CЗУ} \frac{g}{0,87} \tau F_o. \quad (6.1)$$

И, принимая вариант определения $J_{\text{в}}$ на базе Методик 2 и 3, получаем расчётную формулу для определения поступлений тепла солнечной радиации через остекление с заданным значением солнечного фактора:

$$Q_c = (q_{\text{п}} K_1 + q_{\text{р}} K_2) g_{CЗУ} \frac{g}{0,87} \tau F_o, \quad (7)$$

где $q_{\text{п}}$, $q_{\text{р}}$, K_1 и K_2 — то же, что и в Методике 2 [2], для предварительных расчётов остекления без конструктивных элементов затенения можно принимать $K_1 = 0,9$, $K_2 = 1,0$ [3]; F_o — площадь светового проёма, аналогично Методикам 2–4; $g_{CЗУ}$ — солнечный фактор солнцезащитных устройств, принимаемый по табл. Г.1 СП 370.1325800.2017 {для других типов солнцезащитных устройств можно использовать дополнительные справочные данные, например, из Приложения 8 СНиП II-3-79* (табл. 5), а для объектов, расположенных в районах со среднемесячной температурой июля более 21 °С, следует использовать нормативное значение коэффициента теплопропускания солнцезащитных устройств по табл. 8 [12]}; g — коэффициент общего пропускания солнечной энергии (солнечный фактор) остекления, согласно [7] принимается по данным производителя стекла или стеклопакета; τ — коэффициент затемнения переплётами (наиболее актуальные значения коэффициента τ можно принять по данным табл. Л.1 СП 23-101-2004, однако данный коэффициент справедливо применять для «традиционных» оконных стёкол, например, таких, какие используются в типовых жилых домах традиционных типовых серий П-44 и др., однако для современных панорамных стёкол больших размеров, стёкол встраиваемого остекления и т.п. данный коэффициент будет приближаться к 1,0, поэтому вопрос использования корректных значений коэффициента затемнения переплётами τ требует дополнительно проработки и уточнения).

Учёт показателя поглощения теплового потока солнечной радиации внутренними ограждающими конструкциями, оборудованием, материалами

Ещё один момент, который вызывает вопросы и на который нужно обратить внимание при обзоре методик, — это коэффициент $a_{\text{п}}$, то есть так называемый «показатель поглощения теплового потока солнечной радиации».

В Методике 2 расчётное количество тепла солнечной радиации должно определяться по формуле:

$$Q_{\text{л}}^{\text{р}} = Q_{\text{л}} a_{\text{п}}. \quad (8)$$

Как указано в [2], показатель поглощения учитывает поглощения ограждениями и оборудованием теплового потока прямой и рассеянной солнечной радиации, передаваемого воздуху помещения конвективными потоками. Значения показателя зависят от коэффици-

При расчёте переходных процессов аккумуляция тепла должна быть учтена, но для инженерного расчёта системы комфортного кондиционирования такой подход может существенно снизить расчётную производительность оборудования, что подтверждается практическим опытом

ентов теплоусвоения стен и покрытий и согласно табл. 5 [2] находятся в диапазоне 0,1–0,6 единицы. Это означает, что найденное, например, по формуле (3) значение Q_c следует ещё умножить на коэффициент $a_{\text{п}}$, а это существенно занижает итоговый результат.

В Методике 1 также учитывается аккумуляция тепла внутренними ограждениями и приводится расчётная формула. Но в этой методике дано чёткое указание о том, что аккумуляцию тепла внутренними ограждениями следует учитывать для проникания тепла через световые проёмы без средств солнцезащиты в помещении или межстёкольном пространстве, что выглядит более обоснованно. В Методике 2 таких указаний нет, и это вызывает ряд вопросов у специалистов. Также и в Методиках 3 и 4 показатель поглощения не используется.

Несомненно, что при расчёте переходных процессов аккумуляция тепла должна быть учтена, но для инженерного расчёта системы комфортного кондиционирования такой подход может существенно снизить расчётную производительность оборудования, что подтверждается практическим опытом.

