

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

В.Н. Куприянов, А.С. Петров, А.И. Иванцов

АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА

Учебное пособие

В 2 частях

Часть 1

**Строительная климатология, теплозащита зданий,
естественное освещение**

Казань
2022

УДК 72:53
ББК 85.11; 22.3
К92

Куприянов В.Н., Петров А.С., Иванцов А.И.

К92 Архитектурная физика: Учебное пособие. В 2 ч. Ч.1: Строительная климатология, теплозащита зданий, естественное освещение /Под ред. д.т.н., проф., чл.-корр. РААСН Куприянова В.Н. /В.Н. Куприянов, А.С. Петров, А.И. Иванцов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архит. строит. ун-та, 2022. – 132 с. (Ч. 1: с. 1-132)

ISBN 978-5-7829-0596-5

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебном пособии систематически изложены основные разделы архитектурной климатологии и физики среды: строительная климатология, климатическое районирование, теплозащита зданий, естественное освещение, инсоляция территорий застройки и помещений зданий, солнцезащита, защита помещений от шума в зданиях и в городской среде, акустика помещений. Основное внимание уделяется учету физических процессов, проходящих в городской среде, в помещениях зданий и в ограждающих конструкциях при проектировании архитектурных объектов в заданных климатических районах.

Учебное пособие иллюстрируется натуральными фотографиями, графическими материалами и числовыми примерами по расчету основных показателей архитектурной среды.

Предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям подготовки «Архитектура» – 07.03.01 и 07.04.01; «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» – 07.03.02 и 07.04.02; «Градостроительство» – 07.03.04 и 07.04.04. Учебное пособие может быть полезно для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению подготовки «Строительство» – 08.03.01 и 08.04.01, а также для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

130 ил., 65 табл., 139 числ. примеров

Рецензенты:

Зав. кафедрой реконструкции и реставрации архитектурного наследия Казанского ГАСУ, доктор архитектуры, профессор

Х.Г. Надырова

Исполнительный директор ООО «МостафПроектСтрой»,
заслуженный архитектор Республики Татарстан

А.П. Горбунов

УДК 72:53
ББК 85.11; 22.3

- © Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2022
- © Куприянов В.Н., Петров А.С., Иванцов А.И., 2022

ISBN 978-5-7829-0596-5

Введение

Две тысячи лет назад римский архитектор Витрувий сформулировал основные требования к архитектуре, которые выражены в триаде «прочность-польза-красота». В этой формуле все члены равны, стоит одной из составляющих потеснить две другие – и архитектура исчезает. Триада сохраняет свою актуальность и в современных условиях, однако обеспечение прочности конструкций и красоты объекта зачастую отодвигают «пользу» архитектурного объекта, без которой, по выражению Витрувия, «архитектура исчезает» на второй план.

В понятии «польза» архитектурного объекта значительную долю занимает обеспечение в помещениях зданий и на территории застройки комфортных условий для жизнедеятельности человека. Абстрактное слово «комфорт» в современных условиях определяется перечнем санитарно-гигиенических параметров внутренней среды помещений и городской среды. Эти параметры регламентированы в нормативных документах: Санитарных нормах и правилах, ГОСТ и сводах правил по проектированию. Согласно этим документам, в помещениях зданий должны быть обеспечены:

- допустимые уровни микроклимата и воздушной среды помещений;
- естественное освещение;
- инсоляция помещений;
- допустимые уровни шума;
- допустимые уровни вибрации;
- допустимые уровни ультразвука и инфразвука;
- допустимые уровни электромагнитного излучения в различных частотных диапазонах;
- уровни напряжения электростатического поля на поверхностях помещений;
- допустимые уровни радона и торона.

В городской среде должны быть обеспечены:

- инсоляция определенных территорий;
- комфортный ветровой режим в застройке;
- тепловой и радиационный режимы придомовых территорий;
- регулирование снеготранспорта пешеходных и транспортных путей;
- защита зданий от транспортных и промышленных шумов;
- регулирование дождевых стоков с территории застройки.

Перечисленные требования должны обеспечиваться средствами архитектурного проектирования зданий при использовании нормативных документов, а при отсутствии нормативных документов – экспериментальными и теоретическими научными исследованиями по архитектурной климатологии и физике среды в помещениях зданий, в ограждающих конструкциях и в городской застройке.

РАЗДЕЛ I

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

1.1. Климат и человек

Всю историю своего существования человек боролся с неблагоприятными погодными факторами и старался максимально использовать благоприятные погодные условия. Наиболее ярко это проявилось в строительстве традиционных народных жилищ, каждое из которых оказывается наиболее эффективным в своем климате. В таблице 1.1 описаны характерные для некоторых разновидностей климата объемно-планировочные и конструктивные решения жилищ, адаптированные к условиям местного климата.

Таблица 1.1

Климатические районы и особенности народных жилищ

Территории; значимые характеристики климата	Отличительные особенности народных жилищ
Климат Российского Севера (низкие температуры воздуха и снеготаносы)	Жилые дома объединялись с хозяйственными постройками под одной крышей, чтобы избежать снеготаносов внутренних дворов. С этой же целью изба поднималась на подклеты, и устраивалось высокое крыльцо. Улицы населенных пунктов располагались вдоль направления зимних господствующих ветров, чтобы максимально снизить снеготаносы проезжей части улицы. Нижние венцы бревен в избах имели больший диаметр, что обеспечивало более теплую поверхность бревен, вдоль которых располагались спальные места на лавках
Климат Средней Азии (палящее солнце, низкая влажность, пыльные бури)	Для защиты от пыльных бурь строят замкнутый дворик. Теневые навесы по периметру дворика обеспечивают благоприятную тень в любое время суток. Озеленение дворика, устройство в нем водоемов или арыков увлажняют воздух. Плоская толстая крыша жилой части дома защищает от солнечного перегрева помещений
Климат экваториального пояса (Индонезия): (высокая температура поверхности земли и воздуха)	В дневное время поверхность земли прогревается до температур, позволяющих выпекать яйца. Для снижения влияния этих температур на жилые хижины их поднимают над землей на столбы. Стены хижин делают легко продуваемыми ветром, для дополнительного охлаждения воздуха в хижине

К настоящему времени в разных странах разработано множество нормативных документов по учету климатических факторов и обеспечению комфортной архитектурной среды, однако влияние

природно-климатических факторов на архитектурную среду остается недостаточно изученным.

В исследованиях алжирского архитектора Джедид Мурада, проведенных в г. Лагут, по влиянию архитектурной морфологии открытых общественных пространств на формирование теплового комфорта показано, что традиционная застройка, используемая для засушливых районов Северной Африки, обеспечивает наибольший тепловой комфорт по сравнению с колониальной и современной застройкой. Эти исследования убедительно показали, что перенос архитектурных объектов, разработанных для одного климата, или объектов с недостаточным учетом климатических воздействий в другой климат, не приводят к желаемому результату.

Рядом ученых показано, что различные природно-климатические условия требуют не только разного подхода к формированию комфортной архитектурной среды, но даже влияют на образ жизни населения и условия его жизнедеятельности. Высказывается предположение о том, что граница между западной и восточной цивилизациями на Европейском континенте проходит по среднемесячной температуре наружного воздуха в январе, это минус 4°C. Анализ этого предположения показывает, что температура января в Париже равна плюс 5°C, в Берлине – 0°C, в Варшаве – минус 4°C, в Москве – минус 7.8°C, в Казани – минус 11.6°C, в Перми – минус 13.9°C (и далее, в Томске – минус 17.4°C, в Якутске – минус 39.6°C).

Действительно, в таких «щадящих» температурных условиях население Западной Европы не расходует много энергии и ресурсов на свое жизнеобеспечение, поэтому больше времени и сил уделялось развитию искусства и науки. В Восточной Европе при холодных зимах и коротком лете человек затрачивал огромную энергию на свое жизнеобеспечение (защита от холода и снеготаносов, короткий вегетативный период для выращивания и сбора урожая и т.п.), поэтому и возникло отставание и в развитии науки, и в искусстве.

Российский историк Соловьев С.М. отмечает, что природа для жителей Западной Европы была матерью, а для населения Восточной Европы – мачехой.

Таким образом, влияние природно-климатических условий на формирование комфортной архитектурной среды требует дальнейших детальных исследований.

1.2. Основные понятия о климате

Существование жизни на планете Земля обеспечивается солнечной радиацией. Солнечные лучи несут мощную энергию и нагревают поверхностные слои Земли. В свою очередь, Земля передает это тепло в атмосферу, и в приземном слое воздух прогревается до тех или иных

температур. Древние греки считали, что температура воздуха зависит от угла падения солнечных лучей на Землю. Этот угол падения, или «наклон» солнечных лучей к горизонтальной поверхности и дал название целой науке – климатологии, потому что слово «климат» переводится на русский язык как «наклон». На рис. 1.1 приведена схема падения солнечных лучей на земной шар. Следует обратить внимание на тот факт, что солнечные лучи приходят к Земле в виде пучка параллельных лучей. На экваторе угол падения равен 90° и количество энергии, поглощаемой поверхностными слоями Земли, будет максимальным. При приближении к полюсам угол падения лучей уменьшается, уменьшается и количество солнечной энергии, поглощаемой поверхностными слоями Земли. Воздух прогревается меньше, климат становится прохладнее.

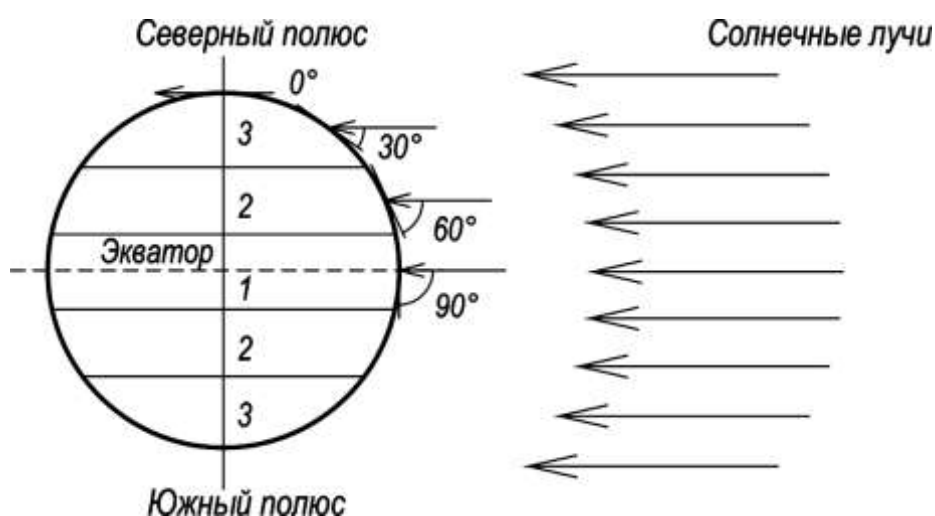


Рис.1.1. Схема падения солнечных лучей на земной шар:

1 – жаркий климатический пояс; 2 – умеренный климатический пояс; 3 – холодный климатический пояс

В связи с представлениями об углах падения солнечных лучей на Землю климат планеты делился по широтному принципу на жаркий, умеренный и холодный (рис. 1.1).

Однако в пределах одного широтного пояса наблюдаются различные климаты, потому что в формирование климата планеты существенную роль вносят и другие климатообразующие факторы:

- циркуляция атмосферы;
- влагооборот;
- рельеф, наличие гор;
- высота над уровнем моря;
- характер растительности;
- снежный покров;

– наличие морей и крупных водоемов.

Например, на вершинах гор, даже в жарком поясе, лежит снег, возникают местные ветры: прибрежные, горные, ледниковые, за счет разной температуры отдельных участков земной поверхности и т.п.

Таким образом, **климат** – это совокупность и последовательность смены всех возможных в данной местности состояний атмосферы. Состояние атмосферы за короткий промежуток времени называют **погодой** (солнечная погода, дождливая, холодная, снежная и т.д.). Климатом называют также многолетний режим погоды.

Климат планеты подразделяется на характерные разновидности, связанные с определенными территориями:

- континентальный климат;
- приморский климат;
- климат умеренных широт;
- арктический климат;
- тропический климат и др.

Каждая разновидность климата характеризуется определенными величинами значений основных климатических факторов и закономерностями их изменений в течение года и других временных периодов.

Городской климат

С появлением городов возникает искусственная среда обитания, отличающаяся от природной. В связи с этим данные климатических справочников не всегда отражают условия, возникающие в городской среде, потому что в их основе лежат измерения параметров климата на метеостанциях, которые расположены, как правило, на открытой местности.

Город (особенно крупный) является климатообразующим фактором и сам формирует свой климат за счет застройки, наличия промышленных предприятий, большой массы каменных зданий и территорий с твердым покрытием под магистралями, площадями и пешеходными дорожками. Выбросы промышленных предприятий вызывают загрязнение воздушной среды различными газами, пылью и аэрозолями, что в свою очередь снижает прозрачность атмосферы, приход солнечной радиации и освещенность. Увеличение плотности застройки снижает циркуляцию атмосферы, усиливает застойные явления, снижает инсоляцию помещений и территорий.

Большая масса каменных строений и площадей с твердым покрытием поглощает солнечную радиацию, нагревается, изменяет радиационный фон города и увеличивает температурные воздействия на человека, находящегося вблизи облучаемых фасадов. Наиболее прогретыми оказываются фасады юго-западной ориентации, от них тепло распространяется на 7–10 метров, от южных фасадов – на 4–5 метров. Для

исключения теплового дискомфорта пешеходные дорожки и детские площадки в жилых микрорайонах следует размещать не ближе 4–10 метров, в зависимости от ориентации облучаемых фасадов.

Температура воздуха в городе всегда выше, чем за городом: зимой за счет потери тепла зданиями, летом – за счет нагрева большой массы стен зданий, покрытий дорог и тротуаров теплом солнечной радиации.

Перегретый воздух центральных районов города стремится вверх, в центре города возникает низкое атмосферное давление, которое заполняется воздухом с окраин. Так возникают «городские бризы». Это явление весьма положительное, так как в центр города вовлекается более чистый воздух с окраин и пригородов. Однако если на окраине города есть предприятие с вредными выбросами в атмосферу, то эффект будет обратным. Так называемые «местные ветры» могут возникать даже вблизи водоемов, парков и даже на магистралях, между нагретыми и не нагретыми сторонами улиц.

Твердые покрытия городских территорий не впитывают дождевые воды, вследствие чего увеличивается сток с городских территорий, что может вызвать переполнение ливневой канализации.

В воздушном бассейне крупных городов содержится большое количество продуктов горения и городской пыли, частички которых являются ядрами конденсации водяных паров, находящихся в воздухе. Это вызывает короткие интенсивные ливни. В пригородах и близко расположенной сельской местности выпадения осадков в это время не наблюдается, следовательно, городские ливни не находят отражения в общеклиматических справочниках.

Таблица 1.2

Отличие климата города от окружающей его местности

Климатические факторы	Изменение величины фактора в городских условиях
Температура воздуха	Увеличивается на 1–6°C
Относительная влажность воздуха	Понижена на 6%
Солнечная радиация	Снижается на 10–15%
Продолжительность светового дня	Укорачивается на 15–20 мин.
Осадки, туманы	Осадки увеличиваются на 10–15%
	Туманы увеличиваются на 30–100%
Городской бриз	Приток воздуха от окраин к центру города

Ветровые потоки, приходящие к городу, изменяют скорость и направление в зависимости от характера застройки, преобладающего направления ветра и ориентации улиц. В приземном слое эти явления сопровождаются уплотнением потоков ветра, образованием и срывом вихрей, что приводит к дискомфорту в пешеходных зонах, а в зимнее время – к снегозаносам.

Первое представление об отличии климата города от окружающей его местности дает таблица 1.2.

1.3. Климатические факторы и формирование метеорологической информации

Основными климатическими факторами являются: солнечная радиация, температура и влажность воздуха, твердые и жидкие осадки, атмосферное давление, скорость и направление ветра. Эти факторы требуют учета при проектировании зданий, теплозащиты ограждающих конструкций, микроклимата и санитарно-гигиенических условий в помещениях зданий и сооружений. Важное значение имеет изучение сочетания ряда факторов:

- ветер с температурой (охлаждающее воздействие ветра на человека и жилую среду);
- ветер с дождем (увлажнение стен при косых дождях);
- ветер со снегом и пылью (метели, снегозаносы и пыльные бури).

Такие климатические факторы, как температура и влажность воздуха, имеют свойство *скалярной* характеристики, в то время как солнечная радиация, ветер и осадки являются *векторными*, что предопределяет требования к ориентации зданий, сооружений и городских микрорайонов по сторонам горизонта.

Основой для изучения климатических факторов являются результаты наблюдений за элементами климата, полученные на метеорологических станциях.

В России эти наблюдения регулярно ведутся с XIX века на небольшом количестве метеостанций 3 раза в сутки. С развитием промышленности, транспорта, сельского хозяйства неуклонно развивалась сеть метеостанций и количество наблюдений в сутки. С 1966 года наблюдения ведутся уже 8 раз в сутки и действует более 10 000 метеостанций.

Для мониторинга климатических факторов используются как традиционные приборы и оборудование, требующие записи показаний приборов «вручную», так и оборудование, регистрирующее показатели климатических факторов в автоматическом режиме с записью на бумажных и электронных носителях.

Ниже приведено описание одного из традиционных приборов по контролю температуры и влажности воздуха. Схема прибора приведена на рис. 1.2, где показана группа термометров, устанавливаемых в психрометрической будке. Вертикально расположенный левый термометр называется «сухим», это основной термометр по измерению текущей *температуры воздуха*. Вертикально расположенный правый термометр называется «мокрым», потому что его спиртовой резервуар обернут батистовой тканью и в момент снятия показаний смачивается водой из стаканчика. По разности показаний «сухого» и «мокрого» термометров на основе психрометрических таблиц определяется *относительная влажность воздуха*. В центре приборов установлен волосной гигрометр,

который также определяет относительную влажность воздуха. Принцип действия гигрометра основан на изменении длины волоса при изменении его влажности, что и приводит в действие стрелку прибора.

Горизонтально расположены максимальный и минимальный термометры, предназначенные для измерения **максимальных** и **минимальных температур воздуха**. Принцип действия этих термометров заключается в том, что, достигнув экстремальных значений, спиртовые столбики термометров сохраняют эти значения при последующих изменениях температуры воздуха. После снятия показаний минимальный и максимальный термометры встряхивают.

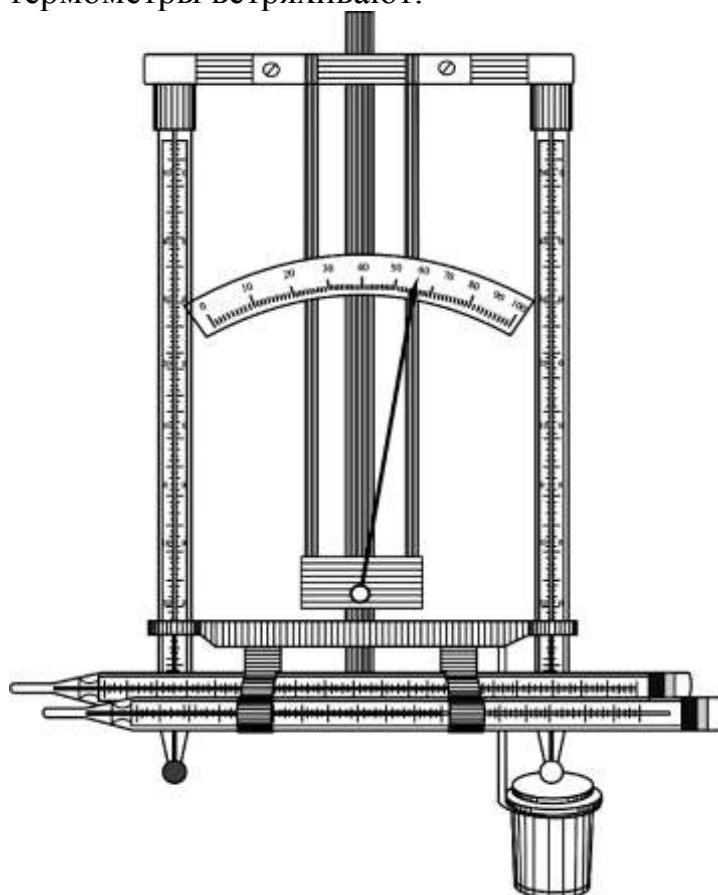


Рис. 1.2. Установка приборов в психрометрической будке

Величина климатического фактора, зафиксированная в расчетные сроки на метеостанциях, носит случайный характер, в период между сроками эта величина может иметь другие значения. Однако на основе статистической обработки массива первичных данных метеостанций можно получить относительно устойчивые параметры климатических факторов.

Средние значения. Среднее суточное значение определяется из всех восьми значений данного метеорологического фактора, измеренных в течение суток. Среднее месячное значение получается из всех средних

суточных значений за данный месяц. Среднее годовое – из двенадцати средних месячных значений.

Экстремальные значения. Средние значения факторов позволяют сравнивать климаты разных районов, но их недостаточно для полной характеристики климатических воздействий на здания.

В климатологических справочниках приводятся данные по:

- абсолютным экстремумам (максимальным и минимальным) метеорологического фактора, который наблюдался за весь период наблюдений;

- средним из годовых экстремальных величин;

- средним экстремумам за месяц (средние значения из максимумов и минимумов за каждые сутки). Абсолютные экстремумы весьма редки, поскольку определяются редко наблюдаемыми атмосферными процессами, в то время как средние из экстремальных величин более устойчивы в пространстве, поскольку обусловлены постоянно действующими факторами, характерными для значительных территорий.

Амплитуды. В метеорологии и климатологии амплитудой называют разность между максимальным и минимальным значениями фактора за определенный отрезок времени (сутки, месяц, год и т.д.). Этим определяется, например, нагрев и охлаждение материалов строительных конструкций, увлажнение и высушивание, замораживание и оттаивание и т.д. Годовая амплитуда средних месячных температур воздуха наиболее жаркого и наиболее холодного месяцев характеризует степень континентальности климата, что, в свою очередь, диктует требования к генеральным планам застройки города, объемно-планировочным решениям зданий, выбору конструкций ограждений зданий.

Повторяемости. Этот показатель определяет частоту наблюдения величины климатического фактора в данной местности. Например, повторяемость ветра больше определенной величины за определенное число лет (для расчета ветровых нагрузок) или повторяемость ветра по румбам (для оценки господствующих ветров); повторяемость отрицательных температур воздуха ниже заданной величины (для теплотехнических расчетов ограждений зданий) и т.д. В климатологии понятия «повторяемость» и «вероятность» нередко отождествляют и используют эту характеристику для вероятностного прогноза.

Непрерывная продолжительность действия климатического фактора является важной характеристикой климата. Непрерывная продолжительность дождей предопределяет степень увлажнения конструкций, то же – интенсивных дождей – диктует требования к техническим решениям ливневого водоотвода с территории города и водоотвода с кровли здания. Непрерывная продолжительность отрицательных температур воздуха ниже определенной величины диктует требования к массивности конструкции ограждений зданий.

Рассмотренные выше климатические факторы и их характеристики носят общий характер, они не привязаны к потребностям архитектурно-строительной отрасли. В связи с чем необходим анализ основных климатических факторов с точки зрения их воздействия на здания и учета при проектировании.

1.4. Солнечная радиация

Солнечная радиация представляет собой поток электромагнитного излучения различных длин волн. На актинометрических станциях наблюдения за солнечной радиацией проводят в диапазоне длин волн от 100 до 4000 нм, на этот диапазон приходится 99% всей энергии солнечного спектра. Плотность потока солнечной радиации (в некоторых источниках – интенсивность или напряженность) на верхней границе атмосферы называют солнечной постоянной (S_0). Этот поток для средних широт (38 – 64° с.ш.) приблизительно равен 1200 Вт/м^2 ($1,8 \text{ кал/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})}$)*).