Тепловой поток теплопередачей

Вторая составляющая в формуле (1) — это $Q_{\text{т}}$, то есть «теплопоступления за счёт теплопередачи через световой проём». При этом для всех рассматриваемых методик момент наступления максимальной суточной температуры соответствует 15:00 по среднесолнечному (гражданскому) времени.

Для корректного расчёта $Q_{\text{т}}$ по всем рассматриваемым методикам очень важным является то, какие значения температуры воздуха и амплитуды колебаний температуры будут применены в формулах (табл. 6 и 7).





Методика 1 предлагает наиболее простую формулу:

$$Q_T = \frac{t_n - t_b}{R_o} F_o, \quad (9)$$

где t_n — принимается по приложению «Расчётные параметры наружного воздуха» к соответствующей главе [2].

Методика 2 предлагает формулу, которая учитывает суточные колебания наружного воздуха и лучше подходит для расчёта почасового теплоступления:

$$Q_T = \frac{t_{нар} + 0,5\theta_1 A_{м.с} - t_n}{R_{oc}} F_{oc}, \quad (10)$$

где $A_{м.с}$ — максимальная суточная амплитуда температуры наружного воздуха в июле, принимаемая по СНиП 2.01.01–82

«Строительная климатология и геофизика»; θ_1 — коэффициент гармонического изменения температуры (принимается по табл. 6 [2]), для остекления определяется при $\epsilon = \epsilon + 15$ и $\theta_1 = 15$ часам; $t_{нар}$ — средняя за сутки температура наружного воздуха в июле, принимается по графе 8 таблицы «Температура наружного воздуха» из СНиП 2.01.01–82; A_{oc} — площадь остекления.

В Методиках 3 и 4 вводится понятие условная наружная температура, значение которой увеличивается за счёт добавки, которая учитывает дополнительный нагрев стекла за счёт прямой и рассеянной солнечной радиации, поглощаемой объёмом стекла и/или внутренними солнцезащитными устройствами.

Методика 3:

$$Q_T = \frac{t_{н.усл} - t_b}{R_{ок}} F_{ок}; \quad (11)$$

$$t_{н.усл} = t_{н.ср} + 0,5 A_{t_n} \beta_2 + \frac{S_b K_{инс} + D_b K_{отн}}{\alpha_n} \rho \tau_2, \quad (12)$$

где $t_{н.ср}$ — средняя температура июля по СНиП 23-01–99*; A_{t_n} — среднесуточная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха по СНиП 23-01–99*; ρ — приведённый коэффициент поглощения солнечной радиации, который принимается по Приложению 22.5 [3] и приводится для окон без солнцезащитных устройств и для окон с внутренними жалюзи, то есть данный коэффициент учитывает наличие внутренних солнцезащитных устройств; τ_2 — учёт затемнения окна переплётами, который принимается из Приложению 22.6 [3] и зависит от типа оконного переплёта; β_2 — коэффициент учёта гармонического изменения температуры наружного воздуха [3]; α_n — коэффициент теплоотдачи, зависящий от скорости ветра v_b : $\alpha_n = 5,8 + 11,6 \sqrt{v_b}$.

Примечание: очевидно, что в оригинале в формуле (12) опечатка, так как по тексту $K_{отн}$ — это коэффициент относительного проникания солнечной радиации, а в формуле должен быть $K_{обл}$ — коэффициент облучения, как и в аналогичной формуле по Методике 4, что также подтверждается в приведённом примере.