При прохождении через атмосферу часть энергии солнечных лучей поглощается, а часть рассеивается, и к поверхности земли солнечная радиация приходит в виде прямой (S), рассеянной (D) и суммарной (Q). **Прямая** радиация – это часть энергии от видимого диска солнца, **рассеянная** – это часть энергии от небосвода без учета прямых солнечных лучей, **суммарная** – представляет собой сумму прямой и рассеянной радиации.

Графическое представление о приходе к поверхности земли прямой, рассеянной и суммарной радиации приведено на рис. 1.3.

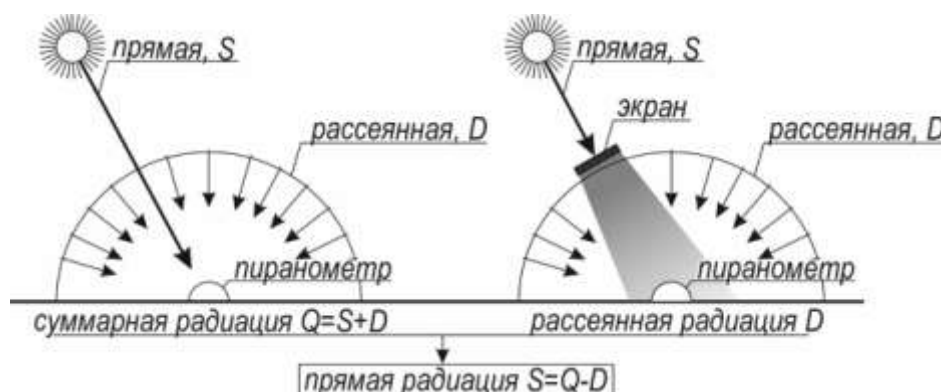


Рис. 1.3. Схема прихода к поверхности земли суммарной Q и рассеянной D радиации, расчет прямой радиации S .

*) Для сравнения приводим данные в старой системе размерностей, поскольку в справочниках и научной литературе ранних лет издания информация о солнечной радиации приводится в старой системе размерностей.

На метеорологических и актинометрических станциях суммарную и рассеянную радиацию определяют на горизонтальной поверхности, Q_{Γ} и D_{Γ} , а прямую – на поверхности, нормальной к солнечному лучу $S_{\perp}$. Наблюдения проводятся в каждый час светового дня при реальных условиях облачности и при безоблачном небе и усредняются по месяцам в виде часовой интенсивности в $Вт/м^2$ или суммы тепла за тот же час в $Дж/м^2$. Эта база данных, размещенная в климатических справочниках, является основой расчета прихода солнечной радиации к ограждающим конструкциям.

Ограждающие конструкции зданий могут иметь различную ориентацию и различный уклон к горизонту, поэтому расчет прямой и рассеянной радиации ведут отдельно по каждому часу облучения.

Интенсивность прямой солнечной радиации на поверхности любой ориентации ($S_{л.о.}$) можно определить по формуле:

$$S_{л.о.} = S_{\perp} \cdot \cos \theta, \quad (1.1)$$

где θ – угол между направлением солнечного луча и нормалью к облучаемой поверхности.

Значение $\cos \theta$ зависит от высоты солнца в данный час суток (h_o) ориентации облучаемой поверхности, широты местности, времени года и определяется по формулам сферической тригонометрии.

Интенсивность рассеянной радиации на ограждающих конструкциях любых ориентаций $D_{л.о.}$ определяется долей рассеянной радиации на горизонтальной поверхности D_{Γ} через коэффициент k , который представляет собой долю небесной полусферы, «видимую» с облучаемой поверхности. Например, вертикальная поверхность «видит» половину небесной полусферы, поэтому $k=0,5$.

$$D_{л.о.} = k \cdot D_{\Gamma}. \quad (1.2)$$

Интенсивность суммарной солнечной радиации определяется суммой интенсивностей прямой $S_{л.о.}$ и рассеянной $D_{л.о.}$ радиаций.

$$Q_{л.о.} = S_{л.о.} + D_{л.о.} \cdot \quad (1.3)$$

Интенсивность суммарной солнечной радиации представляет собой плотность теплового потока и определяется количеством тепла, которое приходит к единице площади облучаемой поверхности в единицу времени, ватт на квадратный метр, $Вт/м^2$ или джоуль на квадратный метр, $Дж/м^2$ ($Дж = Вт \cdot с$, $Вт = Дж/с$).

Если величину плотности потока умножить на продолжительность облучения, то получим количество тепла (или дозу тепла), которое поступает на облучаемую поверхность за время облучения $Дж/м^2$ за час, сутки, месяц, год. Следует отметить, что часовая интенсивность суммарной солнечной радиации в $Вт/м^2$ энергетически равна количеству тепла, пришедшему к облучаемой поверхности за этот час в $Дж/м^2$, только записана в разных размерностях.

На рис. 1.4 приведено изменение интенсивности солнечной радиации (теплого потока) на фасадах зданий различных ориентаций в течение светового дня.

Можно видеть, что облучение фасадов зависит от их ориентации и времени суток. На рисунке 1.4 выделена интенсивность солнечной радиации на фасадах восточной ориентации (В) в 5 и 6 часов утра (соответственно, 480 Вт/м² и 580 Вт/м². Средняя интенсивность облучения с 5 до 6 часов составляет $(480+580)/2 = 530$ Вт/м². Эта часовая интенсивность облучения в Вт энергетически равна количеству тепла, которое получит восточный фасад с 5 до 6 часов утра, если эту энергию выразить в Дж (с учетом зависимости Дж=Вт*с):

$$530 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{час} = \frac{530 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}}{1 \text{ м}^2} = 1908000 \text{ Дж/м}^2 \text{ или } 1,908 \text{ МДж/м}^2.$$

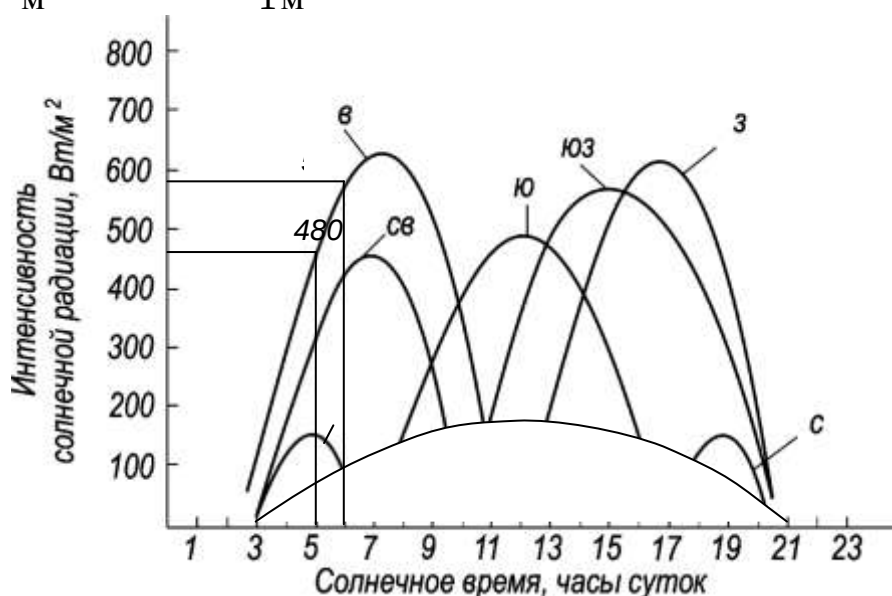


Рис. 1.4. Прямая и рассеянная (D) солнечная радиация на стенах зданий различной ориентации в июле, 56° с.ш.

Тепловое воздействие солнечной радиации на здания может быть положительным, если объект проектирования расположен в северных широтах, или отрицательным, если объект проектирования расположен в южных широтах, и возникает проблема защиты помещений от перегрева.

При проектировании зданий, наряду с тепловым воздействием солнечной радиации, учета требуют отдельные участки спектра солнечного облучения. Известно, что в полном спектре солнечного излучения (100–4000 нм) существует три характерных диапазона, которые воздействуют на объект проектирования по-разному, поэтому изучаются самостоятельно и учитываются в соответствующих нормативных документах.

Это **ультрафиолетовое излучение (УФ)**, которое расположено в диапазоне длин волн от 100 до 400 нм, а энергия этого диапазона

составляет около 4% всей энергии полного спектра. **Видимый свет (ВС)**, (400–780 нм) с энергией около 54%, **инфракрасное излучение (ИК)**, (780–4000 нм) с энергией около 42%.

Ультрафиолетовая радиация(100–400 нм) в силу высокой энергии коротковолнового спектра уничтожает болезнетворные бактерии и микроорганизмы, повышает устойчивость к заболеваниям и общий тонус. С этим участком спектра связан уровень обеззараживания помещений и территорий при инсоляции.

Нормативные методы расчета инсоляции позволяют оценить только продолжительность облучения, они не учитывают потерю энергии УФ радиации при ее прохождении через остекление, в то время как оконные стекла имеют разную степень торможения УФ радиации, следовательно, от типа стекла будет зависеть уровень обеззараживания помещений. Этот факт указывает на некорректность действующих норм по инсоляции.

Видимый свет (400–780 нм) определяет световой климат планеты и естественное освещение территорий и помещений.

Освещенность какой-либо поверхности естественным светом представляет собой плотность светового потока, отнесенную к единице поверхности: люмен/м². Это отношение получило наименование люкс (лк). Величина освещенности пропорциональна плотности потока в указанном участке спектра солнечной радиации: прямой, рассеянной и суммарной.

Для расчетов естественной освещенности в помещениях принимается нижний предел наружной освещенности, равный 5 клк, называемый критической или сумеречной освещенностью. Это тот предел наружной освещенности, при котором включают вечером или выключают утром искусственный свет в помещениях.

Инфракрасное излучение(780–4000 нм) представляет собой тепловую часть солнечной энергии и характеризуется тепловым потоком и количеством тепла за определенный промежуток времени. В практических расчетах теплопоступлений от солнечной радиации используют не параметры диапазона инфракрасного излучения, а весь спектр солнечной радиации через прямую S, рассеянную D и суммарную радиацию Q.

Солнечная радиация приводит к увеличению температуры облучаемых поверхностей. Эта температура зависит от интенсивности облучения и степени поглощения солнечной радиации материалами поверхностных слоев. Не учет этого явления приводит к негативным последствиям при эксплуатации зданий. Известны случаи плавления битумных мастик на совмещенных кровлях, когда расплавленная мастика проникает через стыки панелей покрытий в квартиры верхних этажей. Известны случаи сползания рулонных ковров с кровли, когда температура нагрева рулонного ковра из рубероида оказывается выше температуры плавления мастики. Известны случаи размягчения асфальтовых покрытий городских автомагистралей и образование колеи.

Для оценки нагрева материалов и конструкций под действием солнечной радиации обычно используют формулу Шкловера А.М.:

$$t_{\text{пов}} = t_H + \frac{\rho \cdot Q}{\alpha_H}, \quad (1.4)$$

где $t_{\text{пов}}$ – температура облучаемой поверхности, °С;

t_H – температура наружного воздуха, °С;

ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом (табл. 1.3);

Q – интенсивность солнечной радиации, приходящей к данной поверхности, Вт/м²;

α_H – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждений в летнее время, Вт/(м²·°С);

$$(\alpha_H = 1,16 \cdot (5 + 10\sqrt{v})), \quad (1.5)$$

где v – скорость ветра, м/с.

Кажущаяся простота формулы Шкловера А.М. имеет свои особенности. Можно видеть, что в расчетах участвуют три климатических фактора: t_H – температура наружного воздуха, Q – интенсивность солнечной радиации и v – скорость ветра. Указанные параметры должны быть отсчитаны в **один момент времени**, что и определяет точность расчетов. При этом следует иметь в виду, что параметры Q и v имеют **векторную характеристику по отношению к исследуемой поверхности**.

Пример 1.1. Определить температуру асфальтного покрытия на городской площади Казани в 15⁰⁰ часов в июле месяце.

В суточном цикле температура воздуха достигает максимальных значений в 15⁰⁰, поэтому принимаем среднюю максимальную температуру для июля +25,1° С (см. табл.1.4). Для асфальтового покрытия $\rho = 0,9$ (табл. 1.3). Тепловой поток на горизонтальную поверхность для 56°С с.ш. в июле составит 817 Вт/м² (табл. приложения в СП 23-101-2004). Скорость ветра для июля примем 3,6 м/с.

Все значения подставляем в формулу (1.4):

$$t_{\text{нов}} = t_H + \frac{\rho Q}{\alpha_H} = 25,1 + \frac{0,9 \cdot 817}{1,16(5 + 10\sqrt{3,6})} = 25,1 + 26,4 = 51,5^\circ\text{С}.$$

Таблица 1.3

**Коэффициенты поглощения солнечной радиации (ρ)
различными материалами**

Наименование материала	ρ	Наименование материала	ρ
• Алюминий	0,5	• Плитка облицовочная стеклянная синяя	0,6
• Асбестоцементные листы	0,65	• Плитка облицовочная белая или палевая	0,45
• Асфальтобетон	0,9	• Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
• Бетоны	0,7	• Сталь листовая окрашенная:	
• Дерево неокрашенное	0,6	- белой краской	0,45
• Защитный слой рулонной кровли из светлого гравия	0,65	- темно-красной	0,8
• Кирпич глиняный	0,7	- зеленой краской	0,6
• Кирпич силикатный	0,6	• Сталь кровельная оцинкованная	0,65
• Облицовка белым природным камнем	0,45	• Стекло облицовочное	0,7
• Окраска силикатная темно-серая	0,7	• Штукатурка:	
• Окраска известковая белая	0,3	- известковая темно- серая или терракотовая	0,7
• Плитка облицовочная керамическая	0,8	- цементная светло- голубая	0,3
		- цементная темно- зеленая	0,6
		- цементная кремовая	0,4

1.5. Температура воздуха

Температура наружного воздуха является основным климатическим фактором, который определяет требования к теплозащите зданий. В таблице 1.4 приведен перечень температур наружного воздуха по данным СП 131.13330 для Казани. В последнем столбце таблицы 1.4 поименованы разделы проектной документации, где эти температуры используются как **расчетные параметры наружного воздуха**.

В кажущейся хаотичности изменения температур воздуха во времени наблюдается несколько устойчивых циклов.

Суточный цикл изменения температур продолжительностью 24 часа имеет две характерные точки: минимальная температура в течение суток наблюдается в 3–4 часа утра, а максимальная – в 15 часов после полудня. Именно эта температура (средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца в 15 часов) принята для расчета перегрева поверхностей, облучаемых солнечной радиацией.

Величина суточных амплитуд температур воздуха может достигать десятки градусов. В качестве примера в таблице 1.5 приведены среднемесячные температуры наружного воздуха для Казани и их суточные амплитуды. Из таблицы 1.5 видно, что отклонения суточных

температур от среднемесячных могут достигать 10-20°C или сотни процентов.

Таблица 1.4

**Температурный ряд наружного воздуха для Казани по данным
СП 131.13330.2012* и величина расчетных температур для различных
задач проектирования теплозащиты зданий**

Наименования температур наружного воздуха по СНиП 23-01-99*	Величина температуры для Казани, °С.	Наименование разделов проектов теплозащиты зданий
• Абсолютный максимум	+39	-
• Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца	+25,1	Расчет температур ограждающих конструкций при их облучении солнечной радиацией
• Средняя температура наиболее жаркого месяца (июль)	+19,7	Расчет теплоустойчивости ограждающих конструкций
• Среднегодовая температура	+4,2	-
• Средние температуры периодов со средней суточной температурой наружного воздуха ниже 10°C 8°C 0°C	-3,8°C -4,8°C -8,1°C	Расчет требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций через градусо-сутки отопительного периода. Расчетные температуры отопительного периода
• Средняя температура наиболее холодного месяца (январь)	-11,6	Используется для климатического районирования для строительства
• Температура воздуха наиболее холодной пятидневки: - обеспеченностью 0,92, - обеспеченностью 0,98	-31 -33	Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций
• Температура наиболее холодных суток: - обеспеченностью 0,92, - обеспеченностью 0,98	-33 -41	Расчетные температуры наружного воздуха для холодного периода года
• Абсолютный минимум	-47	-

Годовой цикл изменчивости температур для какого-либо географического пункта позволяет оценить наиболее характерные температуры: среднегодовую; среднемесячные, с выделением среднемесячных температур наиболее холодного (январь) и наиболее жаркого (июль) месяцев; годовые экстремумы, рис. 1.5.

По разности температур самого теплого и самого холодного месяцев судят о континентальности климата местности. Чем больше эта разность, тем более континентальный климат. Степень континентальности климата

возрастает по мере удаления географического места от побережья морей и океанов вглубь континента.

Среднегодовое значение температуры воздуха указывает на степень «холодности» климата местности. Анализ среднегодовых температур различных городов показывает, что эти температуры понижаются по линии с юго-запада на северо-восток, от Ростова на Дону (+8,9°C), через Саратов (+5,3°C), Казань (+4,2°C), Ижевск (+1,6°C), Пермь (0,0°C), Томск (–0,5°C) и Сургут (–3,1°C).

Таблица 1.5

**Среднемесячные температуры наружного воздуха и их амплитуды
для Казани**

	Месяцы года											
	Я	Ф	М	А	М	И	И	А	С	О	Н	Д
Среднемесячные температуры, °C	-11,6	-10,9	-4,3	5,3	13,2	17,6	19,7	17,4	11,5	4,2	-3,2	-8,9
Средние суточные амплитуды, °C	6,5	7,6	8	8,1	10,7	11,9	11,1	10,8	9,2	6,1	5,2	6,2
Отклонение от средних температур, %	48	58	123	219	86	70	58	62	82	179	137	60
Максимальные суточные амплитуды, °C	20,4	19,7	19,5	18,7	20,7	21,9	19,1	19,8	21,3	17,3	22,3	26,7
Отклонение от средних температур, %	151	150	300	505	167	129	100	113	190	508	587	257

Выбор расчетных температур наружного воздуха при оценке тепловой защиты зданий связан с определенными трудностями. В таблице 1.4 представлены четыре значения расчетных температур (для Казани – от минус 31°C до минус 41°C).

Выбор для теплотехнического расчета минимальной температуры (–41°C) может привести к необоснованному перерасходу теплоизоляционных материалов и увеличению разовых затрат по строительству здания, выбор температуры (–31°C) может привести к нарушению санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях и повышению расходов на отопление зданий в эксплуатации.

В работах Фокина К.Ф. показано, что расчетная температура зависит как от температуры воздуха, так и от свойств ограждающих конструкций. Определяющим свойством ограждений в рассматриваемом случае является их массивность. Массивной конструкции требуется больший интервал времени для охлаждения, чем легкой.

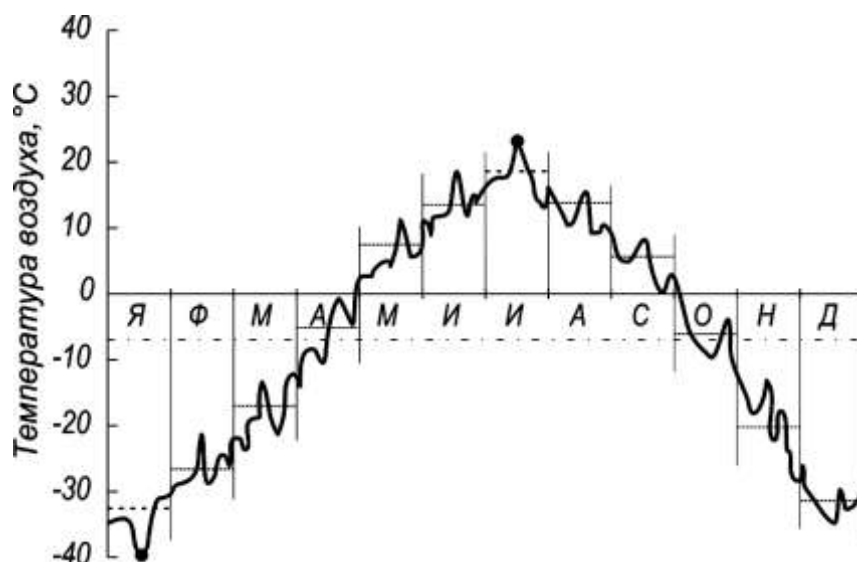


Рис. 1.5. Годовой ход температуры воздуха условного географического пункта:
 — температурная кривая, ---- среднемесячные значения температур,
 - - - средние температуры самого холодного и самого жаркого месяцев,
 - · - среднегодовая температура, • годовой минимум и максимум температур

Поэтому для массивных конструкций предложено в качестве расчетной температуры принять среднюю температуру наиболее холодной пятидневки, для легких – наиболее холодных суток.

Массивность ограждающей конструкции определяется величиной тепловой инерции (D), которая зависит как от величины сопротивления теплопередаче ограждения (R), так и от коэффициента теплоусвоения материала ограждения (S): $D = R \cdot S$.

Таблица 1.6

Расчетные температуры наружного воздуха для холодного периода года

Величина тепловой инерции ограждающей конструкции $D=R \cdot S$	Расчетная температура	Пример для г.Казани, °C
до 1,5	Средняя температура наиболее холодных суток, обеспеченностью 0,98	-41
от 1,5 до 4,0	Средняя температура наиболее холодных суток, обеспеченностью 0,92	-33
от 4,0 до 7,0	Средняя температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,98	-33
свыше 7,0	Средняя температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92	-31

В итоге выбор расчетных температур для холодного периода года (из четырех значений по таблице 1.4) определяется величиной тепловой инерции ограждающей конструкции, табл. 1.6.

Расчет теплозащиты начинается с самой высокой расчетной температуры (для Казани это -31°C) из экономических предпосылок. После проектирования и расчета ограждения при этой температуре определяется его тепловая инерция. Если окажется, что величина D будет равна 7,0 или больше, то расчет следует считать законченным. Если окажется, что величина D меньше 7,0, то выбирают другое значение расчетной температуры в соответствии с величиной D , и расчет повторяют.

1.6. Влажность воздуха

Атмосферный воздух состоит из смеси газов и водяных паров («атмос» – греч. – пар). Если содержание основных газов азота и кислорода составляет десятки процентов (азот – 78%, кислород – 21%), то содержание водяных паров составляет доли и единицы процентов (от 0,2 % в полярных широтах до 2,6% у экватора). Однако малое содержание водяных паров в атмосфере во многом определяет погоду, климат и влажностный режим территорий. В соответствии с распределением влаги в воздухе, на земле сложились устойчивые зоны влажных, умеренных и засушливых районов.

Территория России в соответствии с «Картой зон влажности» разделена на три зоны: влажную, нормальную и сухую (рис. 1.6)

Следует отметить, что вблизи морей и океанов влажность воздуха повышенная, при продвижении вглубь континента влажность воздуха убывает.

Влажность воздуха выражается в абсолютных и относительных единицах.

Абсолютная влажность воздуха определяется количеством граммов влаги, содержащейся в 1 м^3 воздуха, г/м^3 (а) или парциальным давлением водяных паров в паскалях, Па (е) (т.е. давлением водяного пара, находящегося в смеси с другими газами). Парциальное давление водяного пара часто называют упругостью водяного пара.

Относительная влажность воздуха (φ) представляет собой отношение действительного влагосодержания в г/м^3 (а) или действительной упругости водяного пара в Па (е) к максимальному влагосодержанию в г/м^3 (А) или максимальной упругости водяного пара в Па (Е) **при данной температуре**, выраженной в процентах:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100, \%; \quad \varphi = \frac{a}{A} \cdot 100, \%. \quad (1.6)$$

Из определения относительной влажности воздуха следует, что значения (А) и (Е) **относятся к конкретной температуре воздуха**. При увеличении температуры воздуха (при неизменном барометрическом давлении) возрастает способность воздуха к аккумулярованию влаги, и увеличивается максимальное содержание влаги в воздухе А (г/м^3) и максимальная упругость водяного пара (или предел насыщения) Е (Па).