Методика 4 предлагает аналогичную формулу, учитывающую гармоническое изменение температуры наружного воздуха следующим образом:

$$Q_T = \frac{t_{н.усл} - t_b}{R_{oII}} F_{II}; \quad (13)$$

$$t_{н.усл} = t_{н0} + A_{t_n} \beta_2 + \frac{S_b K_{инс} + D_b K_{обл}}{\alpha_n} \rho_{II} K_n, \quad (14)$$

где $t_{н0}$ — средняя за сутки температура; A_{t_n} — половина полного перепада суточной температуры, взятого по СНиП II-A.6–72 «Строительная климатология»; ρ_{II} — приведённый коэффициент поглощения солнечной радиации, который учитывает тип остекления и наличие внутренних солнцезащитных устройств ([4], стр. 43, табл. 2.3); K_n — коэффициент пропускания тепла солнечной радиации наружной солнцезащитной конструкции, при отсутствии наружной солнцезащитной конструкции $K_n = 1,0$ ([4], стр. 54), при горизонтальном выступе, полностью затеняющем окно, $K_n = 0,25$, при брезентовом навесе или тенте $K_n = 0,3$.

Выбор расчётных значений температуры

табл. 6

Параметр	Методика 1	Методика 2	Методика 3	Методика 4
Температура наружного воздуха	t_n	$t_{нар}$	$t_{н.ср}$	$t_{н0}$
Пояснения в оригинале методики	По Приложению 4 к главе 12 «Расчётные параметры наружного воздуха» СНиП II-33–75	Средняя за сутки температура наружного воздуха в июле, по графе 8 табл. «Температура наружного воздуха» СНиП 2.01.01–82	Средняя температура июля по СНиП 23-01–99*	Средняя за сутки температура*
Соответствующее значение в актуальных нормах	Температура для расчёта систем кондиционирования, п. 10, табл. 10.1 СП 131.13330.2020, данные из графы 4 табл. 4.1	Среднемесячная температура для июля приведена в табл. 5.1 СП 131.13330.2020	Среднемесячная температура для июля приведена в табл. 5.1 СП 131.13330.2020	A_{t_n} — табл. 11.1 СП 131.13330.2020, среднее значение амплитуды в июле месяце — 9,9 °С $t_{н.макс}$ — п. 10, табл. 10.1 СП 131.13330.202, данные из графы 4 табл. 4.1
Актуальное значение для г. Москвы	26 °С	19,1 °С	19,1 °С	21,1 °С

* $t_{н0} = t_{н.макс} - A_{t_n} = 26 - 9,9/2 = 21,1$ °С, где $t_{н.макс}$ — температура по параметрам Б; A_{t_n} — половина перепада суточной температуры по СНиП II-A.6–72.

Выбор расчётных значений амплитуды температуры наружного воздуха

табл. 7

Параметр	Методика 1	Методика 2	Методика 3	Методика 4
Амплитуда	Не использ.	$A_{м.с}$	A_{t_n}	A_{t_n}
Пояснения в оригинале методики	—	Максимальная суточная амплитуда температуры наружного воздуха в июле СНиП 2.01.01–82	Среднесуточная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха СНиП 23-01–99*	A_{t_n} — половина перепада суточной температуры по СНиП II-A.6–72
Соответствующее значение в актуальных нормах	—	Максимальное значение суточной амплитуды из табл. 11.1 СП 131.13330.2020	A_{t_n} — табл. 11.1 СП 131.13330.2020, среднее значение амплитуды в июле месяце (столб. VII)	A_{t_n} — табл. 11.1 СП 131.13330.2020, среднее значение амплитуды в июле месяце (столб. VII)
Актуальное значение для г. Москвы	—	18,9 °С	9,9 °С	4,95 °С

В табл. 8 представлены факторы, которые определяют значение условной температуры и, соответственно, расчётное поступление тепла теплопередачей через остекление. Отметим, что в табл. 8 добавлены две дополнительные графы: в графе «ГОСТ EN 410–2014» показано, что влияние типа остекления определяется одной из нормативных характеристик стекла — коэффициентом вторичной теплопередачи в помещении q_i , и этот коэффициент может быть учтён при определении поступлений тепла теплопередачей.

Наибольшую сложность представляет задача корректного учёта внутренних солнцезащитных устройств типа внутренних штор и жалюзи. Именно этот тип солнцезащитных устройств наиболее доступен и наиболее часто используется в жилом секторе и офисных зданиях.

В табл. 9 приведены значения приведённого коэффициента поглощения солнечной радиации ρ_{Π} для случаев использования штор. Табл. 9 составлена по данным табл. 2.3 [4].

Согласно справочным данным различных источников, для одинарного остекления коэффициент вторичной теплопередачи в помещение q_i составляет 0,02–0,07. Для солнцезащитных стеклопакетов с низкими коэффициентами пропускания прямого солнечного излучения τ_e коэффициент поглощения прямого солнечного излучения α_e находится в диапазоне 0,2–0,3, а коэффициент вторичной теплопередачи в помещение q_i — в диапазоне 0,1–0,2. Однако, исходя из анализа данных в табл. 9, можно считать, что наличие внутренних солнцезащитных устройств (штор и жалюзи) является определяющим фактором, а приведённый коэффициент поглощения солнечной радиации для расчётов может применяться без дополнительных поправок на реальное значение q_i рассчитываемого стеклопакета для двойного и тройного остекления.

Факторы, определяющие поступление тепла теплопередачей

табл. 8

Факторы, определяющие поступления тепла	Методика 3	Методика 4	ГОСТ EN 410–2014	СП 370.1325800.2017
Тип переплётов	τ_2	нет	—	—
Тип остекления	ρ	ρ_{Π}	q_i	—
Внутренние солнцезащитные устройства	ρ	ρ_{Π}	—	$g_{C3Y(вн)}$
Наружные солнцезащитные устройства	нет	K_n	—	$g_{C3Y(нар)}$

Приведённый коэффициент поглощения солнечной радиации со шторами и жалюзи табл. 9

Шторы и жалюзи		Одинарное остекление (2,5–12 мм)	Двойное остекление (2,5–6 мм)	Тройное остекление (2,5–6 мм)
Внутренние шторы из тонкой ткани	светлые	1,2*	0,4	—
	средней окраски	1,45	1,3	—
	тёмные	1,7	1,7	—
Внутренние шторы из плотного непрозрачного материала	светлые	0,5	0,4	—
	тёмные	1,25	1,3	—
Внутренние жалюзи	светлые	1,2	1,2	1,2
	средней окраски	1,7	1,7	1,6
	тёмные	2,1	2,0	1,9

* Предположительно в табл. 2.3 [4] содержится опечатка для светлых тонких штор при одинарном остеклении, так как для светлых плотных штор и для жалюзи нет резкого скачка значения в зависимости от типа остекления. Однако авторы допускают возможность учёта дополнительных особенностей теплопередачи, о которых не удалось найти поясняющей информации.

Таким образом, расчёт количества тепла, поступающего в помещение за счёт теплопередачи, с учётом сопоставления с табл. 2, может быть предложен в виде:

$$Q_T = \frac{t_{н,усл} - t_{в}}{R_o} F_o; \quad (13)$$

$$t_{усл} = t_{н0} + A_{тн} \beta_2 + \frac{S_B K_1 + D_B K_2}{\alpha_n} \rho_{\Pi} \tau g_{C3Y,нар}, \quad (14)$$

где $t_{н0}$ и $A_{тн}$ определяются аналогично, как для Методики 4 (табл. 6 и 7); ρ_{Π} — приведённый коэффициент поглощения солнечной радиации, который принимается равным ρ по табл. 8 для остекления с внутренними шторами и жалюзи или равным q_i по данным производителя остекления для штор без внутренних солнцезащитных устройств; $\tau = \tau_2$ — коэффициент затемнения переплётами, аналогично формуле (7).