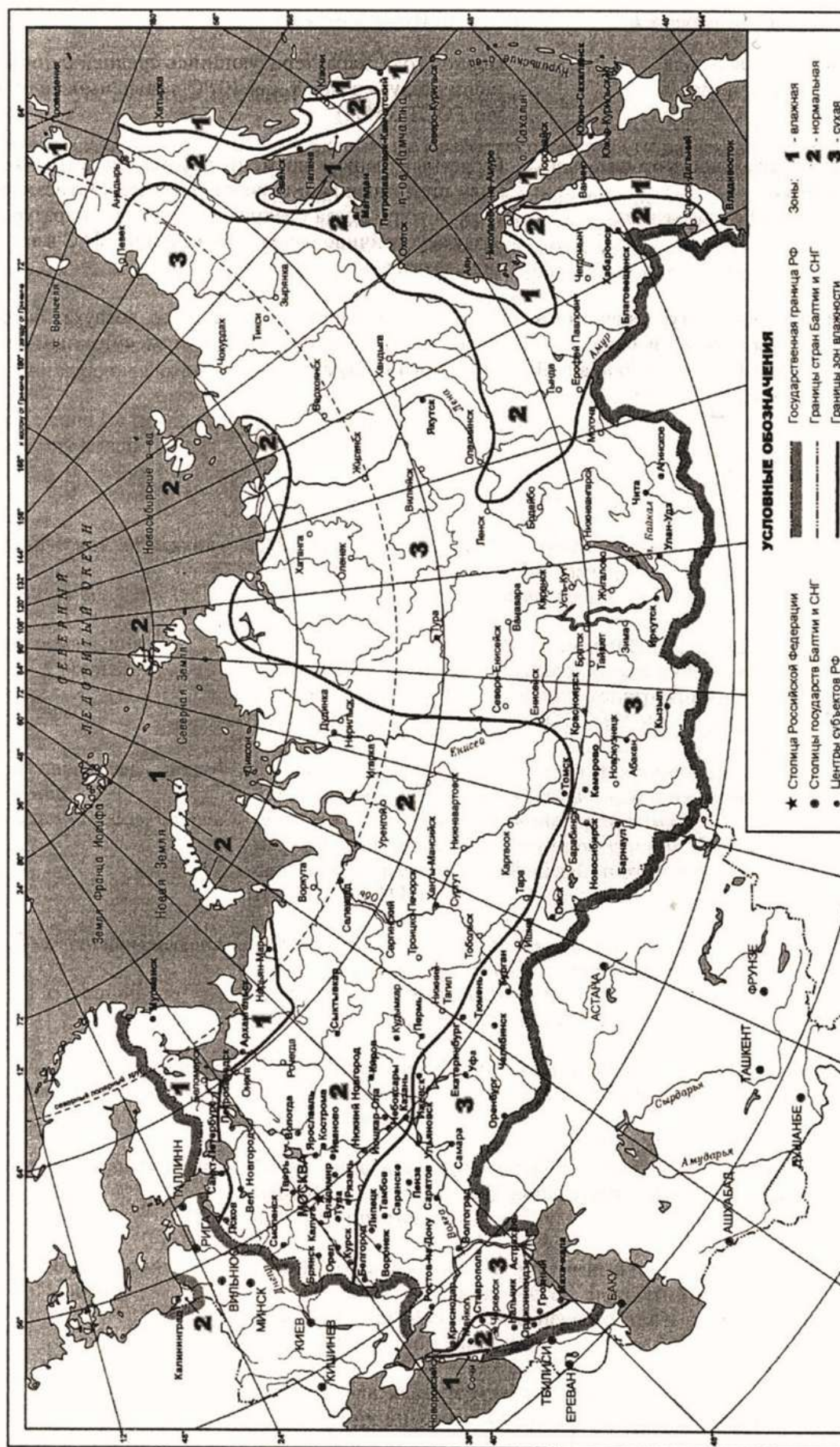


Рис. 1.6. Карта зон влажности (СП 50.13330.2012)

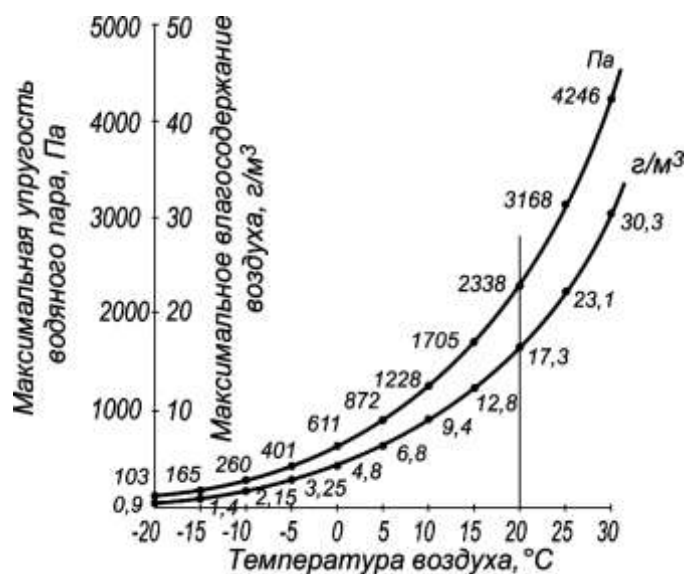


Рис. 1.7. Зависимость максимального влагосодержания (г/м^3) и максимальной уругости водяного пара (Па) от температуры воздуха

На рис. 1.7 представлена зависимость максимального влагосодержания A (г/м^3) и максимальной уругости водяного пара E (Па) от температуры.

Можно видеть, что в интервале температур воздуха от -20°C до $+30^\circ\text{C}$ максимальное влагосодержание и максимальная уругость водяного пара возрастают в десятки раз, то есть в такое же количество раз возрастает способность воздуха аккумулировать влагу. Так, например, при температуре минус 20°C максимальное влагосодержание равно $0,9 \text{ г/м}^3$, а при температуре воздуха $+20^\circ\text{C}$ максимальное количество воды, которое сможет аккумулировать 1 м^3 воздуха, составит $17,3 \text{ г}$, то есть в 19 раз больше.

При высокой влажности воздуха затрудняется отдача влаги с поверхности кожи человека и нарушается тепловой баланс. При низкой – происходит интенсивное испарение влаги с кожи человека, возникают неприятные ощущения сухости во рту и горле. Влажность воздуха по-разному влияет на теплоощущения человека при различных температурах. Известно, что в сухом воздухе легче переносятся низкие температуры, чем во влажном (сибирские морозы при -40°C легче переносятся, чем морозы средней полосы при -25°C).

В конкретном географическом пункте **относительная влажность атмосферного воздуха** изменяется в течение года по определенному закону, достигая максимальных значений в зимние месяцы, снижаясь до минимальных значений летом. При этом следует отметить, что относительная влажность воздуха имеет высокую амплитуду суточных

колебаний. Так, для Казани средняя амплитуда суточных колебаний относительной влажности воздуха наиболее жаркого месяца (июля) составляет 29%.

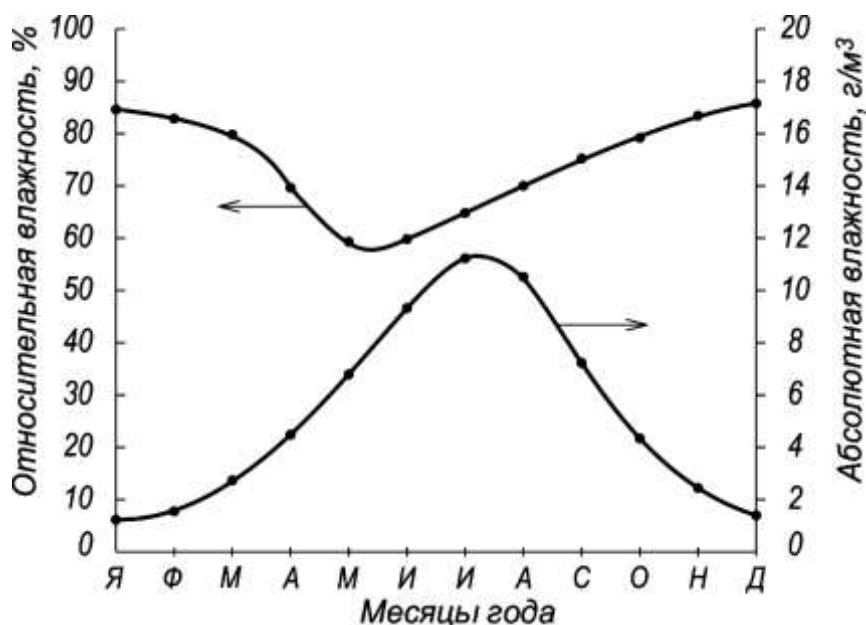


Рис.1.8. Относительная (%) и абсолютная (г/м³) влажность наружного воздуха в Казани

Абсолютная влажность атмосферного воздуха в течение года также изменяется, однако закономерности изменения абсолютной влажности противоположны изменению относительной влажности. На рис. 1.8 приведены среднемесячные значения относительной и абсолютной влажности воздуха в Казани.

Из рис. 1.8 видно, что в зимние месяцы относительная влажность воздуха может достигать 85%, в то время как абсолютное количество влаги в воздухе небольшое – 1,5–2,0 г/м³. То есть, **в зимние месяцы наружный воздух – сухой**. Этим можно объяснить тот факт, что в зимние месяцы в квартирах при правильном воздухообмене относительная влажность воздуха находится в пределах 25 – 35 %.

Пример 1.2. При $t_H = -20^\circ\text{C}$ в воздухе содержится 0,9 г/м³ влаги. В помещении при $t_B = +20^\circ\text{C}$ и $\varphi = 50\%$ в воздухе содержится 8,65 г/м³ влаги.

При поступлении 1 м³ наружного воздуха с влажностью 0,9 г/м³ он смешивается с внутренним воздухом с влажностью 8,65 г/м³. Получается 2 м³ воздуха с влажностью $0,9 + 8,65 = 9,55$ г/м³, что в пересчете на 1 м³ дает: $9,55 : 2 = 4,77$ г/м³.

Максимальное значение абсолютной влажности при 20°C составляет 17,3 г/м³. Таким образом, относительная влажность «смеси» внутреннего и наружного воздуха составит:

$$\varphi = (4,77 / 17,3) \cdot 100 = 27,5 \%$$

Если воздухообмен в жилье не соответствует санитарно-гигиеническим нормам по объемам приточного и удаляемого воздуха, то относительная влажность воздуха в квартирах будет нарастать за счет влаги, поступающей в воздух квартиры от бытовых процессов (приготовление пищи, стирка и т.п.).

При колебаниях относительной влажности воздуха и его температуры возникают ситуации полного насыщения воздуха водяным паром и $\varphi = 100\%$, когда $E = e$. Температуру, при которой наступает состояние полного влагонасыщения, называют **температурой точки росы**. В природной среде это явление известно утренними росами, туманом.

Рассмотрим пример, представленный на рисунке 1.9.

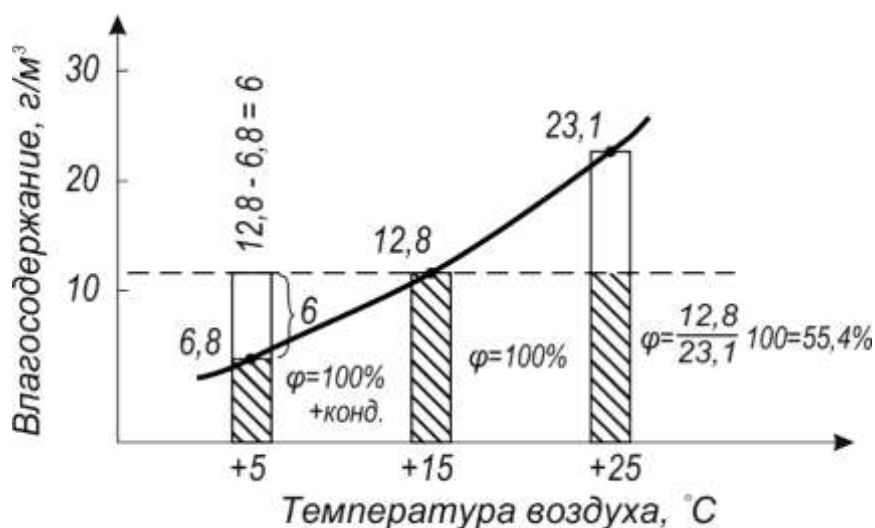


Рис. 1.9. Зависимость относительной влажности воздуха и конденсации водяных паров от температуры

Допустим, что в воздухе содержится $12,8 \text{ г/м}^3$ влаги, т.е. абсолютная влажность составит $12,8 \text{ г/м}^3$. При температуре $+25^\circ\text{C}$ при данном количестве влаги в воздухе, полного насыщения не происходит. Относительная влажность воздуха составит: $\varphi = (12,8 : 23,1) \cdot 100 = 55,4\%$. Предположим, что в силу каких-то причин температура воздуха в этом помещении понизилась до $+15^\circ\text{C}$. При температуре $+15^\circ\text{C}$ абсолютная влажность воздуха равна максимальной при данной температуре $12,8 = 12,8 \text{ г/м}^3$, и влажность будет равна 100% . Начинается конденсация влаги из воздуха.

При дальнейшем понижении температуры воздуха до $+5^\circ\text{C}$ максимальное значение абсолютной влажности составит $6,8 \text{ г/м}^3$, а в воздухе было $12,8 \text{ г/м}^3$, следовательно, часть влаги $12,8 - 6,8 = 6 \text{ г/м}^3$ выпадет из воздуха в виде конденсата.

Подобные ситуации, когда воздух одного влагосодержания соприкасается с поверхностями, имеющими различную температуру, встречается достаточно часто в процессе эксплуатации зданий.

Это происходит потому, что внутренние поверхности ограждающих конструкций имеют неравномерные температурные поля из-за наличия в ограждениях теплопроводных включений и различных «мостиков холода».

В плоскости стены (по глади) температура внутренних поверхностей будет высокой, в углах, стыках панелей, оконных откосах и т.п. эта температура оказывается значительно ниже и может достигать «точки росы». Зависимость температуры точки росы от температуры внутреннего воздуха и его относительной влажности представлена в таблице 1.7. Жирным курсивом выделены значения температуры точки росы для оптимальных температурно-влажностных условий в помещениях жилых и гражданских зданий. Можно видеть, что с ростом относительной влажности воздуха в помещении растет и температура точки росы.

Таблица 1.7

Зависимость температуры точки росы в помещении от температуры и относительной влажности воздуха

Температура внутреннего воздуха, °С	Относительная влажность воздуха в помещении, %					
	40	50	60	70	80	90
-5	-15,3	-12,9	-10,8	-9,1	-7,6	-6,2
0	-10,6	-8,1	-6,6	-4,3	-2,7	-1,3
5	-6,7	-4,0	-1,9	-0,01	1,8	3,5
10	-2,6	0,1	2,6	4,8	6,7	8,4
15	1,5	4,7	7,3	9,6	11,6	13,4
18	4,2	7,4	10,1	12,5	14,5	16,3
20	6,0	9,3	12,0	14,4	16,4	18,3
22	7,8	11,1	13,9	16,3	18,4	20,3
25	10,5	13,9	16,7	19,2	21,3	23,2
30	14,9	18,4	21,4	23,9	26,2	28,2
35	19,4	23,0	26,1	28,7	31,0	33,1

1.7. Ветровой режим

Микроклимат и комфортные условия городских территорий в значительной степени зависят от ветрового режима. Еще Гиппократ предсказывал виды заболеваний у горожан в зависимости от преобладающих в городе ветров. Витрувий предостерегал от ветров в переулках города: холодные ветры неприятны, знойные – нездоровы, влажные – вредны. Палладио предостерегал от строительства в долинах: ветра там яростны вследствие узких расселин, через которые они вырываются, а без ветра воздух становится тяжелым и нездоровым. Эти предостережения архитекторов эпохи Возрождения не были учтены при проектировании городов Кузбасса (Кемерово, Кузнецк и др.). В Кузбассе в

зимний период наблюдается большое количество штилей, а рельеф местности характеризуется замкнутыми котловинами и плохо проветриваемыми долинами. Падение скорости ветра в котловинах и большое количество штилей привели к сильнейшему загрязнению жилых районов выбросами производства, хотя размещение предприятий и селитебной зоны было осуществлено по розе ветров.

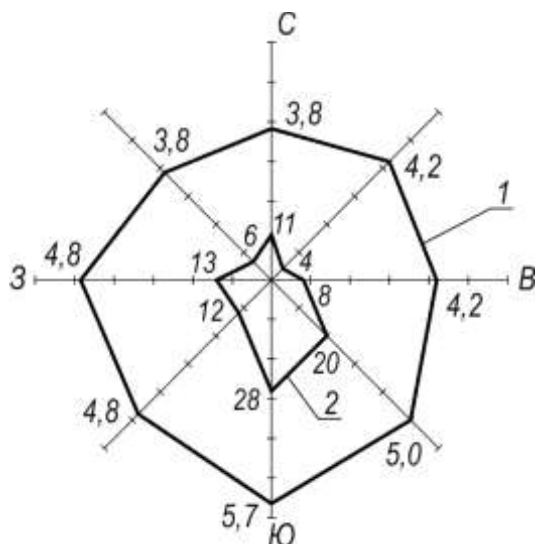


Рис. 1.10. Роза ветров для Казани (январь); 1 – скорость ветра в м/с, 2 – повторяемость в %

Таблица 1.8

Данные по скорости ветра и его повторяемости для Казани за январь и июль

Месяц	Показатели	Румбы							
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
январь	Повторяемость, %	11	4	6	20	28	12	13	6
	Скорость ветра, м/с	3,8	4,2	4,2	5,0	5,7	4,8	4,8	3,8
июль	Повторяемость, %	16	13	11	10	10	8	14	18
	Скорость ветра, м/с	3,8	3,6	3,9	3,3	3,3	3,2	4	4,2

Первое представление о ветре можно получить, анализируя шкалу Бофорта, табл.1.9, баллы которой определяются визуально по ряду косвенных признаков.

Данные о ветровом режиме какой-либо местности представляют в табличной форме или графически, в виде так называемой «розы ветров» (табл. 1.8, рис. 1.10).

Таблица 1.9

Характеристика ветровых воздействий на окружающую среду и на человека

Баллы по шкале Бофорта	Характеристика ветра	Скорость ветра, м/с	Описание ветровых воздействий	
			на окружающую среду	на человека
0	Штиль	< 0,4	Дым из труб поднимается отвесно	Ветер не ощущается
1	Тихий	0,4 – 1,5	Дым из труб поднимается не совсем отвесно	Ветер не ощущается
2	Легкий	1,6 – 3,3	Шелестят листья	Движение воздуха ощущается лицом
3	Слабый	3,4 – 5,4	Развеваются легкие флаги. Колеблются листья и мелкие сучья	Ветер треплет волосы, развевает одежду
4	Умеренный	5,5 – 7,9	Колеблются тонкие ветки деревьев. Ветер поднимает пыль и клочки бумаги	Ветер приводит в беспорядок прическу
5	Свежий	8,0 – 10,7	Колеблются большие сучья. На воде появляются волны. Поземка переходит в метель	Напор ветра ощущается всем телом
6	Сильный	10,8 – 13,8	Колеблются большие ветки. Гудят телефонные провода. Ветер взметает снег выше головы (снежный буран)	Зонтики используются с трудом. Ветер сильно развевает волосы. Трудно сохранять устойчивость при ходьбе. Неприятный шум от ветра в ушах
7	Крепкий	13,9 – 17,1	Качаются стволы небольших деревьев. На море поднимаются пенящиеся волны	Возникают неудобства при ходьбе
8	Очень крепкий	17,2 – 20,7	Ломаются ветки деревьев	Очень трудно идти против ветра и удерживать равновесие во время порывов ветра
9	Шторм	20,8 – 24,4	Небольшие разрушения. Срываются дымовые трубы и черепица.	Порывы ветра сбивают людей с ног

В зависимости от задач проектирования используют годовую, сезонную или месячную розу ветров. Важной характеристикой ветрового режима является изменчивость скорости ветра с высотой. В климатических справочниках приведены данные о скорости ветра, полученные на высоте 10 м над уровнем земли. На высотах меньше 10 м скорость ветра снижается, а с увеличением высоты – возрастает. На высоте тридцатипятиэтажного дома (~100 м) скорость ветра приблизительно удваивается, рис. 1.11.

Для оценки изменения скорости ветра с высотой обычно используют степенную зависимость:

$$v_H = v_{10} \left(\frac{H}{10} \right)^n, \quad (1.7)$$

где v_H – скорость ветра, м/с на высоте H , м,
 v_{10} – скорость ветра, м/с на высоте 10 м,
 n – коэффициент, зависящий от географического района и скорости v_{10} (изменяется от 0,1 до 0,65).

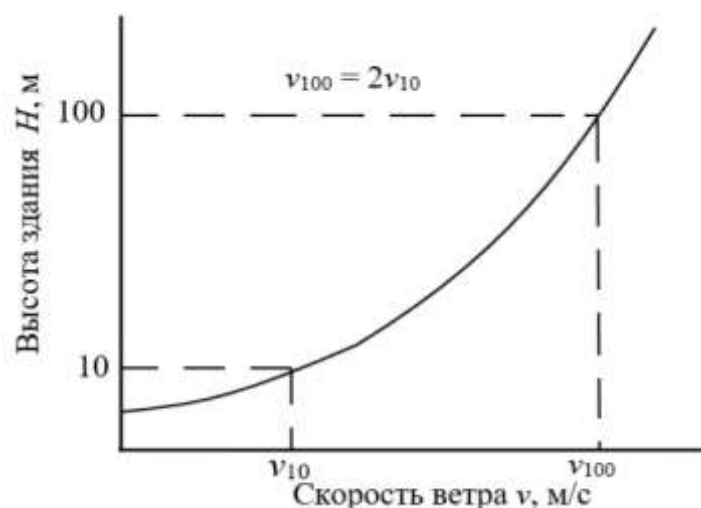


Рис. 1.11. Изменение скорости ветра с высотой

Наиболее приемлемыми для городских условий следует считать рекомендации СП «Нагрузки и воздействия» по изменению скорости ветра с высотой в зависимости от типа местности, табл. 1.10.

Таблица 1.10

Поправочный коэффициент k_v для расчетной скорости ветра

Высота, м	Коэффициент k_v для типов местности		
	А	В	С
≤5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55

В этой таблице принята следующая классификация типов местности:

А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра.

В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м.

С – городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

При этом следует иметь в виду, что типы местности могут быть различными для данного города или района в зависимости от преобладающего направления ветра. С учетом данных таблицы 1.10 изменение скорости ветра с высотой определится по формуле:

$$v_H = k_B \cdot v_{10} \cdot \quad (1.8)$$

Ветровой режим в архитектурно-строительном проектировании влияет на **формирование микроклимата в городской застройке**. В летний период воздействие ветра является благоприятным (ветер охлаждает), зимой – усиливает ощущение холода.

Воздействие ветра на теплоощущения человека следует рассматривать одновременно с температурой воздуха. Так, например, усиление ветра на 1–2 м/с эквивалентно понижению температуры на 2–3°C. Скорость ветра выше 5 м/с воспринимается человеком как дискомфортная.

Воздействие отрицательных температур и скорости ветра приведено на рис. 1.12, что требует учета при проектировании зданий и комплексов в условиях Севера, исключаящее или сводящее к минимуму переход между зданиями по открытому воздуху.