Итоги

В результате есть две альтернативные формулы (10) и (13) для расчёта тепла, поступающего за счёт теплопередачи, которые могли бы использоваться совместно с формулой расчёта тепла солнечной радиации (7) для определения количества тепла, поступающего через световой проём, по формуле:

$$Q_o = Q_c + Q_T. \quad (1)$$

Формула (10) более простая и не учитывает в своём составе поглощение тепла внутренними солнцезащитными устройствами (шторами), также в этой формуле не учитывается влияние реальных характеристик конкретного типа остекления.

Если рассмотреть формулу (7):

$$Q_c = (q_n K_1 + q_p K_2) g_{C3Y} \frac{g}{0,87} \tau F_o, \quad (7)$$

то можно обратить внимание на то, что, согласно подходу, изложенному в [7], при определении коэффициента общего пропускания солнечной энергии (солнечного фактора) $g = \tau_e + q_i$ в его составе уже учитывается коэффициент вторичной теплопередачи в помещение, который учитывает конвекционную составляющую теплопоступлений от нагретого стекла. В этом случае остаётся только учесть тепло первичной теплопередачи, что и происходит при расчёте по формуле (10).

Таким образом, для расчёта по формуле (1) может быть рассмотрен вариант совместного использования формулы (7) и (10), и формула может быть записана в виде:

$$Q_o^{вар1} = Q_c^{(7)} + Q_T^{(10)}. \quad (10.1)$$





С другой стороны, в формуле (14) уже учитывается такая характеристика стекла, как коэффициент вторичной теплопередачи, и тогда эта составляющая не должна повторно учитываться в формуле (7). В этом случае в формуле (7) следует использовать только коэффициент прямого пропускания солнечного излучения τ_e , и формула будет иметь вид:

$$Q_c = (q_n K_1 + q_p K_2) g_{C3y} \frac{\tau_e}{0,87} \tau F_0, \quad (7.1)$$

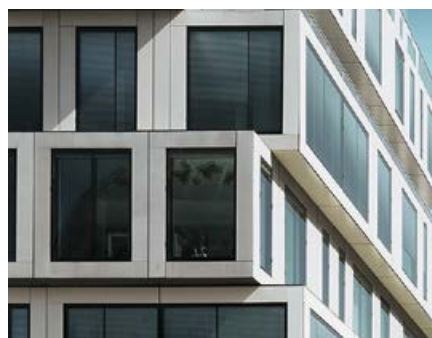
Это позволяет предложить второй вариант совместного использования формул (7.1) и (14), который также выглядит вполне корректным и обоснованным:

$$Q_o^{\text{вар}2} = Q_c^{(7.1)} + Q_r^{(14)}. \quad (10.2)$$

В итоге получилось два варианта обновлённой методики расчёта теплопоступлений через остекления (табл. 10).

Пример расчётов и сопоставление результатов

Для сравнения и оценки полученных вариантов проведём несколько расчётов остекления, ориентированного на юг, для объекта, расположенного в городе Москве, 56° с. ш., в 12:00 — в полдень, то есть в час максимальной интенсивности солнечной радиации.



Рассмотрим три варианта остекления: окно со шторами из плотной светлой ткани, окно со шторами из плотной темной ткани и окно без внутренних солнцезащитных устройств.

В расчётах применяются следующие значения и коэффициенты:

- $F_0 = 1 \text{ м}^2$ — расчётная площадь остекления;
- $q_n = 398 \text{ Вт/м}^2$ — табл. 1 [2];
- $q_p = 92 \text{ Вт/м}^2$ — табл. 1 [2];
- $S_b = 479 \text{ Вт/м}^2$ — табл. 8а [2];
- $D_b = 124 \text{ Вт/м}^2$ — табл. 8а [2];
- $K_1 = 0,9$ — значение принято для оценочного расчёта, определяется по Методике 2 или 3;
- $K_2 = 1,0$ — значение принято для оценочного расчёта, определяется по Методике 2 или 3;

В проведённых расчётах все стекла имеют различные характеристики пропускания и поглощения солнечной энергии