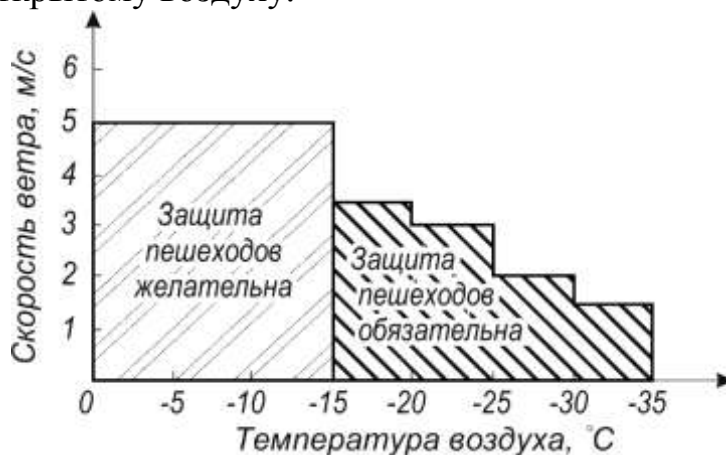


Рис. 1.12. Воздействие ветра и отрицательных температур на человека

В зимних условиях, при скорости ветра свыше 5 м/с, происходит сильное охлаждение зданий. Теплотери в зданиях за счет инфильтрации при действии ветра составляют 5% для ограждений, защищенных от ветра, и 10% – для ограждений, открытых ветрам. Фактически теплотери от ветра могут достигать 30%. При учете воздействия ветра на микроклимат застройки следует учитывать не только скорость, но и направление ветра и их изменчивость по сезонам.

Ветровая нагрузка на здания зависит от скорости ветра и аэродинамических характеристик зданий.

На рис. 1.13 показаны примеры обтекания здания воздушным потоком, который определяет ветровой напор на наветренной стороне и разрежение на заветренной стороне здания. Из рис. 1.13 можно видеть, что изменением геометрических параметров зданий (h/ℓ) или (H_0/ℓ) элементы

кровли испытывают давление ветра или разрежение. Так, например, при $h/\ell=1/8$ скат кровли подвержен разрежению, а при $h/\ell=1/2$ скат кровли испытывает давление. Это обстоятельство является важным при проектировании несущих конструкций кровли.

В общем случае давление ветра на здание (Р) определяется по формуле:

$$P = K \frac{\rho_n v_n^2}{2}, \quad (1.9)$$

где К – аэродинамический коэффициент;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³;

v_n – скорость ветра, невозмущенного ветрового потока, м/с.

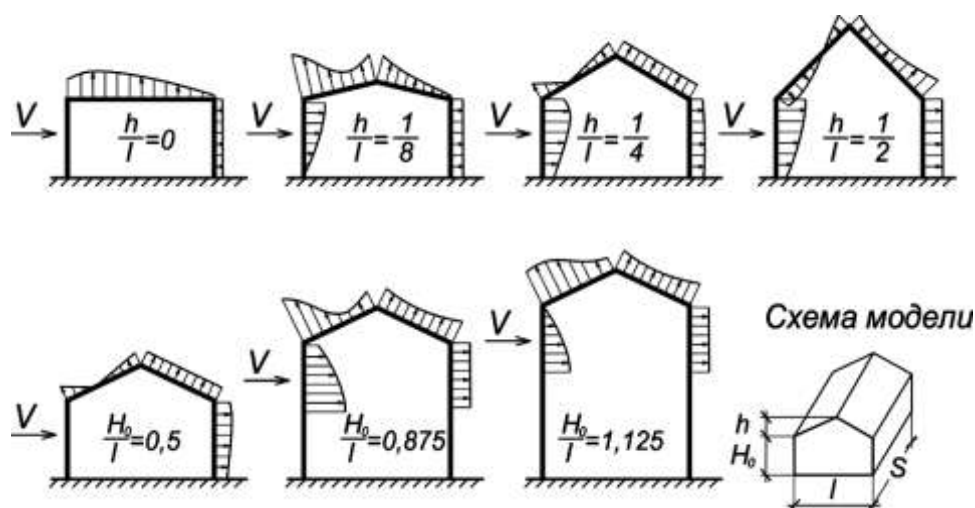


Рис. 1.13. Ветровой напор на здания при различных параметрах модели

Анализ эпюр ветрового давления (рис. 1.13) показывает, что наибольшее давление или разрежение приходится на карнизы и коньки зданий. В связи с этим важное значение приобретает проектирование конструкций углов, карнизов, коньков и парапетов зданий, крепление ограждающих элементов в этих местах, поскольку эти участки испытывают повышенное отрицательное давление ветра (аэродинамический коэффициент равен 2,0 (рис. 1.14)).

Невнимание к вопросам конструирования указанных элементов зданий может привести к серьезным авариям. Так, в зиму 1956/57 гг. в Норильске во время сильного ветра была сорвана крыша пятиэтажного здания вместе с частью стояков отопления.

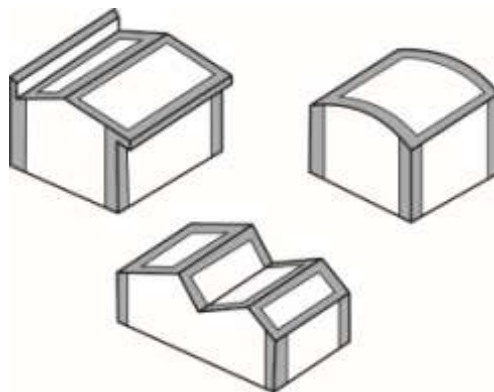


Рис. 1.14. Участки зданий с повышенным отрицательным давлением ветра по СНиП 2.01.07-85

1.8. Атмосферные осадки и снежный покров

К этой группе метеорологических явлений относятся дождь, снег, смешанные осадки, морось, снежная крупа, обильная роса и туман, гололедные явления.

Каждый из перечисленных видов осадков требует специального учета в строительстве. Однако подавляющее количество осадков выпадает в виде дождя и снега, в связи с чем более подробно рассмотрим эти виды осадков.

1.8.1. Дожди и их учет в проектировании

Количественные характеристики дождя измеряются двумя параметрами: количеством осадков и их интенсивностью. **Количество осадков** измеряется толщиной слоя воды в мм, который образуется на горизонтальной площадке, за период дождя (1 мм осадков соответствует 1 литру воды, распределенной на горизонтальной площади в 1 м²). Количество осадков, выпадающих в единицу времени, называют **интенсивностью осадков** с размерностью мм/мин, мм/с.

Наибольшее количество осадков в виде дождя выпадает вблизи морей и океанов, а наименьшее – в глубине континента. Так, среднегодовое количество осадков в Петропавловске-Камчатском составляет 1617 мм, в Калининграде – 856 мм, а в Якутске – 247 мм. Для сравнения: среднегодовое количество осадков составляет 562 мм.

В проектной практике количественные параметры дождя используют не в метеорологической размерности (мм и мм/с), а в технической - литры в секунду на гектар (л/с на 1 га). Для перевода одних единиц в другие используют формулу:

$$q = k \cdot i = 166,7 \cdot i, \text{ л/с на 1 га,} \quad (1.10)$$

где i – интенсивность осадков, мм/мин,

k – коэффициент, равный 166,7 л/с на га при дожде интенсивностью 1 мм/мин. ($k=0,001 \cdot 10000 \cdot 1000/60=166,7$ л/с на га).

Здесь 0,001 – высота слоя осадков, м;

10000 – площадь 1 га, выраженная в м²;

1000 – объем 1 м³, выраженный в литрах;

60 – число секунд в 1 мин).

Новая размерность (л/с на га) более пригодна для решения основных задач по учету осадков, а именно: проектирования ливневых стоков с городских территорий и водоотвода с кровель зданий. Решение этих задач связано с учетом экстремальных дождей, при которых возникает:

- переполнение системы ливневых стоков и подтопление отдельных городских территорий;
- экстремальный подъем уровня воды в реках и каналах, сопровождающийся подтоплением территорий или разрушением мостов;
- переполнение системы водоотвода с кровель зданий, что приводит к замачиванию фасадов, протечке кровель и даже их разрушению.

Перечисленные осложнения приводят к непредсказуемым последствиям и наносят большой экономический ущерб.

Известно множество случаев, когда невнимание к осадкам приводило к регулярному замачиванию, а, следовательно, к преждевременному износу несущих ограждающих конструкций. Здесь имели место как ошибки проектирования водоотвода с кровли, так и некачественное производство работ. Известен случай обрушения кровли одноэтажного гаража с внутренним водоотводом после нескольких часов интенсивного дождя. Сечение водоотводных труб не было рассчитано на интенсивный дождь, в результате чего за парапетом кровли скопились многие тонны воды. Этот перегруз и вызвал обрушение конструкций.

Экстремальные дожди проявляются с периодичностью в 1, 3, 5 или 10 лет. Эти периоды получили название **«периоды однократного превышения расчетной интенсивности дождя»**. Чем больше этот период, тем большее количество дождя выпадет в единицу времени, и тем менее предсказуем результат переполнения ливневых стоков.

Для периода однократного превышения расчетной интенсивности дождя в течение 1 года в нормативных документах приведена интенсивность дождя (в л/с на га) продолжительностью 20 минут – q_{20} , рис. 1.15, на основании которой можно определить расчетный расход дождевых вод q_p :

$$q_p = q_{20} \cdot F, \text{ л/с}, \quad (1.11)$$

где F – водосборная площадь в га.

Для периодов в 3, 5 или 10 лет в указанную формулу следует вводить повышающие коэффициенты.

Выбор периода однократного превышения расчетной интенсивности дождя зависит от возможных последствий переполнения ливневых стоков. Если переполнение системы ливневых стоков не вызовет серьезных последствий, то период однократного превышения определяется в один год. Если последствия переполнения будут сопровождаться подтоплением цокольных и подвальных этажей, порчей ценного оборудования и возникает большой экономический ущерб, то система ливнеотводов должна рассчитываться на период однократного превышения расчетной интенсивности дождя в 5 или 10 лет.

При одновременном действии дождя и ветра возникают так называемые косые дожди, которые приводят к замачиванию фасадов зданий, повышают влажность материалов и усиливают коррозионные процессы.

Известна формула по расчету интенсивности дождя, приходящего к стенам зданий с наветренной стороны – q_{ϕ} :

$$q_{\phi} = \frac{q_{20} \cdot v_{\text{в}}}{v_{\text{п}}}, \quad (1.12)$$

где q_{20} – интенсивность дождя на горизонтальной поверхности, л/с на га, рис. 1.15; $v_{\text{в}}$ – скорость ветра, м/с; $v_{\text{п}}$ – скорость вертикального падения капель дождя, м/с.

Даже при небольшом ветре капли дождя отклоняются от вертикали и попадают на фасады зданий. Причем мелкие капли (при морозящих дождях) отклоняются от вертикали больше, чем крупные капли (при ливневых дождях), и количество дождевой воды на фасаде может оказаться больше, чем при ливневых дождях.

Скорость вертикального падения капель дождя зависит от их диаметра, который различен при морозящих, обложных и ливневых дождях.

Влияние размеров дождевых капель на замачивание фасадов оказалось сложной задачей. Однако в первом приближении можно воспользоваться предложением Блокена Б. и его коэффициентом свободного дождя, который учитывает суммарный эффект всего диапазона размеров капель дождя ($k = 0,222$). С учетом этого коэффициента количество дождя, приходящего к фасадам зданий с наветренной стороны q_{ϕ} , можно определить по формуле:

$$q_{\phi} = 0,222 \cdot v_{\text{в}} \cdot q_{20}, \quad (1.13)$$

где q_{20} – интенсивность дождя на горизонтальной поверхности, л/с на га;

0,222 – коэффициент Блокена, с/м;

$v_{\text{в}}$ – скорость ветра, м/с.

Изменение свойств фасадных материалов при их замачивании дождевой водой – это уже другая самостоятельная задача.

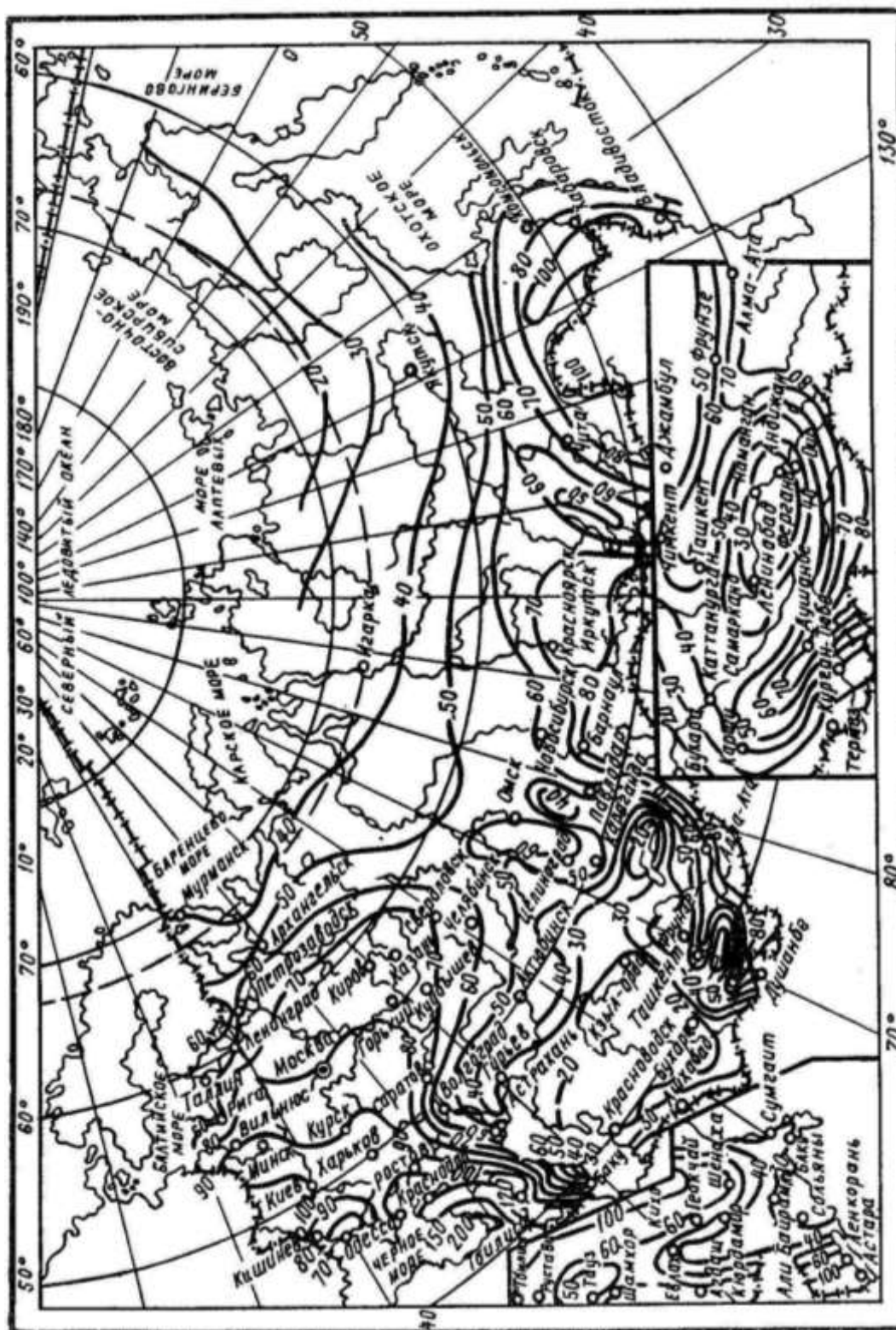


Рис.1.15. Значения величин интенсивности дождя q_{20} (СНиП 2.04.03-85)

1.8.2. Снежный покров, метели, снеготранспорты

Количество выпавшего снега измеряется толщиной слоя в сантиметрах. Представление о заснеженности территории страны дает карта-схема, рис. 1.16. Из рисунка можно видеть, что высота снежного покрова на Европейской части России нарастает с юго-запада на северо-восток, то есть в том же направлении, что и среднегодовая температура воздуха. Так, среднее из наибольших высот снежного покрова за зиму составляет в Ростове-на-Дону – 13 см, в Казани – 32 см, в Перми – 76 см, в Петропавловске-Камчатском – 104 см. В градостроительном проектировании следует учитывать не столько высоту снежного покрова, сколько перемещение снега во время метелей и образование снеготранспортов и сугробов в городской застройке. Направление снеготранспорта совпадает с направлением зимних господствующих ветров. Объемы снеготранспортов за зимние месяцы приведены на карте-схеме рисунка 1.17.

Из рисунка 1.17 видно, что объемы снеготранспорта по территории страны изменяются от 100 до 1500 м³/м. Принято считать, что объемы снеготранспорта более 200 м³/м являются критическими и требуют специальных архитектурных решений.

Перемещение снега происходит во время метелей, которые подразделяются на три вида: общую, низовую и поземок. Общая метель сопровождается выпадением снега и перемещением свежеснегавшего снега. Во время низовых метелей и поземков происходит перемещение ранее выпавшего снега при скоростях ветра выше 5 м/с.

Перемещение снега пропорционально кинетической энергии ветра, которая резко снижается за препятствием, где и происходит образование сугробов. В городской среде препятствием являются здания, сооружения, малые формы, ограды, зеленые насаждения, складки рельефа и т.п. То есть такие объекты, которые тормозят ветровой поток. Зоны отложения снега в городской среде и зоны его выдувания определяются закономерностями распределения ветровых потоков в застройке. До настоящего времени не разработаны рекомендации по решению этой проблемы, а существуют лишь отдельные исследования, не объединенные в единую систему.

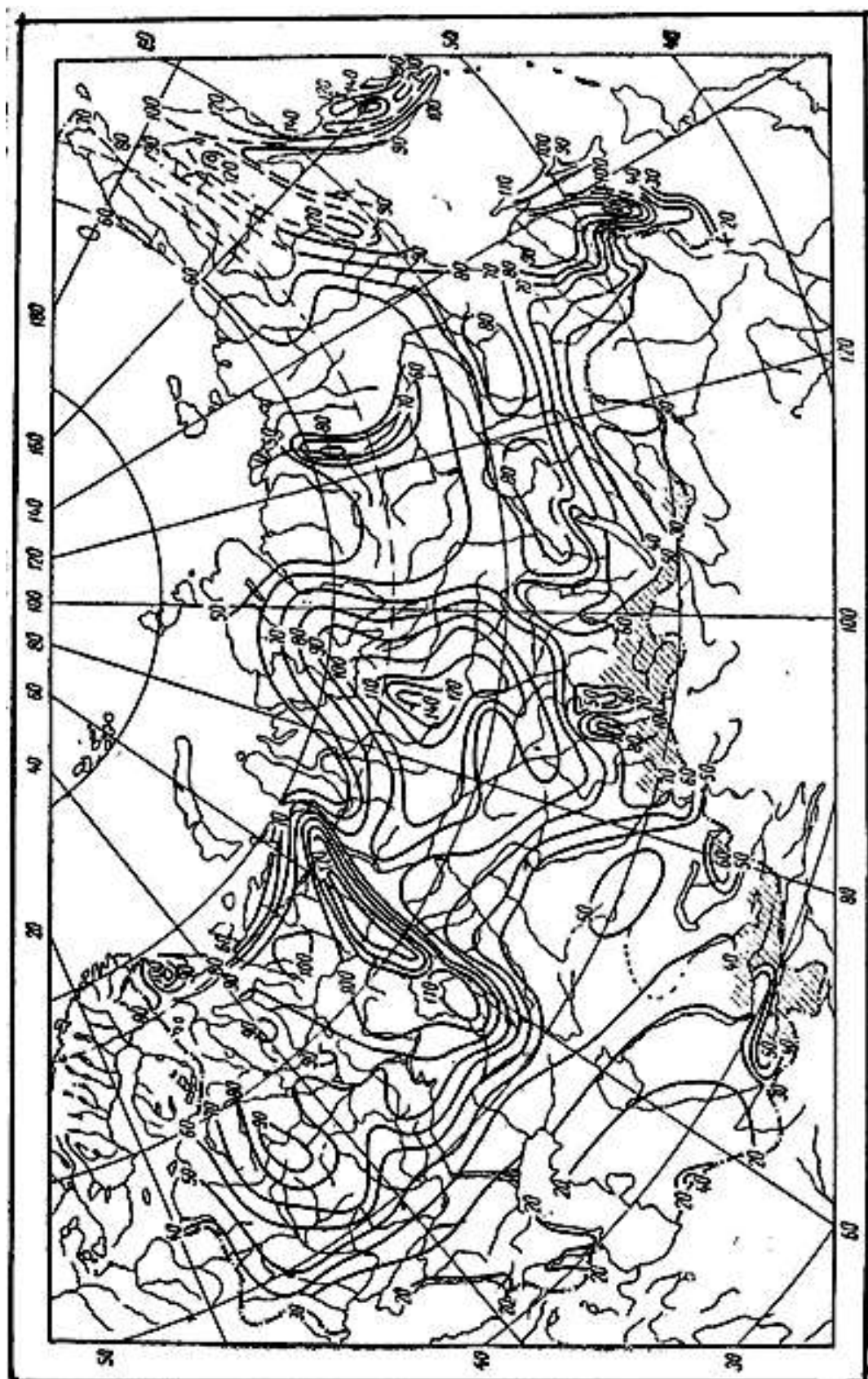


Рис.1.16. Карта-схема районирования территории СССР по высоте снежного покрова в см, (СНиП II – А.6-72)

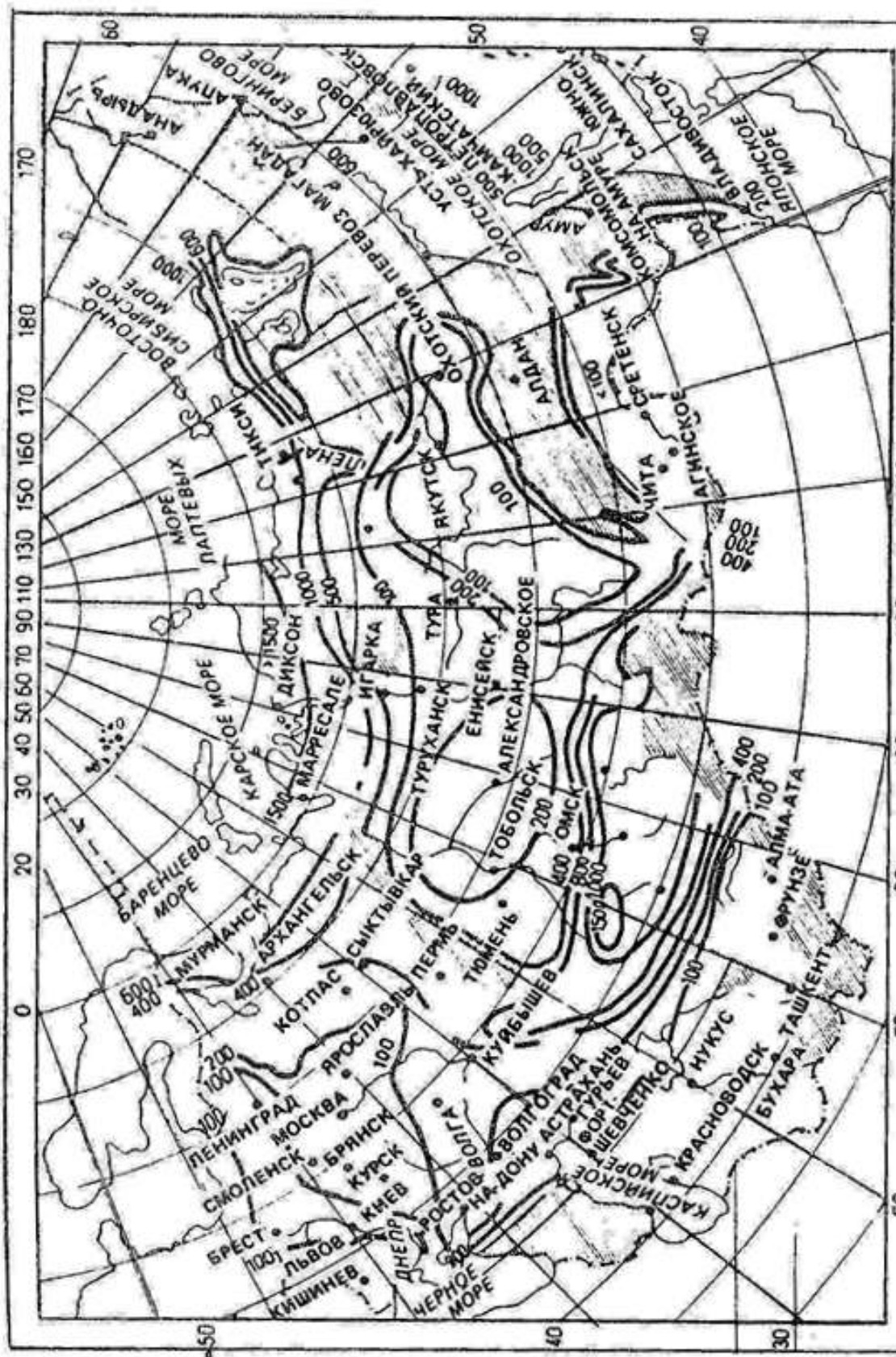


Рис.1.17. Схематическая карта районирования территории СССР по объемам снегопереносов в $\text{м}^3/\text{м}$ за зиму (СНиП II-А.6-72)

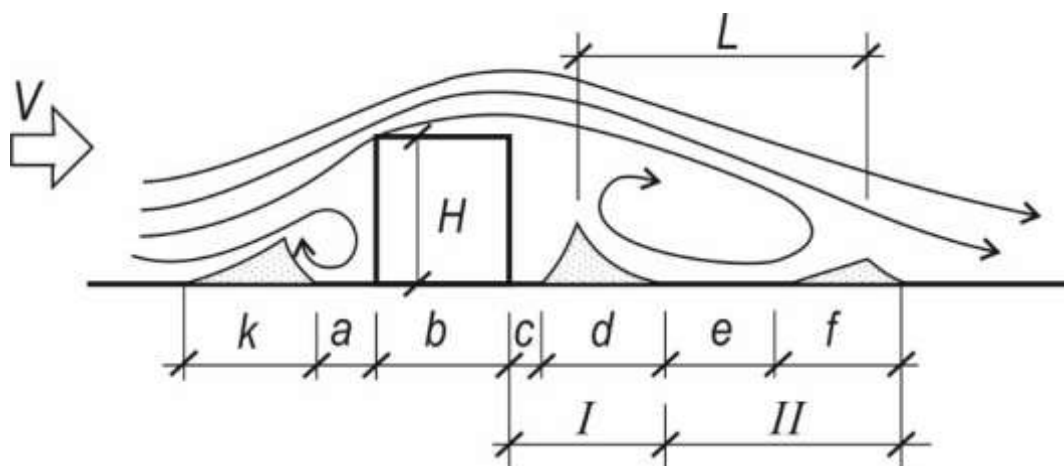


Рис. 1.18. Основные параметры снегоотложений у здания:

a – зона выдувания перед зданием; *b* – размер здания в направлении ветра; *c* – зона I выдувания за зданием; *d* – зона I отложения снега за зданием; *e* – зона II выдувания за зданием; *f* – зона II отложения снега за зданием; *k* – зона снегоотложения перед зданием; *L* – зона завихрения за зданием; *H* – высота здания

В качестве примера на рисунке 1.18 приведены основные параметры снегоотложений у отдельного здания.

Основные параметры снегоотложений у здания состоят из нескольких зон. Перед зданием существуют зоны выдувания снега (**a**) и зона отложения снега (**k**). За зданием существует несколько зон: зона I и зона II. В каждой из этих зон существуют как участки выдувания снега (**c**) и (**e**), так и участки отложения снега (**d**) и (**f**). Формирование отдельных участков за зданием определяется зоной завихрения за зданием (**L**).

Изучение этого вопроса показало, что размеры участков выдувания или отложения снега как перед зданием, так и за зданием, зависят от множества факторов. Определяющими факторами являются геометрические параметры здания и скорость ветра.

С увеличением высоты здания **H** увеличивается зона выдувания перед зданием – **a**, причем отношение **a/H** остается практически постоянным и равным 0,8. Таким образом, зона перед зданием, свободная от заносов, может быть определена по формуле: **a** = 0,8 **H**. Например, для 9-этажного здания высотой 30 м зона **a** будет равна 24 м, где вполне могут разместиться не заносимые снегом проезды, проходы и входы в здание.

С увеличением скорости ветра возрастает зона выдувания перед зданием – **a**, зона I выдувания за зданием – **c** – практически не изменяется с ростом скорости ветра. Зона выдувания за зданием – **e** – резко растет при увеличении скорости ветра более 10 м/с, причем у «коротких» зданий протяженность вдоль ветрового потока $(1\div 2)H$ это проявляется сильнее, чем у «длинных», протяженность вдоль ветрового потока которых составляет $(5\div 6)H$. Зона **d** – снегоотложение за зданием – снижается с увеличением скорости ветра.

Параметры снегоотложений у отдельного здания не характеризуют всю застройку, но некоторые выводы можно сделать. Так, например, дороги и тротуары следует размещать с наветренной стороны, непосредственно у здания (зона **а**). Входы в здание рекомендуется размещать с наветренной стороны (в зоне **а**) или на сторонах, параллельных ветровому потоку. Городские транспортные магистрали рекомендуется размещать в зоне выдувания за зданием (зона **е**), где объемы снегоотложений будут минимальными.

1.9. Оценка «круга горизонта» по климатическим факторам

В предыдущих разделах проведен раздельный анализ климатических факторов, в то время как в действительности они действуют совместно. Первое представление о комплексном воздействии климатических факторов на человека, здание или город можно получить на основе модели «круга горизонта».

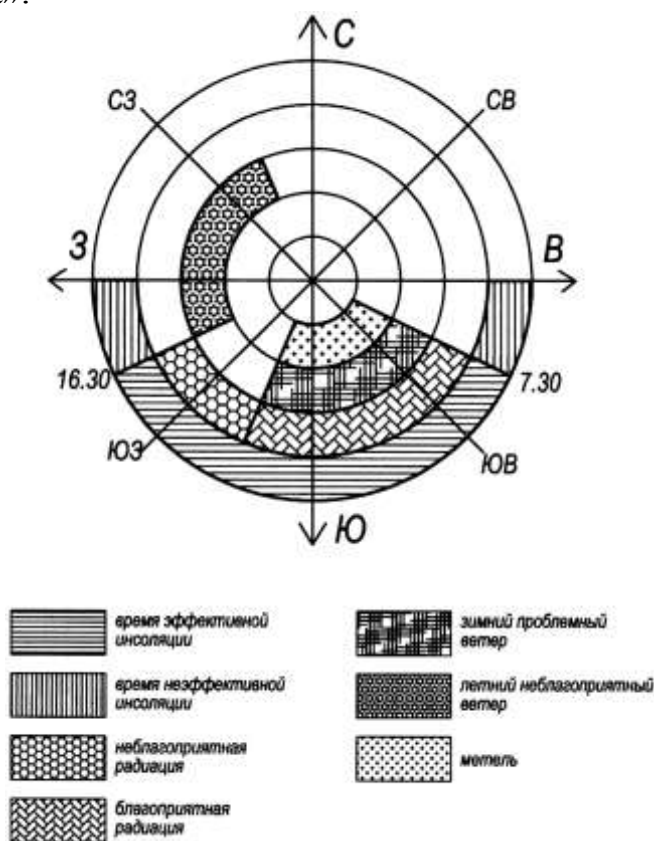


Рис. 1.19. Оценка круга горизонта по климатическим факторам для Казани

В графическом выражении модель представляет собой круг с наблюдателем (или проектируемым объектом) в центре, а по сторонам горизонта расположены климатические факторы, векторно сориентированные на наблюдателя, рис. 1.19. Для удобства прочтения различные климатические факторы размещаются на концентрических окружностях разных диаметров.

Модель позволяет выделить и оценить положительные и отрицательные воздействия климатических факторов: благоприятная солнечная радиация или перегрев, направление снегопереноса и вероятность образования сугробов и т.д. Оценку круга горизонта по климатическим факторам легко превратить в экологическую модель пространства добавлением других факторов городской среды, имеющих векторный характер (шум, производственные загрязнения, газы и запахи, технологическая пыль и т.д.)

РАЗДЕЛ II

КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

2.1. Климатическое районирование для строительства

Для архитектурно-строительного проектирования и выработки типологических требований для зданий различного назначения требуется деление территории страны на такие районы, внутри которых значения климатических факторов одинаковы или различаются незначительно. Климатическое районирование территории страны по этому принципу развивается в отечественной практике с 30-х годов прошлого века. Первые нормативные документы по климатическому районированию по мере их совершенствования развивали и типологические требования к жилым зданиям (толщина стен, устройство галерей, ориентация жилых комнат и т.д.).

В 1934 году климатическое районирование проведено по температуре воздуха за самый холодный месяц – январь и самый жаркий – июль. Территория страны разделена на четыре района: северный, средний, южный и субтропический.

Опыт строительства и эксплуатации жилых зданий в последующие годы показал, что важное значение имеют и другие климатические факторы. Так, в северных районах сильные теплопотери в зданиях зимой связаны с ветром. В южных районах теплоощущения человека определяются сочетанием температуры и влажности воздуха.

Дальнейшие исследования метеорологов, архитекторов, проектировщиков и строителей позволили уточнить границы районов, ввести деление районов на подрайоны с более узкими границами климатических факторов.

В нормативных документах опубликована таблица климатических параметров для районов и подрайонов: температура воздуха в январе и июле, относительная влажность воздуха в июле и средняя скорость ветра за три зимних месяца (табл. 2.1).

При одновременном анализе карты климатического районирования (рис. 2.1) и таблицы параметров (табл. 2.1) становится очевидно, что скорость ветра и относительную влажность воздуха учитывают в подрайонах, расположенных по побережьям морей, где повышенная влажность и постоянные ветры в силу географических особенностей. Это районы ИБ, ИГ, ПА, ПБ, ПГ.

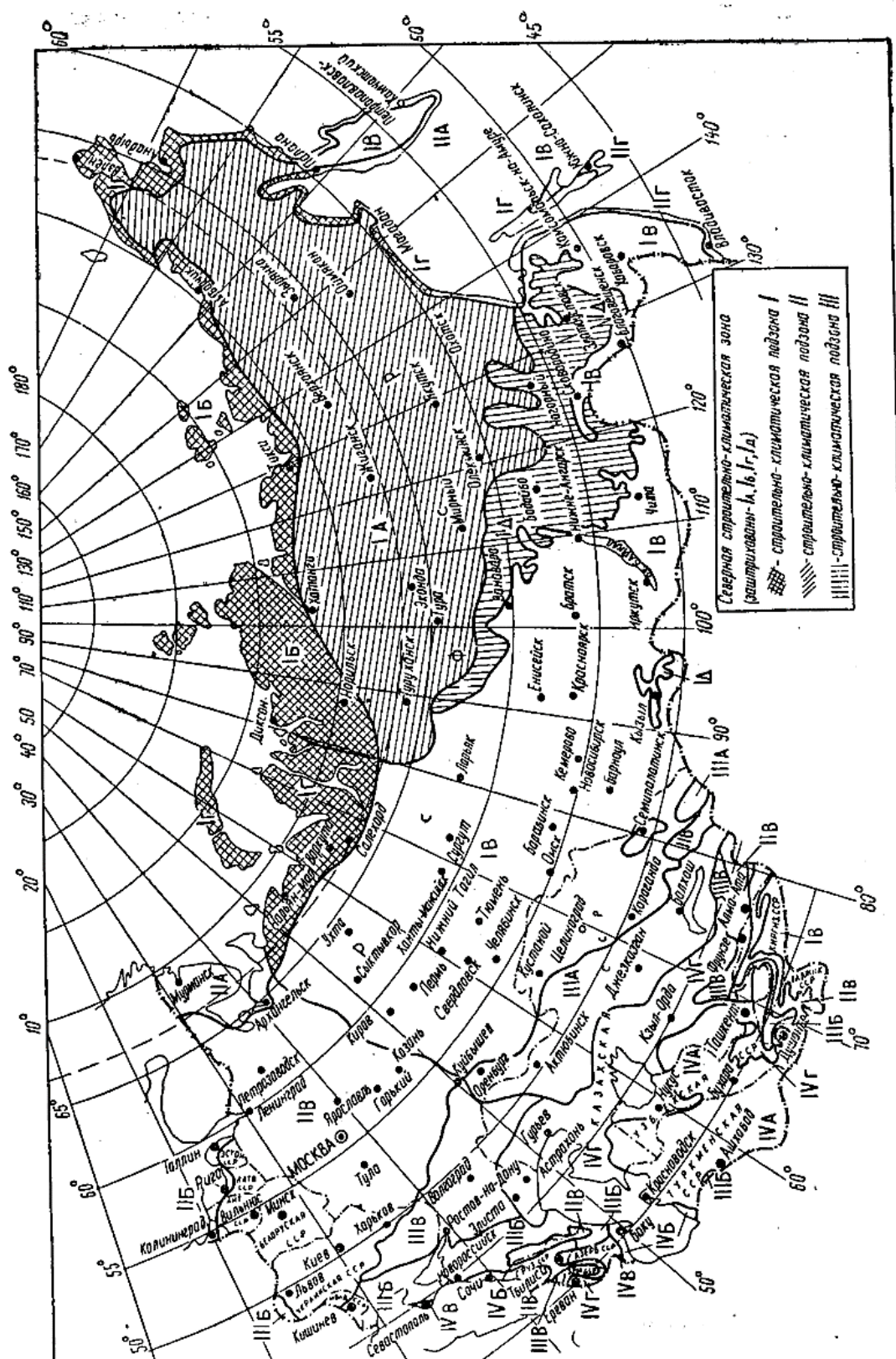


Рис. 2.1. Карта-схема климатического районирования территории СССР для строительства (СНиП II – А.6-72)

Таблица 2.1

Характеристика климатических районов и подрайонов

Климатические районы	Климатические подрайоны	Среднемесячная температура воздуха в январе, град	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Среднемесячная температура воздуха в июле, град	Среднемесячная относительная влажность воздуха в июле, %
I	IA	От -32 и ниже	–	От +4 до +19	–
	IB	От -28 и ниже	5 и более	От 0 до +13	Более 75
II	IB	От -14 до -28	–	От +12 до +21	–
	IG	От -14 до -28	5 и более	От 0 до +14	Более 75
	ID	От -14 до -32	–	От +10 до +20	–
	IIA	От -4 до -14	5 и более	От +8 до +12	Более 75
	IIB	От -3 до -5	5 и более	От +12 до +21	Более 75
	IIV	От -4 до -14	–	От +12 до +21	–
III	IIIG	От -5 до -14	5 и более	От +12 до +21	Более 75
	IIIA	От -14 до -20	–	От +21 до +25	–
	IIIB	От -5 до +2	–	От +21 до +25	–
IV	IIIV	От -5 до -14	–	От +21 до +25	–
	IVIA	От -10 до +2	–	От +28 и выше	–
	IVIB	От +2 до +6	–	От +22 до +28	50 и более в 13 ч.
	IVB	От 0 до +2	–	От +25 до +28	–
	IVG	От -15 до 0	–	От +25 до +28	–
Примечание: климатический подрайон ID характеризуется продолжительностью холодного периода года (со средней суточной температурой ниже 0°C) 190 дней в году и более					

Другие подрайоны относятся к континентальным территориям, где и влажность ниже, чем на побережьях, и меньше выражен ветровой режим.

При использовании карты климатического районирования в отдельных регионах России возникают ситуации, когда границы климатических районов и подрайонов не совпадают с границами административных районов, что затрудняет использование расчетных климатических параметров. В этих случаях на региональном уровне в территориальных строительных нормах уточняют границы климатических районов и подрайонов и совмещают их с границами административных районов.

Климатическое районирование несло в себе большой позитивный смысл. Это позволило развить типологические требования к жилым зданиям в различных климатических районах, что нашло отражение во всех последующих изданиях СНиП «Жилые здания». Это планировка квартир, высота этажей, проветривание, ориентация, подсобные помещения, солнцезащитные устройства, лоджии и др.

В таблице 2.2 приведена выборка из СНиП «Жилые здания» 1995 и 2003 годов, касающаяся типологических требований к жилым зданиям в зависимости от климатических районов (подрайонов).

Таблица 2.2

**Типологические требования к жилым зданиям
в различных климатических районах и подрайонах
(по СНиП 2.08.01 – 89*, 1995 г. и СНиП 31-01-2003)**

Типологические элементы	Климатический район, подрайон
Высота жилых помещений (от пола до потолка): – не менее 2,5 м – не менее 2,7 м	ІВ, ІІБ, ІІВ, ІІГ, ІІІ, ІV ІА, ІБ, ІГ, ІД, ІА
Высота этажей (от пола до пола): – не более 2,8 м – не более 3,0 м	ІВ, ІІБ, ІІВ, ІІГ, ІІІ, ІV ІА, ІБ, ІГ, ІД, ІА
Основные лестницы: – закрытые отапливаемые – допускаются наружные	І, ІІ, ІІА, ІІВ, ІV и ІІБ
Лифты предусматриваются в жилых зданиях: – с превышением уровня пола верхнего этажа над уровнем пола первого этажа на 11,2 м – с превышением уровня пола верхнего этажа над уровнем пола первого этажа на 9,0 м	ІВ, ІІ, ІІІ, ІVБ, ІVВ, ІVГ ІА, ІБ, ІГ, ІД, ІVА
Тамбуры при наружных входах в здание: – глубиной 1,5 м – глубиной 1,2 м – двойные тамбуры проектируют в зависимости от средней температуры наиболее холодной пятидневки и этажности зданий	І, ІІ ІІІ
Лоджии и балконы: – допускается предусматривать с учетом противопожарных и неблагоприятных климатических условий	ІІІ, ІV І, ІІ
Наружная регулируемая солнцезащита в пределах сектора 200 – 290°: – в жилых комнатах и кухнях – в жилых комнатах, кухнях и лоджиях	ІІІ ІV
Вентилируемый сушильный шкаф для верхней одежды и обуви	ІА, ІБ, ІГ, ІА
Вентиляция холодного чердака за счет устройства отверстий с каждой стороны здания: – площадью 1/500 чердачного перекрытия – площадью 1/50 чердачного перекрытия	І, ІІ ІІІ, ІV

За прошедшие годы поднялся общий уровень стандарта жилища, менялись требования к жилью в потребительском смысле, что требовало новых разработок по учету климата при проектировании жилья, по выявлению тесной связи климата с режимом эксплуатации жилища и с категориями архитектурной композиции.

2.2. Климатическое районирование для типизации жилища и архитектурные средства преобразования среды

В центральном НИИ по экспериментальному проектированию жилища проведены системные исследования по влиянию климата на типологию жилища. Результатом исследований явились новые предложения по климатическому районированию. В основу нового климатического районирования положен не территориальный принцип, как в климатическом районировании для строительства, а положены теплоощущения человека при воздействии различных климатических факторов. Эти теплоощущения взаимно увязывают физиологические реакции человека на климатические факторы и их сочетания. То есть в основу новых предложений по климатическому районированию положен теплообмен человека с окружающей средой.

Исследование теплоощущений человека и состояние комфорта при различных сочетаниях климатических факторов позволило установить, что для теплых районов определяющим оказалось сочетание температуры и влажности воздуха, а для холодных – температуры воздуха и скорости ветра. Было выделено семь типов погоды: жаркая, жаркая сухая (засушливая), теплая, комфортная, прохладная, холодная и суровая. Границы значений климатических факторов для различных типов погоды приведены на рис. 2.2.

Анализ рис. 2.2 показывает, что тип погоды, то есть теплоощущения человека, очень сильно зависят от сочетания факторов. Например, жаркая погода будет при температуре воздуха 50°C и при 24°C в зависимости от относительной влажности воздуха. Причем, в интервале температур воздуха 24–28°C в зависимости от его относительной влажности, погода будет теплой, комфортной или жаркой.

Представления о типах погоды позволили научно обосновать переход к одному из основных положений климатической типологии, к вопросу об **архитектурных средствах преобразования среды**. К вопросу о связи категорий архитектурной композиции с климатическими условиями, к вопросу о раскрытии или закрытии помещений во внешнюю среду.

Основополагающими следует считать **представления о четырех эксплуатационных режимах зданий: изолированном, закрытом, полуоткрытом и открытом**. В изолированном и закрытом эксплуатационном режиме требуются специальные проектные решения инженерных систем по жизнеобеспечению зданий. В полуоткрытых режимах системы жизнеобеспечения менее выражены, а в открытых – отсутствуют совсем. В таблице 2.3 приведена характеристика типов погоды, значений климатических факторов и режимов эксплуатации жилища.

Пределы температур, °С	Относительная влажность воздуха, %			
	≤ 24	25 - 49	50 - 74	≥ 75
50 ÷ 40				
40 ÷ 32	жаркая сухая		жаркая	
32 ÷ 28	теплая			
28 ÷ 24			теплая	
24 ÷ 20		комфортная		теплая
20 ÷ 12				
	Скорость ветра, м/с			
	≤ 1.9	2 - 4.9	5 - 9.9	≥ 10
12 ÷ 4		прохладная		
4 ÷ -12				
-12 ÷ -20		холодная		
-20 ÷ -28				
-28 ÷ -36			суровая	
-36 ÷ -72				

Рис. 2.2. Характеристика типов погоды по сочетанию температуры и влажности воздуха, а также температуры и скорости ветра

Из таблицы 2.3 следует, что каждому типу погоды соответствует свой режим эксплуатации жилища. Из таблицы также видно, что для жаркой, теплой и комфортной погоды важное значение имеет сочетание температуры воздуха и его относительной влажности (столбцы 2 и 3), а для прохладной, холодной и суровой погоды важное значение имеет сочетание температуры воздуха и скорости ветра (столбцы 2 и 4).

Для каждого типа погоды требуются специальные объемно-планировочные и конструктивные решения жилых зданий. Эти решения должны учитывать воздействие климатических факторов с целью обеспечения комфортных условий в помещениях зданий.

Жилище при жаркой погоде защищает человека от сильного перегрева, гиперинсоляции и духоты. Режим эксплуатации изолированный, требующий для создания условий теплового комфорта полного кондиционирования (охлаждения и уменьшения влагосодержания воздуха); недопустимые испарительное (повышает влажность) и радиационное (выпадает конденсат) охлаждение. Характерны компактные объемно-планировочные решения, открытые помещения для вечернего и ночного отдыха, использование охлаждающего действия грунта; окна при работе кондиционеров закрыты, уплотнены, защищены от солнца.

Таблица 2.3

**Характеристика типов погоды и соответствующие им
режимы эксплуатации жилища**

Характеристика погоды				Режим эксплуатации жилища
Тип	Среднемесячная температура воздуха, °С	Среднемесячная относительная влажность воздуха, %	Средне-месячная скорость ветра, м/с	
1	2	3	4	5
1.Жаркая (сильный перегрев при нормальной и высокой влажности)	от 24 до 50	от 24 и менее до 75 и более	–	Изолированный
2.Сухаяжаркая (сильный перегрев при низкой влажности)	от 32 до 40	24 и менее	–	Закрытый
3.Теплая (перегрев)	от 20 до 32	от 24 и менее до 75 и более	–	Полуоткрытый
4.Комфортная (тепловой комфорт)	от 12 до 28	от 24 и менее до 75 и более	–	Открытый
5.Прохладная	от 4 до 12	–	от 1,9 и менее до 10 и более	Полуоткрытый
6.Холодная (охлаждение)	от 4 до -36	–	от 1,9 и менее до 10 и более	Закрытый
7.Суровая (сильное охлаждение)	от -12 до -72	–	от 1,9 и менее до 10 и более	Изолированный.