- $g_{C3y, \text{нар}} = 1,0$ — наружные солнцезащитные устройства отсутствуют;
- $\tau = 0,8$ — двухкамерный или однокамерный стеклопакет в однокамерном переплёте по табл. Л.1 СП 23-101-2004;
- $g_{C3y} = 0,4$ для штор из светлой ткани и 0,8 для штор из темной ткани, поскольку в табл. Г.1 СП 370.1325800.2017 данные для внутренних штор отсутствуют, и в этом случае данные приняты из Приложения 8 СНиП II-3-79*;
- $\rho_n = 0,4$ для плотных штор из светлой ткани и $\rho_n = 1,3$ для плотных штор из темной ткани по табл. 10;
- $\rho_n = q_i$ — для остекления без внутренних солнцезащитных устройств;
- $t_{\text{нар}} = 19,1^\circ\text{C}$ (табл. 6);
- $t_{n0} = 21,1^\circ\text{C}$ (табл. 6);
- $A_{\text{м.с}} = 18,9^\circ\text{C}$ (табл. 7);
- $A_{t_n} = 9,9^\circ\text{C}$ (табл. 7);
- $\theta_1 = \beta_2 = 0,72$ для времени 12:00 дня;
- $v_b = 1 \text{ м/с}$;
- $t_b = 24^\circ\text{C}$ — расчётная температура внутреннего воздуха для систем комфортного кондиционирования в тёплый период года.

Результаты расчётов для стёкол из табл. 4 представлены в табл. 11. В проведённых расчётах все стекла имеют различные характеристики пропускания и поглощения солнечной энергии. По табл. 11 нельзя сказать, что во всех случаях расчёта по Вариантам 1 или 2 теплопоступления получаются больше или меньше. В обоих случаях расчётное значение зависит от характеристик конкретного стекла.

❖ Варианты обновлённой методики расчёта теплопоступлений через остекление табл. 10

Вариант 1	Вариант 2
$Q_o^{\text{вар}1} = Q_c^{(7)} + Q_r^{(10)}$ (10.1)	$Q_o^{\text{вар}2} = Q_c^{(7.1)} + Q_r^{(13)}$ (10.2)
$Q_c = (q_n K_1 + q_p K_2) g_{C3y} \frac{g}{0,87} \tau F_0$ (7)	$Q_c = (q_n K_1 + q_p K_2) g_{C3y} \frac{\tau_e}{0,87} \tau F_0$ (7.1)
$Q_r = \frac{t_{\text{нар}} + 0,5 \theta_1 A_{\text{м.с}} - t_b}{R_o} F_0$ (10)	$Q_r = \frac{t_{\text{нар}} - t_b}{R_o} F_0$ (13)
	$t_{\text{усл}} = t_{n0} + A_{t_n} \beta_2 + \frac{S_b K_1 + D_b K_2}{\alpha_n} \rho_n \tau g_{C3y, \text{нар}}$ (14)

❖ Теплопоступления [Вт], рассчитанные по формулам Варианта 1 и Варианта 2 табл. 11

Вариант	Характеристики стеклопакета				Светлые шторы		Тёмные шторы		Без СЗУ	
	τ_e	g	q_i	R	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1	Вар. 2
Стекло 1	0,68	0,78	0,1	0,28	136	164	265	359	330	306
Стекло 2	0,50	0,72	0,22	0,65	122	105	241	223	301	222
Стекло 3	0,34	0,50	0,16	0,61	86	80	169	174	210	154
Стекло 4	0,34	0,37	0,03	1,00	63	71	124	150	155	150
Стекло 5	0,61	0,72	0,11	0,67	122	123	241	258	301	263



Наиболее показательным является сопоставление результатов Стекло 2 и Стекло 5, которые имеют одинаковый солнечный фактор $g = 0,72$, но различные коэффициенты пропускания тепла. Как видно из табл. 11, при расчёте по Варианту 1 результаты для обоих стёкол совпадают, то есть формулы не учитывают то, что Стекло 5 пропускает значительно больше прямой солнечной энергии. При этом при расчёте по Варианту 2 эта разница отражается в результате, как для стёкол

с внутренними шторами, так и для остекления без штор. При расчёте остекления по Варианту 2 поступления тепла через Стекло 5 с большим коэффициентом пропускания получается выше, что соответствует физике процесса и ожиданиям.