Жилище при жаркой сухой (засушливой) погоде защищает человека от сильного перегрева, гиперинсоляции, а нередко и от пыли. Режим эксплуатации закрытый. Характерны компактные объемно-планировочные решения, обеспечивающие минимальные тепlopоступления извне, увеличение кубатуры внутренних пространств, открытые помещения для вечернего и ночного отдыха, защищенные от солнца проемы, искусственное (испарительное) охлаждение, вентиляторы-фены, использование охлаждающего действия грунта.

Жилище при теплой погоде защищает человека от легкого перегрева. Режим эксплуатации полуоткрытый, для него характерны двусторонняя планировка квартир с активным проветриванием, открытые приквартирные пространства, дворики, трансформация пространств и ограждений в течение суток, открытые окна при наличии солнцезащитных устройств, вентиляторы-фены.

Жилище при комфортной погоде почти не несет климатозащитных функций. Режим эксплуатации открытый, помещения непосредственно связаны с внешней средой, воздухообмен не ограничен. Необязательны ограждающие конструкции с высокими теплоизоляционными качествами, отопительное и охлаждающее оборудование. Типичны приквартирные открытые пространства; пребывание человека во внешней среде не ограничено. Хотя при крайних значениях температуры (+12, +27 °С) могут быть желательны инсоляция или затенение.

Жилище при прохладной погоде защищает человека от сильного охлаждения. Режим эксплуатации полуоткрытый. Для такого жилища характерны: обращение комнат на солнечные стороны горизонта; умеренно компактные объемно-планировочные решения; ограждения, обладающие теплозащитными свойствами; в квартирах – места для хранения верхней одежды, воздухообмен через форточки, фрамуги, клапаны; отопительные устройства малой мощности; накопление внутренних тепловыделений (от приготовления пищи, стирки).

Жилище при холодной погоде защищает человека от крайне сильного охлаждения. Режим эксплуатации – закрытый. Характерны компактное объемно-планировочное решение, обеспечивающее минимальные теплопотери, закрытые отапливаемые лестницы, шкафы для верхней одежды, необходимая воздухо непроницаемость и высокие теплозащитные качества ограждений; закрытые, уплотненные окна, центральное отопление средней мощности, вытяжная канальная вентиляция.

Жилище при суровой погоде защищает человека от сильного охлаждения. Режим эксплуатации изолированный, требующий для создания комфорта побудительной приточно-вытяжной вентиляции с подогревом и увлажнением воздуха. Характерны максимально компактное объемно-планировочное решение зданий, закрытые отапливаемые лестницы, минимальное количество входов в здание, двойные тамбуры при входах, очень высокие воздухо непроницаемость и теплозащитные качества ограждений; отопление преимущественно центральное, большой мощности.

При проектировании жилых зданий в какой-либо местности прежде всего требуется определить преобладающий тип погоды и соответствующий этой погоде режим эксплуатации жилища. С этой целью проводят сравнение дневных и ночных температур воздуха со значениями температур воздуха из таблицы 2.3 и определяют тип погоды в дневное и ночное время за каждый месяц года. Это показано в таблице 2.4 для Диксона и Москвы. Тип погоды в этой таблице обозначен первой буквой названия погоды: с – суровая, х – холодная и т.д. Такая запись типов погоды позволяет записать формулу погодного комплекса (полную или сокращенную), что приведено в последних столбцах таблицы 2.4. Формула

погодного комплекса позволяет определить преобладающий тип погоды в данной местности и режим эксплуатации жилища.

Таблица 2.4

**Запись типов погоды за день и ночь по 12 месяцам года для
условий Диксона и Москвы**

Место	Время суток	Месяц												Запись погодного комплекса (формула)	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	полная	сокращенная
Диксон	Н	с	с	с	с	х	х	х	х	х	х	с	с	10с12х2п	5с6х1п
	Д	с	с	с	х	х	х	п	п	х	х	х	с		
Москва	Н	х	х	х	х	п	п	к	п	п	х	х	х	12х6п6к	6х3п3к
	Д														

Так, на основе таблицы 2.4 можно констатировать, что на Диксоне требуется защита от суровой погоды, а режим эксплуатации жилища будет изолированный. В Москве требуется защита от холодной погоды, а режим эксплуатации жилища будут закрытый.

При отсутствии данных о дневных и ночных температурах воздуха можно воспользоваться данными нормативных документов по строительной климатологии и получить формулу погодного комплекса на основании среднемесячных температур наружного воздуха, а также среднемесячных значений относительной влажности воздуха и скорости ветра.

В таблице 2.5 приведен пример расчета формулы погодного комплекса, преобладающего типа погоды и режима эксплуатации жилища для условий Казани.

Установление преобладающего типа погоды позволяет перейти к обоснованию категорий архитектурной композиции в проектируемых зданиях, то есть к выбору архитектурного пространства, массы, пластики объема и поверхности. Так, для **теплой и комфортной погоды** типичны открытый характер архитектурных пространств (свободная застройка микрорайонов, планировка внутренних помещений, раскрытие во внешнюю среду), расчлененная масса здания (дворики, курдонеры, разделение на блоки), расчлененная пластика поверхности (лоджии, балконы, террасы, навесы). Для **суровой, холодной и жаркой погоды** типичны замкнутый характер архитектурных пространств (плотная, ячеистая, периметральная застройка кварталов, закрытые связи-галереи между зданиями, односторонняя планировка квартир), нерасчлененная масса здания (компактная планировка, простая конфигурация, объемы, близкие к кубу, шару, внутренние закрытые атриумы), нерасчлененная

пластика поверхности (небольшие окна, преобладание гладких поверхностей стен, отсутствие лоджий).

Таблица 2.5

Расчет формулы погодного комплекса, преобладающего типа погоды и режима эксплуатации жилища для условий Казани

Климатические факторы	месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднемесячная температура воздуха, °С	-11,6	-10,9	-4,3	5,3	13,2	17,6	19,7	17,4	11,5	4,2	-3,2	-8,9
Среднемесячная относительная влажность воздуха, %	84	81	80	73	62	62	68	71	75	81	84	85
Среднемесячная скорость ветра, м/с	4,5	4,5	4,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	4,5	4,5
Тип погоды	х	х	х	х	к	к	к	к	п	х	х	х
Формула погодного комплекса	7х1п4к, преобладающая погода – холодная (х)											
Режим эксплуатации жилища (по табл. 2.3)	закрытый											

РАЗДЕЛ III

ТЕПЛОЗАЩИТА ЗДАНИЙ

Проектирование теплозащиты ограждающих конструкций является важнейшим этапом в обеспечении энергоэффективности зданий, а также в обеспечении санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях зданий.

3.1. Тепловой комфорт и микроклимат помещений

Температура тела человека ($35 - 37^{\circ}\text{C}$) всегда выше температуры окружающей среды ($16 - 22^{\circ}\text{C}$), в связи с чем человек постоянно отдает тепло. В таблице 3.1 приведены теплотери человека, находящегося в состоянии покоя.

Таблица 3.1

Теплотери человека при различных температурах воздуха

Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	+10	+22	+35
Теплотери, Вт/ч	160	125	93

Из таблицы 3.1 видно, что при нормальных температурных условиях ($+22^{\circ}\text{C}$) теплотери человека составляют 125 Вт/ч., при этих теплотерях человек ощущает себя комфортно. При снижении температуры воздуха до $+10^{\circ}\text{C}$ теплотери возрастают до 160 Вт/ч. Таким образом, человек теряет больше тепла, чем генерирует ($160 - 125 = 35$ Вт/ч), и возникает ощущение холода. При температуре $+35^{\circ}\text{C}$ теплотери человека снижаются до 93 Вт/ч. Оставшаяся энергия $125 - 93 = 32$ Вт/ч накапливается в организме, затормаживаются терморегулирующие процессы организма, и человеку становится жарко.

Таким образом, ощущение теплового комфорта достигается в условиях баланса между теплогенерирующей способностью человека и его теплотерями. Теплообмен человека с окружающей средой идет четырьмя путями: конвекцией, кондукцией, излучением (радиацией) и испарением. В зависимости от условий изменяется теплоотдача человека с преобладанием того или иного механизма, однако в условиях, близких к оптимальным, человек отдает тепло:

- конвекцией и кондукцией – 15-33 %;
- радиацией (излучением) – 45-60%;
- испарением – 20 -30 %.

На рис. 3.1 представлена схема теплообмена человека с окружающей средой в помещении и показаны основные механизмы теплоотдачи, которые определяют тот или иной параметр микроклимата помещений.

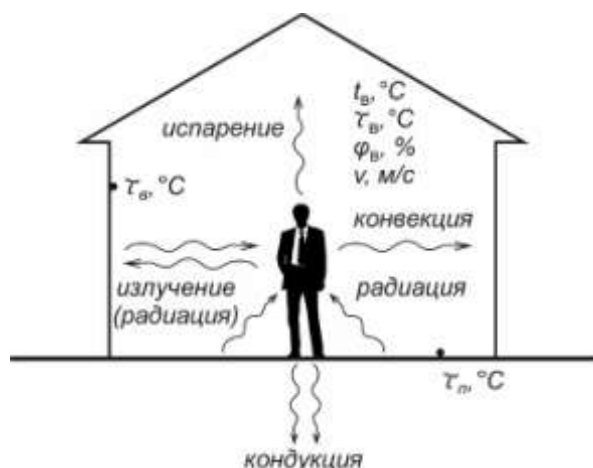


Рис. 3.1. Схема теплообмена человека с окружающей средой

Конвекция – это передача тепла от тела человека воздуху за счет разности температур. Поэтому **температура воздуха помещения считается первым критерием среды – t_v .**

Кондукция – это способ передачи тепла при контакте двух тел. Чаще всего человек ощущает это при нахождении на «теплом» или «холодном» полу. Полы из каменных материалов, керамических и даже линолеума считаются холодными, так как в силу высокого коэффициента теплоусвоения этих материалов усиливается передача тепла от человека к полу кондукцией.

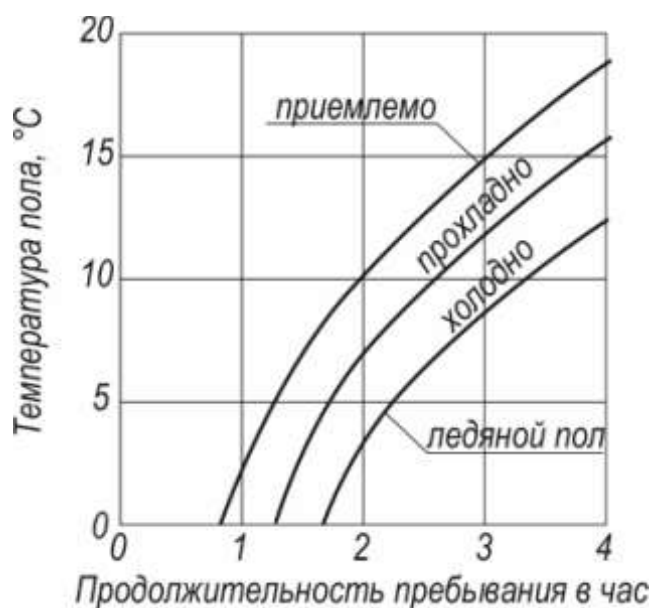


Рис. 3.2. График распределения комфортных температур пола в зависимости от времени пребывания человека в помещении

В южных странах эти свойства материалов (и вид теплопередачи) используют для снижения перегрева и повышения комфортности. Для северных широт ряд исследователей рекомендуют вводить дополнительный показатель микроклимата помещений – температуру пола τ_p , (рис. 3.2).

Излучение или радиация – это лучистая передача тепла от более нагретого тела к менее нагретому посредством электромагнитного излучения.

В умеренном и холодном климате идет передача тепла от человека к ограждениям, и тем интенсивнее, чем ниже температура внутренней поверхности ограждений. Человек начинает ощущать дискомфорт через 15–30 мин., если находится вблизи окна, хотя через окно и «не дует», а температура воздуха в помещении в пределах нормы. Низкая температура стекла интенсивно «отбирает» тепло у человека за счет излучения. В южном климате в силу перегрева ограждений за счет солнечной радиации направление тепла может оказаться обратным – от ограждения к человеку, что также отрицательно действует на человека. Требуются проектные решения для защиты от перегрева.

Таким образом, данный вид теплообмена, а это около половины теплопотерь человека, выдвигает требования к контролю **температуры внутренних поверхностей ограждений** – $t_{в}$. Лицкевич В.К. утверждает, что «изменение температуры всех поверхностей помещения на 1°C равноценно изменению температуры воздуха в этом помещении на $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$, то есть воспринимается как очень значительное».

Испарение – это процесс отдачи тепла человеком за счет испарения влаги с поверхности кожи и при дыхании (скрытая форма теплоотдачи). Интенсивность теплоотдачи этим способом зависит от сочетания температуры воздуха в помещении и его относительной влажности. При высокой температуре и сухом воздухе испарение влаги протекает спокойно, и человек чувствует себя комфортно. При увеличении влажности воздуха потоотделение затрудняется, возникает ощущение дискомфорта (духоты). По этой причине **относительная влажность воздуха входит в параметры микроклимата** – $\phi_{в}$.

При конвективном теплообмене и испарении большую роль играет подвижность воздуха. Низкая подвижность воздуха (или застойный воздух) затормаживает сосудистые реакции организма и затрудняет теплообмен человека с окружающей средой. Высокая подвижность воздуха способствует быстрому охлаждению, возникает эффект «сквозняков», то есть дискомфорта. Создание оптимальных (комфортных) скоростей воздуха в помещениях является важной задачей проектирования, поэтому **скорость движения воздуха в помещении является важным параметром микроклимата** – v .

Таким образом, анализ механизма теплообмена человека с окружающей средой позволил выявить перечень основных микроклиматических параметров в помещениях:

1. Температура воздуха, $t_{в}$.
2. Температура внутренних поверхностей, $t_{в}$.

3. Влажность воздуха, ϕ_v .
4. Скорость движения воздуха, v
5. Температура пола, $\tau_{п}$.

Анализ теплоощущений и комфортного состояния человека при действии климатических факторов позволил установить, что значимое влияние на человека оказывают не столько абсолютные значения фактора, сколько сочетания нескольких факторов. На рисунке 3.3 выделены зоны комфорта при сочетании некоторых климатических факторов.

Из рисунка 3.3 а можно видеть, что чем выше температура поверхности стены, тем при более низкой температуре воздуха в помещении достигается состояние комфорта. Из рисунка 3.3 б видно, что комфортное состояние человека достигается при высокой температуре воздуха и его низкой относительной влажности или при низкой температуре воздуха и его высокой влажности.

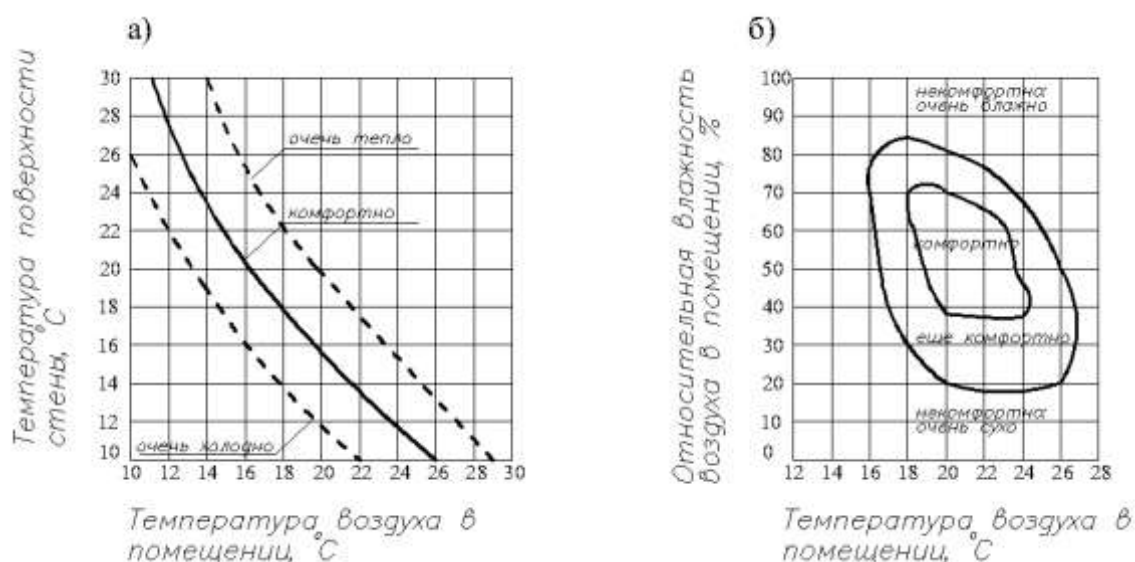


Рис. 3.3. Ощущение комфорта в зависимости от сочетаний параметров микроклимата:

- а) температуры воздуха в помещении и температуры поверхностей стен;
- б) температуры воздуха в помещении и относительной влажности воздуха в помещении

Исследования по определению комфортных параметров микроклимата и их сочетаний позволили установить, что эти параметры зависят от множества факторов: климатического района, периода года, назначения помещения, вида деятельности и возраста человека.

Таблица 3.2

**Оптимальные и допустимые параметры микроклимата
(выборка из ГОСТ 30494-2011)**

Период года	Наименование помещений	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная	допустимая, не более
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24 (20 -24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31°С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2
Теплый	Помещения для отдыха и учебных занятий	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15	0,2
	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3
НН* - не нормируется Примечание: Значения в скобках относятся к домам для престарелых и инвалидов									

На основании обобщения проведенных исследований был сформирован основной нормативный документ, определяющий параметры микроклимата: ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Особенностью этого документа является введение понятий «оптимальные» и «допустимые» параметры микроклимата, которые различаются для холодного и теплого периодов года. Выборка из ГОСТ 30494-2011 приведена в таблице 3.2

3.2. Ограждающие конструкции как объект проектирования теплозащиты

К ограждающим конструкциям зданий относятся: наружные стены, окна, балконные двери, витрины и витражи, покрытия зданий, светотехнические фонари, перекрытия над проездами и неотапливаемыми подвалами и подпольями, то есть конструкции, которые составляют теплозащитную оболочку зданий.

Наружные стены составляют более четверти затрат от стоимости всего здания, в связи с чем основное внимание в учебном издании будет уделено наружным стенам.

В зависимости от конструктивной схемы здания наружные стены подразделяются на три типа:

1. Несущие стены – воспринимают нагрузку от всего здания, имеют мощный фундамент заданной несущей способности.

2. Самонесущие стены – являются самостоятельным элементом здания, конструктивно соединены с несущими конструкциями здания, воспринимают нагрузку только от собственного веса, под эту нагрузку проектируется фундамент.

3. Навесные стены – это элементы фасада здания, закрепляемые к несущим конструкциям в пределах одного или нескольких этажей, могут выполняться из мелкоштучных изделий или в панельных вариантах.

В несущих стенах прочность и теплозащита обеспечиваются, как правило, одним и тем же материалом. Причем толщина такой стены часто определяется не требованием прочности, а обеспечением теплозащиты. Толщина классических несущих стен из керамического или силикатного кирпича в 64 см (до перехода на повышенную теплозащиту) определялась необходимой теплозащитой. Такие стены имели большой запас прочности.

В навесных стенах прочность обеспечивается в пределах одного этажа и она менее выражена, чем в несущих стенах, то есть могут использоваться менее прочные материалы. Основное внимание в этом типе стен уделяется обеспечению теплозащиты и декоративной отделке фасадов. В навесных стенах появляется возможность значительно сократить толщину ограждения за счет использования высокоэффективных теплоизоляционных материалов.

Самонесущие стены занимают с этой точки зрения промежуточное положение.

Таким образом, наружные ограждения должны выполнять несколько функций одновременно, что обеспечивается следующими функциональными слоями.

А. Конструкционный слой. Основное назначение слоя – обеспечить прочность стены. Выполняется из плотных, прочных материалов, имеющих, как правило, высокую теплопроводность и низкую паропроницаемость.

нищаемость. Конструкционный слой выполняется из таких материалов, как кирпич, различные виды бетонов, железобетон, природные и искусственные камни, металл.

Б. Теплоизоляционный слой. Основное назначение слоя – обеспечить теплозащитные характеристики стены. Выполняется из высокопористых материалов, которые имеют низкую прочность, низкую теплопроводность и высокую паропроницаемость. Теплоизоляционные слои выполняются из минераловолокнистых матов или плит, пенопластов, ячеистых бетонов и других аналогичных материалов.

В. Паро-, ветро-, влагоизоляционные слои. Это листовые или обмазочные материалы с избирательными характеристиками по проницаемости к водяному пару, ветру и влаге.

Г. Облицовочные слои. Основное назначение слоя – декоративное завершение фасада. Выполняется из лицевого кирпича, плит из природного камня, керамических материалов, асбестоцементных изделий, из листов стекла, металла, полимеров, из декоративных штукатурок.

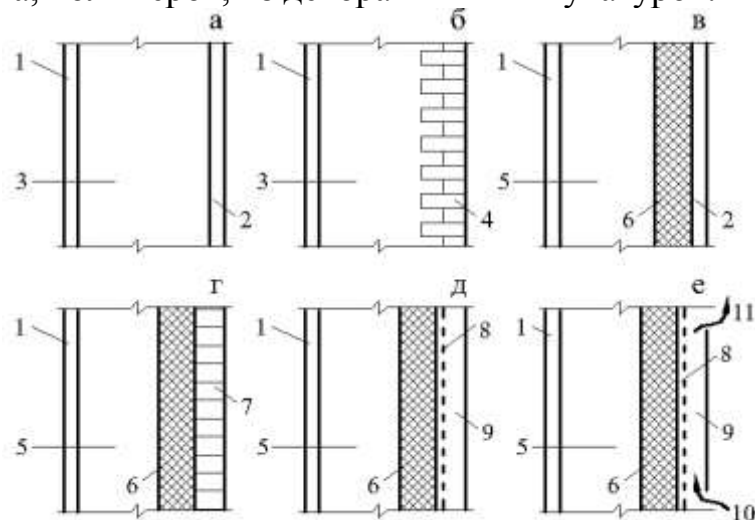


Рис. 3.4. Основные схемы конструктивных решений наружных стен как объектов теплозащиты:

а, б – однослойные (сплошные) стены; в – двухслойные стены с наружным утеплением и штукатуркой по сетке; г – трехслойные стены с облицовочным слоем из кирпича или камня;

д – стена с неventилируемой воздушной прослойкой; е – стена с вентилируемой воздушной прослойкой:

1 – внутренняя штукатурка; 2 – наружная штукатурка; 3 – конструктивно-теплоизоляционный материал; 4 – лицевой кирпич или камни, составляющие сплошное сечение со стеной; 5 – конструкционный материал; 6 – теплоизоляционный слой; 7 – лицевой кирпич или камни, связанные с конструкционным слоем гибкими связями; 8 – пленка типа Тайвек; 9 – листовые или плитные облицовочные слои; 10 – приточное отверстие; 11 – вытяжное отверстие

В зависимости от конструкции ограждения различные слои или материалы могут выполнять несколько функций. Например, кирпич является конструктивно-теплоизоляционным материалом.

Анализ ограждающих конструкций и опыта их применения позволил систематизировать наружные стены и выделить их основные виды, сходные между собой в теплотехническом отношении, рис. 3.4:

- однослойные (сплошные) стены;
- двухслойные стены с наружным утеплением;
- трехслойные стены с внутренним теплоизоляционным слоем;
- стены с неветилируемой воздушной прослойкой;
- стены с вентилируемой воздушной прослойкой.

3.3. Теплопередача в холодный период года

Тепловой поток (теплопередача) через ограждение конструкции возникает при разности температур Δt во внутреннем t_v и наружном воздухе $t_n(t_v - t_n)$. Зимой тепловой поток направлен из помещения на улицу, летом возможен обратный поток тепла, особенно, при облучении фасадов зданий солнечной радиацией.

Тепловой поток Q , то есть количество тепла, проходящего через 1 м^2 площади ограждения за 1 час, прямо пропорционален разности температур Δt ($t_v - t_n$) в $^{\circ}\text{C}$ и обратно пропорционален сопротивлению теплопередаче ограждающей конструкции $R_{то}$, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$:

$$Q = \frac{t_v - t_n}{R_{то}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.1)$$

где $R_{то}$ – общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$, (от температуры t_v до температуры t_n).

Графическое представление о теплопередаче через ограждающие конструкции приведено на рис. 3.5.

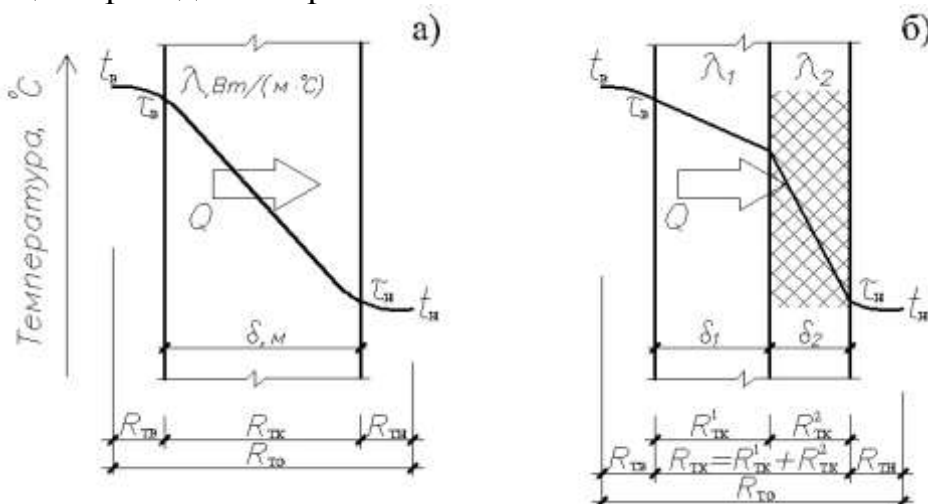


Рис. 3.5. Распределение температур в однослойном (а) и многослойном (б) ограждениях (по «глади стены»):

δ , δ_1 , δ_2 – толщины слоев; λ , λ_1 , λ_2 – коэффициенты теплопроводности материалов слоя, причем $\lambda_1 \gg \lambda_2$, Q – тепловой поток

Из рисунка 3.5 видно, что общее сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций $R_{то}$ (от температуры t_b до температуры t_n) состоит из трех слагаемых: сопротивление теплоперехода у внутренней поверхности $R_{тв}$ (перепад температур $t_b - \tau_b$), сопротивление теплопередаче конструкции ограждения $R_{тк}$ (перепад температур $\tau_b - \tau_n$) и сопротивление теплоперехода у наружной поверхности ограждения $R_{тн}$ (перепад температур $\tau_n - t_n$):

$$R_{то} = R_{тв} + R_{тк} + R_{тн}, (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт. \quad (3.2)$$

Сопротивления теплопередаче у внутренней и наружной поверхностей ограждения $R_{тв}$ и $R_{тн}$ определяются особенностями лучистого и конвективного теплообмена у этих поверхностей. Эти сопротивления являются обратными величинами коэффициентов теплоотдачи у внутренней α_b и наружной α_n поверхностей, то есть:

$$R_{тв} = \frac{1}{\alpha_b} \text{ и } R_{тн} = \frac{1}{\alpha_n}, (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт. \quad (3.3)$$

Значения коэффициентов α_b и α_n широко представлены в нормативной литературе.

Сопротивление теплопередаче однослойной конструкции ограждения или отдельного слоя $R_{тк}$ зависит от толщины ограждения или слоя – δ , м, и коэффициента теплопроводности материала ограждения или слоя – λ , Вт/(м·°C) и определяется по формуле:

$$R_{тк} = \frac{\delta}{\lambda}, (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт. \quad (3.4)$$

Для многослойных ограждений сопротивление теплопередаче $R_{тк}$ определяется как сумма сопротивлений теплопередаче отдельных слоев: (рис. 3.5 б):

$$R_{тк} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (3.5)$$

где n – количество материальных слоев в ограждении.

Из формул (3.4 и 3.5) следует, что величина сопротивления теплопередаче конструкции $R_{тк}$ возрастает с увеличением толщины ограждения или отдельного слоя δ и уменьшением теплопроводности материала, то есть коэффициента λ .

Таким образом, изменением конструкции ограждения, материалов слоев или их толщину можно получить высокоэффективную тепловую защиту зданий в холодный период года.

3.4. Проектирование и расчет ограждений для холодного периода года

Основная территория Российской Федерации находится в умеренном и холодном климате, поэтому проектирование теплозащиты зданий для холодного периода года является основным.

Проектирование теплозащиты *для холодного периода года* состоит из двух этапов:

На первом этапе определяются расчетные параметры климатических условий места строительства, микроклимата помещений, влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций и требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций.

На втором этапе выполняется конструирование ограждений и обеспечение основных параметров теплозащиты.

3.4.1. Расчетные параметры климата и микроклимата

Расчетными климатическими параметрами для холодного периода года являются:

- а) расчетная температура наружного воздуха t_n , °C;
- б) средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{оп}$, °C;
- в) продолжительность отопительного периода $z_{оп}$, сут.
- г) зона влажности места строительства (влажная, нормальная, сухая), определяемая по «Карте зон влажности» в СП 50.13330.2012.

Параметры внутренней среды помещений устанавливаются в зависимости от типа здания и назначения помещений. В одном здании могут оказаться помещения различного назначения, для которых устанавливаются различные по величине расчетные параметры.

Для жилых и общественных зданий это:

- а) температура внутреннего воздуха t_v , °C;
- б) относительная влажность внутреннего воздуха ϕ_v , %.

По соотношению t_v и ϕ_v определяется влажностный режим помещений (сухой, нормальный, влажный и мокрый), рис. 3.6.

Влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются влажностным режимом помещений с одной стороны и зоной влажности места строительства – с другой (по «Карте зон влажности»), рис. 1.6.



Рис. 3.6. К определению влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций (А и Б) и расчетных коэффициентов теплопроводности материалов λ_A или λ_B .

3.4.2. Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче R_{TO}^{TP}

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче R_{TO}^{TP} определяется климатическими условиями места строительства, но зависит также от назначения здания (жилое, общественное, производственное) и вида ограждающей конструкции (стены, покрытия, перекрытия, окна и т.д.), табл. 3.3.

Климатические условия места строительства определяются градусо-сутками отопительного периода ГСОП по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{\text{оп}}) \cdot z_{\text{оп}}, \quad (3.6)$$

где $t_{\text{оп}}$ и $z_{\text{оп}}$ – средняя температура наружного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и продолжительность отопительного периода (сутки) со среднесуточной температурой $< 10^{\circ}\text{C}$ для лечебных зданий и детских учреждений и $< 8^{\circ}\text{C}$ – в остальных случаях.

По значению ГСОП из нормативной таблицы 3 СП 50.13330.2012 выбирается величина R_{TO}^{TP} в зависимости от назначения здания и вида ограждения. Фрагмент из нормативной таблицы приведен в таблице 3.3.

Из таблицы 3.3 видно, что величина R_{TO}^{TP} неодинакова для различных ограждающих конструкций при одной и той же величине ГСОП. Например, для района строительства с ГСОП = 6000 требуемое сопротивление теплопередаче R_{TO}^{TP} для жилых зданий будет равно: для наружной стены – $3,5 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$, для покрытия – $5,2 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$, а для окна – только $0,6 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Таблица 3.3

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения	Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче R_{TO}^{TP} м ² ·°С/Вт, ограждающих конструкций		
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей
1	2	3	4	5
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	0,3
	4000	2,8	4,2	0,45
	6000	3,5	5,2	0,6
	8000	4,2	6,2	0,7
	10000	4,9	7,2	0,75
	12000	5,6	8,2	0,8
2. Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимом.	2000	1,8	2,4	0,3
	4000	2,4	3,2	0,4
	6000	3,0	4,0	0,5
	8000	3,6	4,8	0,6
	10000	4,2	5,6	0,7
	12000	4,8	6,4	0,8

3.4.3. Разработка конструктивного решения наружных ограждений и определение основных параметров теплозащиты

Современные ограждающие конструкции состоят из трех основных функциональных слоев: конструкционного, теплоизоляционного и облицовочного. В зависимости от используемых материалов слои могут выполнять несколько функций. В некоторых конструктивных решениях используют специальные ветро-, влаго-, паронепроницаемые слои.

В каждом конкретном случае проектировщик принимает решение о разработке новых конструкций ограждения с использованием местных материалов или использует существующие рекомендации по типовым решениям ограждающих конструкций.

Толщины функциональных слоев в ограждении определяются законами прочности, теплопередачи и паропроницаемости, толщины слоев должны быть привязаны к модульной системе (укрупненной или дробной), к толщинам используемых изделий с учетом монтажных швов.

Так, например, толщина кирпичной кладки (δ) будет кратна ширине кирпича (120 мм) с учетом толщины растворных швов:

- толщина в 1 кирпич – 250 мм (120+10+120) или 0,25 м;
- толщина в 1,5 кирпича – 380 мм (250+10+120) или 0,38 м;
- толщина в 2 кирпича – 510 мм (250+10+250) или 0,51 м.

Толщина теплоизоляционных слоев определяется необходимым уровнем теплозащиты и привязана к производственным размерам теплоизоляционных плит или изделий.

Выбор материала для функциональных слоев определяется его свойствами и расчетными параметрами, основными из которых являются коэффициент теплопроводности материала λ_i Вт/(м·°С) и коэффициент паропроницаемости μ_i , мг/(м·ч·Па). Толщина функционального слоя составляет еще один расчетный параметр – δ_i , м.

Таким образом, получены все необходимые параметры для расчетов сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции:

– отдельный слой $R_{Ti} = \delta_i / \lambda_i$; (3.7)

– конструкция ограждения $R_{TK} = \sum_1^n \delta_i / \lambda_i$; (3.8)

– общее сопротивление теплопередаче ограждения с учетом теплопереходов у внутренней ($R_{TB}=1/\alpha_B$) и наружной ($R_{TH}=1/\alpha_H$) поверхностей;

$$R_{TO} = R_{TB} + R_{TK} + R_{TH} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_H}. \quad (3.9)$$

Толщина теплоизоляционного слоя может быть принята конструктивно с последующим определением R_{TO} или может определяться путем расчета по формуле (3.9), в которой R_{TO} заменено на R_{TO}^{TP} .

Пример 3.1. Определить толщину утеплителя для двухслойного ограждения с тонким слоем наружной штукатурки. Ограждение применимо для ГСОП = 6000, °С·сут и $R_{TO}^{TP} = 3,5$ (м²·°С)/Вт, $t_e = 20^\circ\text{C}$ и $t_n = -31^\circ\text{C}$.

Принимаем кирпичную кладку из глиняного обыкновенного кирпича толщиной 1,5 кирпича; $\delta_{кл} = 0,38$ м; $\lambda_{кл} = 0,7$ Вт/(м·°С). В качестве утеплителя принимаем минераловатные плиты $\lambda_{ym} = 0,042$ Вт/(м·°С), штукатурка из сухих смесей $\delta_{ш} = 10$ мм; $\lambda_{ш} = 0,12$ Вт/(м·°С).

С использованием формулы (3.9) запишем:

$$R_{TO} = R_{TO}^{TP} = R_{TB} + R_{TK} + R_{TH} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{0,38}{0,7} + \frac{\delta_{YT}}{0,042} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{1}{\alpha_H};$$

$$3,5 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,7} + \frac{\delta_{YT}}{0,042} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{1}{23}; \quad \frac{\delta_{YT}}{0,042} = 3,5 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,38}{0,7} - \frac{0,01}{0,12} - \frac{1}{23};$$

$$\delta_{YT} = 0,042(3,5 - 0,11 - 0,54 - 0,083 - 0,04) = 0,11 \text{ м.}$$

Следует принять толщину плиты из минеральной ваты – 120 мм или 0,12 м. Увеличение толщины теплоизоляционного слоя до 0,12 м против 0,11 м приведет к увеличению R_{mo} :

$$R_{\text{то}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,7} + \frac{0,12}{0,042} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{1}{23} = 3,63 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}.$$

3,63 > 3,5, следовательно, теплозащита ограждающей конструкции обеспечена. Причем в рассмотренной конструкции не учтены облицовочные слои (например, внутренняя и наружная штукатурка), что еще более увеличит значение $R_{\text{то}}$.

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{то}}$, полученное по формуле (3.9), относится к плоскому элементу ограждающих конструкций, поэтому его называют «по глади стены».

Наряду с «гладью стены» в наружных стенах существует множество участков с теплотехнической неоднородностью, так называемых «мостков холода». Это несущие конструкции, встроенные в наружные стены, перемычки, балконные плиты, наружные углы зданий, оконные откосы и т.п.

Теплопотери в этих участках будут повышенными. Следовательно, расчет теплопотерь зданий по общему сопротивлению $R_{\text{то}}$, которое определено по «глади стены», будет некорректным.

В связи с этим в СП 50 введено понятие «приведенное сопротивление теплопередаче» $R_{\text{то}}^{\text{пр}}$ и метод его расчета, который учитывает неравномерность теплопотерь на разных участках ограждений. Метод основан на построении температурных полей с использованием компьютерных программ.

Действительные теплопотери зданий определяются приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{\text{то}}^{\text{пр}} \geq R_{\text{то}}^{\text{тр}}$. В первом приближении для учета снижения теплозащиты в участках ограждения с теплотехническими неоднородностями (в «мостиках холода») величина $R_{\text{то}}$ может быть увеличена на 15÷25 %.

Расчет теплозащиты зданий предусматривает не только заданный уровень сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, но также теплового комфорта в помещениях зданий и невыпадение конденсата на внутренних поверхностях ограждений в местах теплотехнических неоднородностей.

Обеспечение теплового комфорта в помещениях зданий определяется перепадами температур между внутренним воздухом $t_{\text{в}}$ и внутренней поверхностью наружных ограждений по глади стены $\tau_{\text{в}}: \Delta t = (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})$, что связано с теплообменом между человеком и ограждающими конструкциями за счет излучения (радиационный теплообмен). Чем меньше разность $(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})$, тем комфортнее теплоощущение человека в помещении.

В нормативных документах прослеживается тенденция ретроспективного снижения разности $(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})$ с 6 до 4°С для жилых и с 7 до

4,5 °С для общественных зданий, табл. 3.4. То есть на нормативном уровне повышается тепловой комфорт в помещениях. В зарубежных нормах величина разности составляет 1–2 °С.

Таблица 3.4

Разность $\Delta t_n = (t_b - \tau_b)$ по нормативным документам

Нормативный документ	Разность $\Delta t_n = (t_b - \tau_b)$ для стен зданий	
	жилых	общественных
СНиП II А.7-62	6	7
СНиП II-3-79*	4	4,5
СНиП 23-02-2003	4	4,5
СП 50.13330.2012	4	4,5

Ограждение будет соответствовать требованиям норм, если расчетная величина разности $\Delta t_0 = (t_b - \tau_b)$ будет меньше нормируемой Δt_n , то есть:

$$\Delta t_0 \leq \Delta t_n. \quad (3.10)$$

Для определения расчетной величины Δt_0 в нормативных документах приведена формула:

$$\Delta t_0 = (t_b - \tau_b) = \frac{n \cdot (t_b - t_n)}{R_{то} \cdot \alpha_b}, \quad (3.11)$$

где t_b и t_n – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °С;

n – коэффициент, зависящий от положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

$R_{то}$ – сопротивление теплопередаче ограждения ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$)/Вт;

α_b – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждения, Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$).

Из формулы (3.11) следует, что с ростом $R_{то}$ уменьшается разность $(t_b - \tau_b)$, следовательно, повышается комфорт в помещениях.

Пример 3.2. Для ограждающей конструкции, рассмотренной в предыдущем примере 3.1 с $R_{то} = 3,63 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$, получим:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_b - t_n)}{R_{то} \cdot \alpha_b} = \frac{1 \cdot (20 + 31)}{3,63 \cdot 8,7} = 1,6^\circ\text{С},$$

$\Delta t_0 = 1,6^\circ\text{С} < 4,0 = \Delta t_n$, следовательно, тепловой комфорт в помещении обеспечен.

Невыпадение конденсата на внутренней поверхности ограждений в зоне теплопроводных включений обеспечивается неравенством $\tau'_b > t_p$, где τ'_b – температура внутренних поверхностей наружных стен в местах теплотехнических неоднородностей; t_p – температура точки росы в этих зонах помещений.

На рис. 3.7 приведено распределение температур в теплотехнически неоднородных узлах ограждающих конструкций.

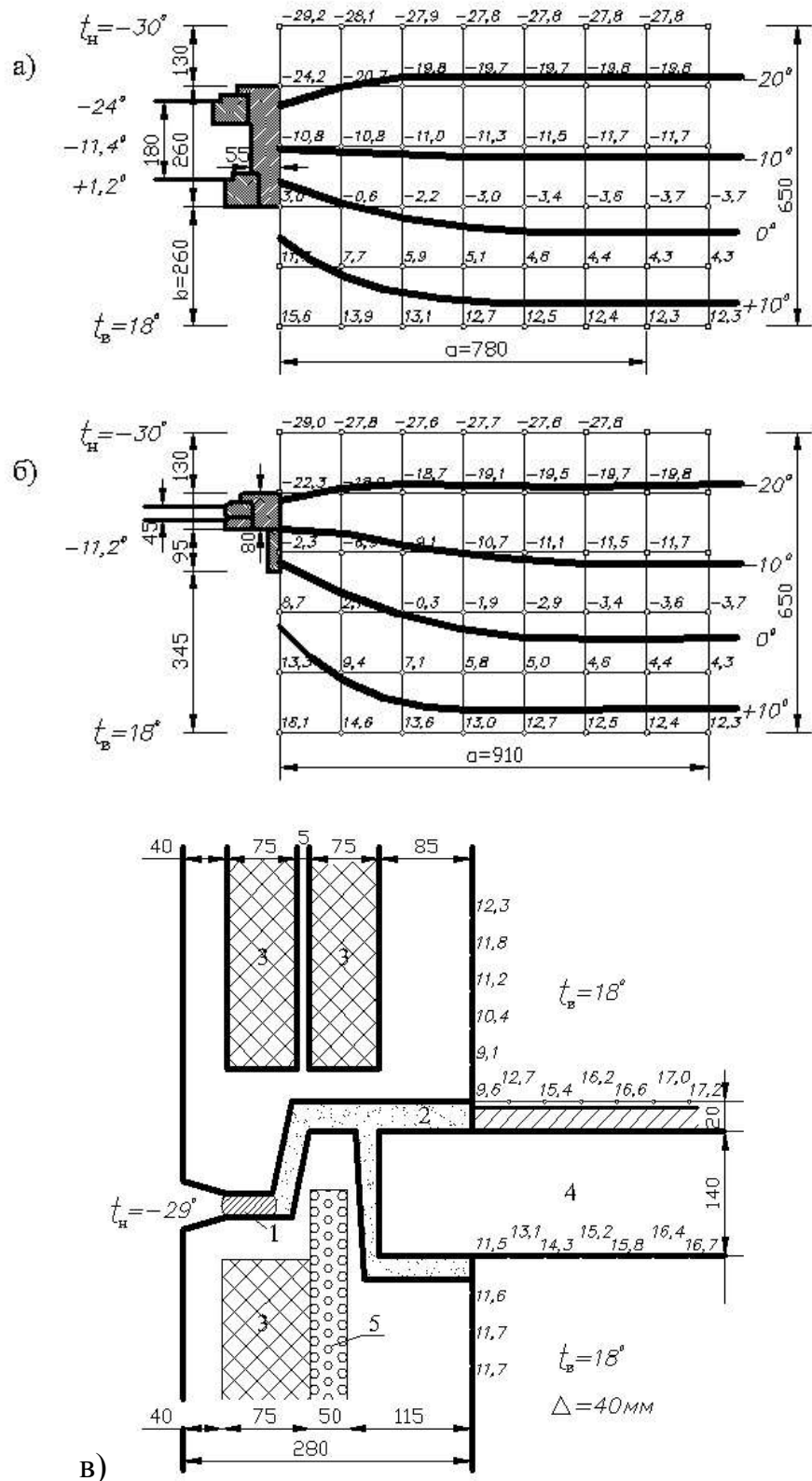


Рис. 3.7. Теплотехнически неоднородные узлы ограждающих конструкций. Распределение температур в оконном проеме с отдельными оконными переплетами (а) и со спаренными (б), температуры внутренней поверхности в горизонтальном стыке трехслойных стеновых панелей (в)

Из рисунка 3.7 видно, что температура внутренних поверхностей в оконных откосах и в стыке трехслойных панелей (3°C ; $8,7^{\circ}\text{C}$; $9,1^{\circ}\text{C}$) оказывается ниже температуры точки росы (табл. 1.7) и начинается выпадение конденсата.

Длительная конденсация водяного пара на внутренних поверхностях ограждений в зонах с теплотехнической неоднородностью приводит к возникновению плесени, как это показано на оконных откосах в наружном углу здания, рис. 3.8.

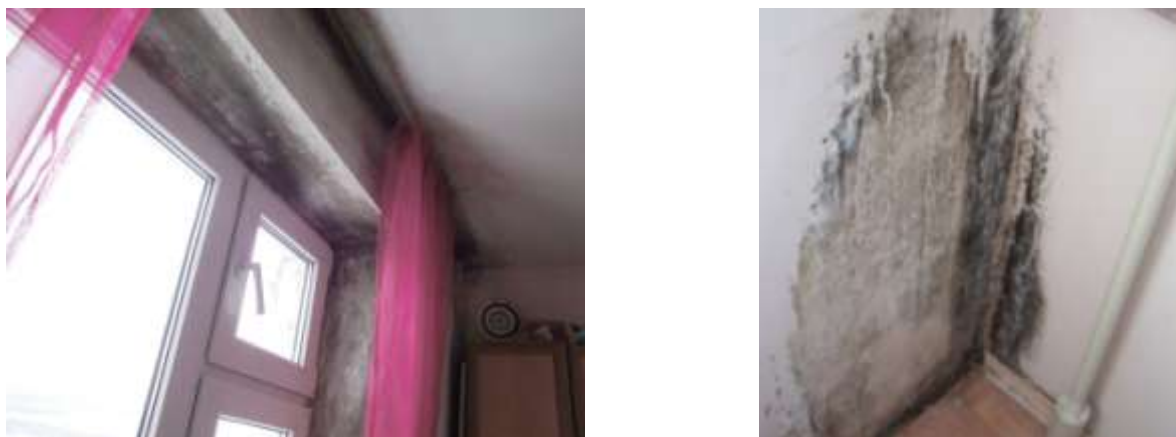


Рис. 3.8. Плесень на оконных откосах и наружных углах в жилом доме (Казань, ул. Глушко, д. 9)

3.5. Теплопередача в теплый период года

Климатической особенностью теплого периода года является повышенная температура наружного воздуха и высокая интенсивность солнечной радиации. В этих условиях ограждающие конструкции должны предотвратить поступление избыточного тепла в помещения зданий. Тепловой поток солнечной радиации в соответствии с суточным ходом солнца по небосводу перемещается по фасаду здания и воздействует как на «глухие» участки ограждений, так и на светопрозрачные. В соответствии с этим возникают два механизма защиты от поступления избыточного тепла в помещения зданий.