При расчёте остекления без внутренних солнцезащитных устройств (штор или жалюзи), в помещение будет попадать вся солнечная энергия, проникающая как за счёт солнечной радиации, так и в результате вторичной теплопередачи.

В этом случае получается, что Вариант 1 более точно отражает физику процесса, и при отсутствии внутренних солнцезащитных устройств теплопоступления через различные стекла (с одинаковым солнечным фактором и одинаковым термическим сопротивлением) действительно будут одинаковые.

Заключение

В итоге для определения теплопоступлений через современные стеклопакеты предложены расчётные формулы, которые позволяют объективно учитывать все характеристики и особенности стеклопакетов.

В предложенной методике для расчёта теплопоступлений через остекления без внутренних солнцезащитных устройств предлагается использовать расчётные формулы по Варианту 1.

Для остекления с внутренними солнцезащитными устройствами рекомендуется использовать Вариант 2, который наиболее полно учитывает все характеристики и свойства современных стеклопакетов различных производителей. ●

1. СНиП II-33-75. Часть II: Нормы проектирования. Глава 33: Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Дата введ.: 01.07.1976.
2. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91. Расчёт поступления теплоты солнечной радиации в помещения. — М.: Промстройпроект, 45 с.
3. Краснов Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для производственных и общественных зданий. — М.: Техносфера; Термокул, 2006. 288 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства (справочник проектировщика). В 2-х ч. Ч. II: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В.Н. Богословский, И.А. Шепелев, В.М. Эльтерман [и др.]; под ред. И.Г. Старовойтова. — М.: Стройиздат, 1977. 502 с.
5. Серебницкий Б.Н. Примеры расчёта систем кондиционирования воздуха. — Киев: Будівельник, 1970. 157 с.
6. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Изд. 3-е, перераб. и доп. / В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин [и др.]. — М.: Евроклимат, 2000. 416 с.
7. ГОСТ EN 410-2014. Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. Определение световых и солнечных характеристик (с попр.) / Дата введ.: 01.04.2016.
8. СП 370.1325800.2017. Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования (с Изм. №1) / Дата введ.: 06.06.2018.
9. СП 131.13330.2020. Строительная климатология [Пересмотр СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99». Строительная климатология] (с Изм. №1 и №2) / Дата введ.: 25.06.2021.
10. СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с Изм. №1 и №2) / Дата введ.: 15.05.2018.
11. Каталоги производителей стёкол и стеклопакетов Pilkington и Vseokna.
12. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02-2003 (с Изм. №1 и №2) / Дата введ.: 01.07.2013.

HEATING, HOT WATER AND GAS SUPPLY

REFERENCES ● ● ●

Methodology for solar heat gain calculation through glazing with specified solar energy transmission characteristics

Vitaly A. Volkov, PhD, senior lecturer, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Andrey V. Gerasimov**, postgraduate student, the Department of Information Technology, Artificial Intelligence and Socio-Social Technologies of Digital Society, the Faculty of Political and Social Technologies, Russian State Social University (RSSU, Moscow); **Alexander Ya. Shelginsky**, Doctor of Technical Sciences, Professor, the Department of Industrial Thermal Power Systems, NRU "MPEI"

1. SNiP II-33-75 [Building Rules & Regulations of Russia No. II-33-75]. *Otoplenie, ventilatsiya i konditsionirovanie vozdukh* [Part II: Construction Standards. Chapter 33: Heating, ventilation and air conditioning]. Date of impl.: July 1, 1976.
2. *Posobie 2.91 k SNiP 2.04.05-91* [Manual No. 2.91 to Building Rules & Regulations No. 2.04.05-91]. *Raschet postupleniya teploy solnechnoy radiatsii v pomescheniya* [Calculation of solar radiation heat gain into premises]. Moscow. *Promstroyproekt* ["Promstroyproject"]. 45 p.
3. Ju.S. Krasnov. *Sistemy ventilatsii i konditsionirovaniya. Rekomendatsii po proektirovaniyu dlja proizvodstvennykh i obshchestvennykh zdaniy* [Ventilation and air conditioning systems. Design recommendations for industrial and public buildings]. Moscow. *Tekhnosfera* ["Technosphere"] Advertising and Publishing Center, CJSC; *Termokul* [Thermocool Group]. 2006. 288 p.
4. V.N. Bogoslovsky, I.A. Shepelev, V.M. Elterman et al. *Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroystva (spravochnik proektirovshhika)* [Internal sanitary installations (designer's guide)]. V 2-h ch. Ch. II: *Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh* [In two parts. Part II: Ventilation and air conditioning]. 2nd edition, rev. and exp. Edited by I.G. Starovoytov. Moscow. *Stroyizdat* [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture ("Stroyizdat" Publishers)]. 1977. 502 p.
5. B.N. Serebnitsky. *Primery rascheta sistem konditsionirovaniya vozdukh* [Examples of calculation of air conditioning systems]. Kiev. *Budivelnik* ["The builder" Publishers]. 1970. 157 p.
6. V.A. Ananyev, L.N. Balueva, A.D. Galperin et al. *Sistemy ventilatsii i konditsionirovaniya. Teoriya i praktika* [Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice]. 3rd edition. Moscow. *Evroklimat* [Euroclimate Group]. 2000. 416 p.
7. *GOST EN 410-2014* [State Industry Standard of Russia No. 410-2014]. *Steklo i izdeliya iz nego. Metody opredeleniya opticheskikh kharakteristik*. [Glass and products made from it. Methods for determining optical characteristics. Determination of light and solar characteristics (with an amend.)]. Date of impl.: April 1, 2016.
8. SP 370.1325800.2017 [The Code of Practice on Design and Construction of Russia No. 370.1325800.2017]. *Ustroystva solntse-zashhitnye zdaniy. Pravila proektirovaniya (s Izm. №1)* [Solar protection devices for buildings. Construction rules (with Amend. No. 1)]. Date of impl.: July 6, 2018.
9. SP 131.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction of Russia No. 131.13330.2020]. *Stroitel'naya klimatologiya* [Internal sanitary installations (designer's guide)]. (SNiP 23-01-99* "Stroitel'naya klimatologiya") (s Izm. №1 i №2) [Construction climatology. Building Rules & Regulations of Russia [Rev. of the Code of Practice on Design and Construction of Russia No. 131.13330.2018 "Building Rules & Regulations of Russia No. 23-01-99". Construction climatology] (with Amend. No. 1 and No. 2)]. Date of impl.: June 25, 2021.
10. SP 345.1325800.2017 [The Code of Practice on Design and Construction of Russia No. 345.1325800.2017]. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Pravila proektirovaniya teplovoj zashhity (s Izm. №1 i №2)* [Residential and public buildings. Rules for designing thermal protection (with Amend. No. 1 and No. 2)]. Date of impl.: May 15, 2018.
11. *Katalogi proizvozhiteley stekol i steklopaketov "Pilkington" i "Vseokna"* [Catalogs of glass and insulating glass manufacturers "Pilkington" and "Vseokna"].
12. SP 50.13330.2012 [The Code of Practice on Design and Construction of Russia No. 50.13330.2012]. *Teplovaya zashhita zdaniy. Aktualiz. red. SNiP 23-02-2003 (s Izm. №1 i №2)* [Thermal protection of buildings. Updated edition of Building Rules & Regulations of Russia No. 23-02-2003 (with Amend. No. 1 and No. 2)]. Date of impl.: July 1, 2013.