Первый механизм защиты определяется тепловой волной, которая передается в «глухих» ограждениях от перегретой наружной поверхности к внутренней. Степень повышения температуры внутренних поверхностей и определяет перегрев помещений. Этот механизм получил название «теплоустойчивость ограждающих конструкций».

Второй механизм защиты определяется величиной энергии солнечной радиации, которая поступает в помещения зданий через светопрозрачную ограждающую конструкцию. Этот механизм защиты приобрел в последние годы наибольшую значимость в связи с нарастающей тенденцией по увеличению площади световых проемов в современных зданиях, вплоть до полностью остекленных фасадов.

Защита от избыточного тепла солнечной радиации осуществляется в два этапа. На первом этапе используются солнцезащитные стекла и стеклопакеты, которые экранируют часть солнечной энергии. Если этого снижения энергии оказывается недостаточно для обеспечения теплового комфорта в помещениях, то наступает второй этап защиты, на котором проектируются дополнительные экранные системы в виде солнцезащитных устройств (СЗУ).

3.5.1. Теплоустойчивость ограждающих конструкций

Первый механизм учета избыточного тепла регламентируется в СП 50 в разделе «Теплоустойчивость ограждающих конструкций». Контроль теплоустойчивости ограждающих конструкций является обязательным в климатических районах со среднемесячной температурой самого жаркого месяца – июля – 21°C и выше.

В связи с тем, что изменчивость солнечной радиации и температуры воздуха имеет суточный цикл, контроль перегрева помещений нормируется амплитудой колебаний температуры внутренней поверхности ограждения A_{τ_B} .

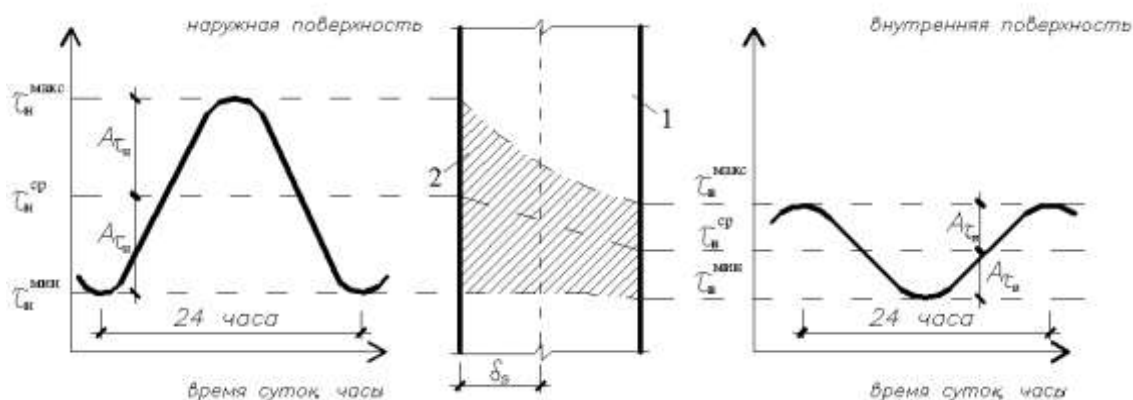


Рис. 3.9. Схема передачи тепловой волны через однородную однослойную конструкцию:

1 – ограждающая конструкция; 2 – зона затухания тепловой волны в ограждении;
 δ_s – слой резких колебаний

Ограждение будет соответствовать требованиям СП 50 по теплоустойчивости, если расчетная амплитуда температуры внутренней поверхности A_{τ_B} будет ниже нормируемой $A_{\tau_B}^{TP}$, которая определяется по формуле:

$$A_{\tau_B}^{TP} = 2,5 - 0,1 \cdot (t_H - 21), \quad (3.12)$$

где t_H – среднемесячная температура воздуха в июле, $^{\circ}\text{C}$.

Схема перехода тепловой волны через ограждающую конструкцию приведена на рисунке 3.9.

Из рисунка 3.9 видно, что амплитуда температуры наружной поверхности A_{τ_H} затухает в ограждении и проявляется на внутренней поверхности в виде амплитуды A_{τ_B} .

Амплитуда колебаний температуры наружной поверхности A_{τ_H} определяется температурой воздуха t_H , интенсивностью суммарной солнечной радиации Q , коэффициентом поглощения солнечной радиации, наружным слоем ограждения ρ и может быть определена по формуле:

$$A_{\tau_H} = 0,5 \cdot t_H + \rho \cdot (Q_{\text{макс}} - Q_{\text{ср}}) / \alpha_H, \quad (3.13)$$

где $Q_{\text{макс}}$ и $Q_{\text{ср}}$ – соответственно, максимальное и среднее значение суточной интенсивности суммарной солнечной радиации на фасаде соответствующей ориентации, Вт/м²;

α_H – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждения, Вт/(м² · °C).

При переходе через ограждающую конструкцию A_{τ_H} затухает на величину ν , что позволяет определить амплитуду колебаний температуры на внутренней поверхности A_{τ_B} :

$$A_{\tau_B} = A_{\tau_H} / \nu. \quad (3.14)$$

Коэффициент затухания тепловой волны ν представляет собой безразмерную величину, которая зависит от величины тепловой инерции ограждения D . Чем выше тепловая инерция ограждения, тем больше затухает тепловая волна и тем ниже будет амплитуда температуры внутренней поверхности A_{τ_B} .

Тепловая инерция однослойного ограждения или отдельного слоя многослойного ограждения определяется произведением:

$$D = R \cdot S, \quad (3.15)$$

где R – сопротивление теплопередаче, (м²·°C)/Вт;

S – коэффициент теплоусвоения материала слоя, Вт/(м²·°C).

Полный расчет коэффициента ν зависит от материала слоев, их толщины и последовательности расположения слоев в ограждении. Расчет достаточно трудоемкий. Для поверочных расчетов Богословским В.Н. предложены упрощенные формулы:

- для однослойных ограждений:

$$\nu \approx 2^D, \quad (3.16)$$

- для многослойных ограждений:

$$\nu \approx 2^{D_1} \cdot 2^{D_2} \cdot 2^{D_3} \cdot \dots \cdot 2^{D_n} = 2^{\sum_{i=1}^n D_i}, \quad (3.17)$$

где n – количество материальных слоев в ограждении.

3.5.2. Перегрев помещений от солнечной радиации, поступающей через световые проемы

3.5.2.1. Защита от перегрева солнцезащитными стеклами и стеклопакетами

Успехи в технологии производства стекла позволили получить оконные и витринные стекла с различными свойствами, в том числе теплозащитные, теплопоглощающие, теплоотражающие и солнцезащитные стекла. Особенностью этих стекол является высокое отражение в инфракрасной (тепловой) части солнечного спектра (60–75%). Эффект солнцезащиты достигается тонкими металлическими или оксидометаллическими покрытиями по поверхности стекол. Стекла называют низкоэмиссионными, а в зависимости от покрытия – **твердыми**, если покрытие выполнено из оксидометаллических пленок, или **мягкими**, если покрытие выполнено из металлических пленок.

Степень защиты таких стекол определяется так называемым «солнечным фактором, $G_{сп}$ », который представляет собой отношение величины солнечной энергии, прошедшей через остекление $Q_{про}$ к величине солнечной энергии, пришедшей к наружной поверхности остекления $Q_{при}$:

$$G_{сп} = Q_{про} / Q_{при} . \quad (3.18)$$

Значения солнечного фактора некоторых стеклопакетов компании AGC представлены в таблице 3.5.

Можно видеть, что стеклопакеты, представленные в таблице 3.5, на 33–60% снижают поступление солнечной энергии в помещения зданий. В ряде климатических районов такое снижение энергии может оказаться достаточным для обеспечения теплового комфорта в помещениях. В климатических районах с высокой интенсивностью солнечной радиации такое снижение энергии может оказаться недостаточным. В этих районах требуется дополнительная защита в виде солнцезащитных устройств (СЗУ), проектирование которых становится неотъемлемой частью фасадных систем.

Таблица 3.5

Величина солнечного фактора стеклопакетов компании AGC

№ п/п	Наименование стеклопакетов	Формула стеклопакета	Солнечный фактор $G_{сзу}$, отн. ед
1	Stopsol Classic Clear	6-15-6	0,45
2	Stopsol Supersilver Clear	6-15-6	0,6
3	Stopsol Classic Clear + Planibel TOP N low E	6-15-6	0,33
4	Stopsol Supersilver Clear + Planibel TOP N low E	6-15-6	0,48

3.5.2.2. Защита от перегрева солнцезащитными устройствами

Солнцезащитными (СЗУ) называют любые устройства, расположенные в створе светопроема или на фасаде здания, которые экранируют

поступление в помещения зданий прямой солнечной радиации. Это козырьки, регулируемые и нерегулируемые жалюзи с горизонтальными и вертикальными ламелями, маркизы, стационарные сотовые нерегулируемые конструкции, СЗУ в виде цилиндров и сфер.

Наибольшее применение находят СЗУ в виде козырьков и жалюзи с вертикальными и горизонтальными ламелями. Ламели могут располагаться под различными углами к плоскости фасада. Схемы таких типов СЗУ приведены на рис. 3.10, а на рис. 3.11–3.13 показано применение различных типов СЗУ на объектах архитектуры.

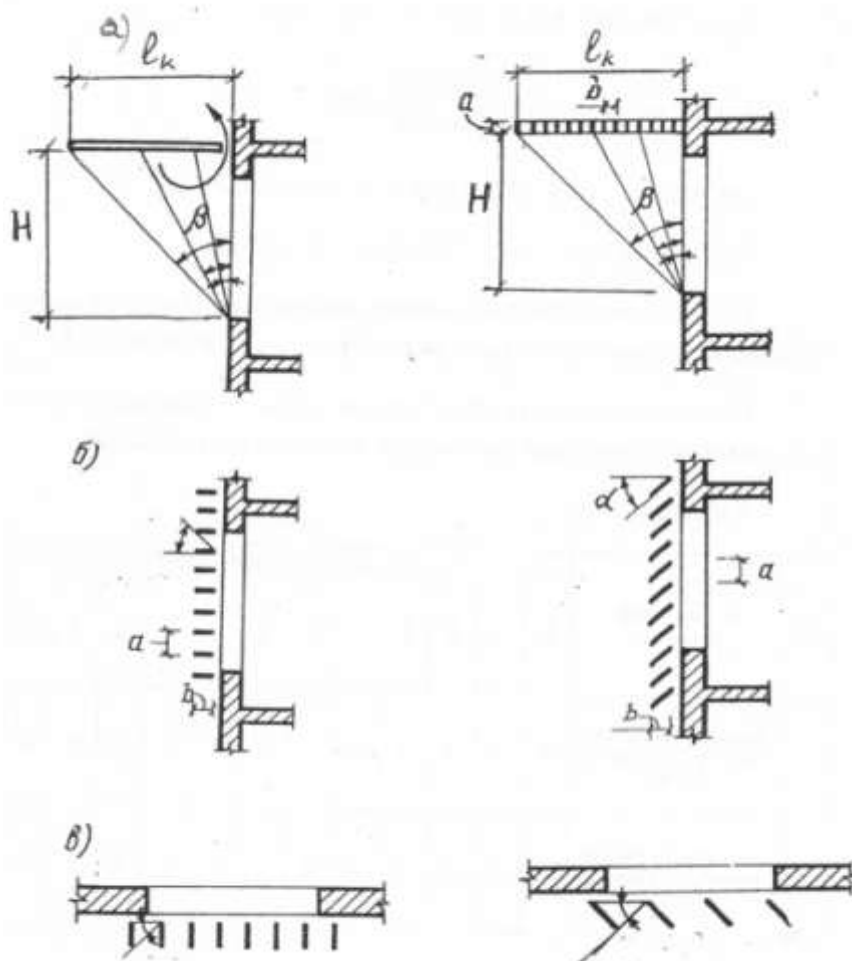


Рис. 3.10. Типовые схемы солнцезащитных устройств:

а – козырьки сплошные и решетчатые, б – жалюзи горизонтальные стационарные и регулируемые, в – жалюзи вертикальные стационарные и регулируемые

СЗУ имеют разный уровень солнцезащиты, что определяется величиной солнечного фактора $G_{сзу}$. Величина солнечного фактора у СЗУ различных типов может изменяться от 0 (полное экранирование солнечной радиации) до 1,0, когда экранирование солнечной радиации отсутствует.

Проектирование выполняется в соответствии со сводом правил СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования». В этом нормативном документе введено понятие

«общий солнечный фактор», который представляет собой произведение солнечного фактора стеклопакета $G_{сп}$ и солнечного фактора солнцезащитного устройства $G_{сзу}$:

$$G_{общ} = G_{сп} \cdot G_{сзу} \quad (3.19)$$

Приведена классификация СЗУ по уровню солнцезащиты, основанная на величине общего солнечного фактора, табл. 3.6.

Таблица 3.6

**Уровни солнцезащиты СП 370.1325800.2017
(совместное влияние СЗУ и остекления)**

Уровни солнцезащиты	Солнечный фактор $G_{общ}$, отн. ед.
Очень высокий	0,00 – 0,20
Высокий	0,21 – 0,40
Средний	0,41 – 0,60
Низкий	0,61 – 0,80
Очень низкий	0,81 – 1,00

Проектирование солнцезащитных устройств по СП 370 сводится к выбору типа СЗУ, его параметров и расположению относительно светопроема, при котором величина его солнечного фактора должна соответствовать величине годовой суммы тепла солнечной радиации на горизонтальную поверхность в районе проектирования. Чем выше годовая сумма тепла, тем более высокий уровень солнцезащиты должно иметь СЗУ, чтобы защитить помещения зданий от перегрева. При этом особое внимание должно быть уделено светопроемам, расположенным на южных и юго-западных фасадах, как подверженным наибольшему тепловому воздействию.

Козырьки



Стационарные нерегулируемые СЗУ



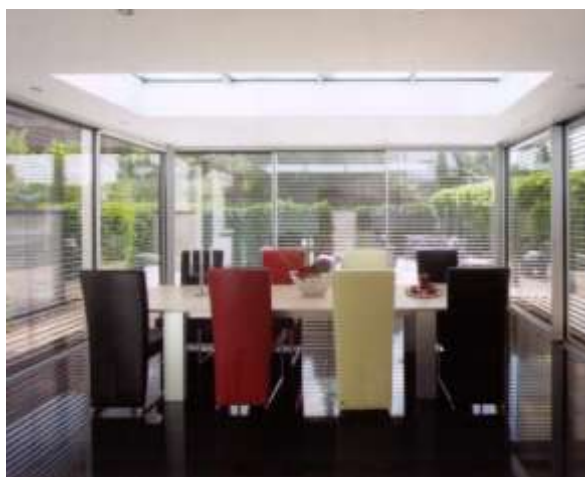
Рис. 3.11. Козырьки и стационарные сотовые нерегулируемые СЗУ



Вертикальные ламели



Горизонтальные ламели



Регулируемые жалюзи



Регулируемые жалюзи

Рис. 3.12. Вертикальные и горизонтальные ламели и регулируемые жалюзи



Маркиза



СЗУ в виде сферы



СЗУ в виде цилиндра

Рис. 3.13. Маркизы и СЗУ в виде сферы и цилиндра

3.6. Паропроницаемость и конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях

Паропроницаемость

В воздухе помещений и в наружном воздухе всегда содержится некоторое количество водяного пара. Степень насыщения воздуха водяным паром определяется его парциальным давлением. Это давление в воздухе помещений в зимний период (e_v) всегда выше, чем в наружном воздухе (e_n), что и является побудителем переноса водяного пара через ограждающую конструкцию из помещения в наружный воздух. Чем больше разность ($e_v - e_n$), тем большее количество водяного пара проходит через ограждающую конструкцию.

Количество водяного пара G в мг, которое проходит через 1 м^2 площади ограждения в течение 1 часа, определяется по формуле:

$$G = \frac{e_v - e_n}{R_{\text{по}}}, \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч}, \quad (3.20)$$

где $R_{\text{по}}$ – общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$.

Графическое представление о переносе водяного пара через ограждение представлено на рис. 3.14.

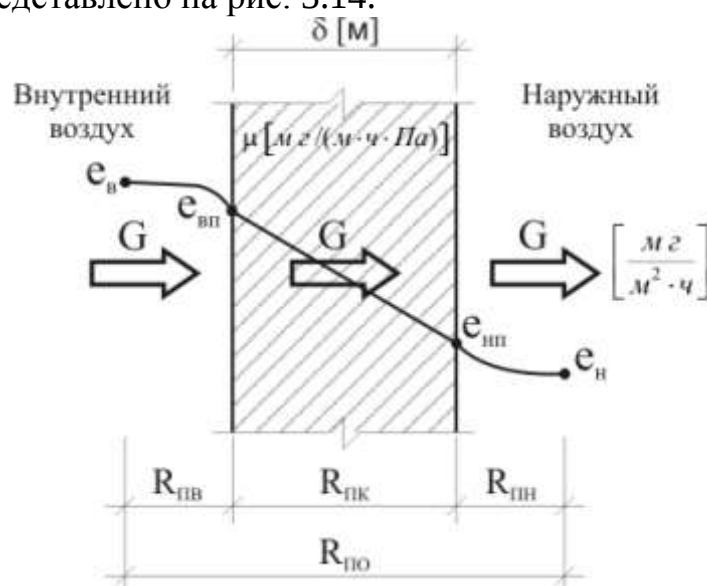


Рис. 3.14. Перенос парообразной влаги через однослойную ограждающую конструкцию

Из рис. 3.14 следует, что общее сопротивление паропроницанию ограждения складывается из трех составляющих:

$$R_{\text{по}} = R_{\text{пв}} + R_{\text{пк}} + R_{\text{пн}}, \quad (3.21)$$

где $R_{\text{пв}}$ и $R_{\text{пн}}$ – сопротивления влагообмену у внутренней и наружной поверхностей ограждения.

Сопротивление паропроницанию однослойного ограждения или отдельного слоя $R_{\text{пк}}$ определяется по формуле:

$$R_{\text{пк}} = \frac{\delta}{\mu}, \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}} \right), \quad (3.22)$$

где δ – толщина однослойного ограждения или отдельного слоя в многослойном ограждении, м;

μ – коэффициент паропроницаемости материала слоя, мг/(м·ч·Па).

Из формулы (3.22) следует, что сопротивление паропроницанию растет с увеличением толщины слоя δ или выбора материала с меньшим коэффициентом паропроницаемости μ .

У многослойных ограждений сопротивление паропроницанию определяется суммой сопротивлений отдельных слоев:

$$R_{\text{пк}} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n} = \sum_i^n \frac{\delta_i}{\mu_i}. \quad (3.23)$$

По аналогии с теплопередачей можно записать формулу переноса водяного пара через отдельные участки ограждающей конструкции и ограждения в целом G :

$$G = \frac{e_{\text{в}} - e_{\text{н}}}{R_{\text{по}}} = \frac{e_{\text{в}} - e_{\text{вп}}}{R_{\text{пв}}} = \frac{e_{\text{вп}} - e_{\text{нп}}}{R_{\text{пв}}} = \frac{e_{\text{нп}} - e_{\text{н}}}{R_{\text{пн}}}. \quad (3.24)$$

Из формулы (3.24) следует, что через отдельные участки и ограждение в целом проходит равное количество водяного пара. Формула (3.24) справедлива при отсутствии конденсации водяного пара в ограждении. При отсутствии конденсации количество водяного пара, входящего в ограждающую конструкцию, равно количеству водяного пара, выходящему через ограждение в наружный воздух, что не отражается на эксплуатационных свойствах ограждающих конструкций.

Конденсация

Конденсация возникает в тех участках ограждения, в которых относительная влажность воздуха в порах материала ϕ станет равной 100 %, то есть действительное парциальное давление водяного пара (e) будет равно давлению насыщения (E), т.е. $E = e$. При этом из ограждающей конструкции в наружный воздух будет выходить меньшее количество водяных паров, чем входит в ограждение через внутреннюю поверхность. Разность между входящим $G_{\text{вход}}$ и выходящим $G_{\text{вых}}$ количеством водяного пара будет равна количеству конденсата, остающегося в ограждении $G_{\text{конд}}$:

$$G_{\text{конд}} = G_{\text{вход}} - G_{\text{вых}}. \quad (3.25)$$

Конденсат увеличивает влажность материалов, следовательно, снижает теплозащиту ограждающих конструкций.

а)



б)



в)



г)



д)



е)



Рис. 3.15. Дефекты и разрушения в многослойных ограждающих конструкциях:
 а, б) разрушение глазурованного слоя керамического кирпича по линии перекрытий и перемычек; в) разрушение глазурованного слоя керамического кирпича в угловой зоне;
 г) разрушение кирпичной облицовки по утеплителю из пенопласта, д,е) разрушение
 кирпичной облицовки вместе с утеплителем

При многократных увлажнениях возникают дефекты и разрушения ограждающих конструкций, что снижает их долговечность. Примеры

дефектов и разрушений ограждающих конструкций приведены на рис. 3.15.

Закономерности конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях определяются по графоаналитическому методу Фокина. Метод предусматривает построение по сечению ограждения распределения температуры (t_b, τ_x, t_n), действительного (e_b, e_x, e_n) и максимального парциального давления (E_b, E_x, E_n). По пересечению распределений e_x с E_x делается вывод о конденсации или ее отсутствии.

В силу небольших значений $R_{пв}$ и $R_{пн}$ по сравнению с $R_{пк}$ Фокин К.Ф. рекомендует их не учитывать, а общее сопротивление паропроницанию ограждения $R_{по}$ заменить величиной $R_{пк}$. При этом значения $e_{вп}$ и $e_{нп}$ заменяются при расчетах на e_b и e_n (рис. 3.14).

Распределение e_x и τ_x по сечению ограждения определяется по формулам (3.26) и (3.27), а распределение E_x определяется по величине τ_x по справочным таблицам или по формуле (3.28).

$$e_x = e_b - \frac{e_b - e_n}{R_{пк}} \cdot R_{пх}, \quad (3.26)$$

где $R_{по}$ и $R_{пх}$ – общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции и сопротивление паропроницанию части конструкции от внутренней поверхности до сечения x .

Значения температур в различных сечениях ограждающей конструкции (τ_x) определяются по аналогичной формуле:

$$\tau_x = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_{то}} \cdot R_{тх}, \quad (3.27)$$

где $R_{то}$ и $R_{тх}$ – общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и сопротивление теплопередаче части конструкции от внутренней поверхности до сечения x , включая сопротивление теплопередаче $R_{тв}$.

$$E_x = 1,84 \cdot 10^{11} \exp \left(- \frac{5330}{273 + \tau_x} \right). \quad (3.28)$$

В зависимости от конструкции ограждения, использованных материалов и температуры наружного воздуха взаимное расположение распределений e_x и E_x может иметь три варианта, рис. 3.16. В варианте *a* распределение E_x расположено выше распределения e_x , следовательно, относительная влажность воздуха в порах материала $\phi < 100 \%$, конденсация парообразной влаги отсутствует. В варианте *б* ($t_{н1} > t_{н2}$) распределения e_x и E_x соприкасаются в одной точке, в которой $\phi = 100 \%$ и образуется плоскость конденсации. В варианте *в* ($t_{н2} > t_{н3}$) распределение E_x пересекает линию e_x в двух точках, между которыми $\phi = 100 \%$, то есть образуется зона конденсации.

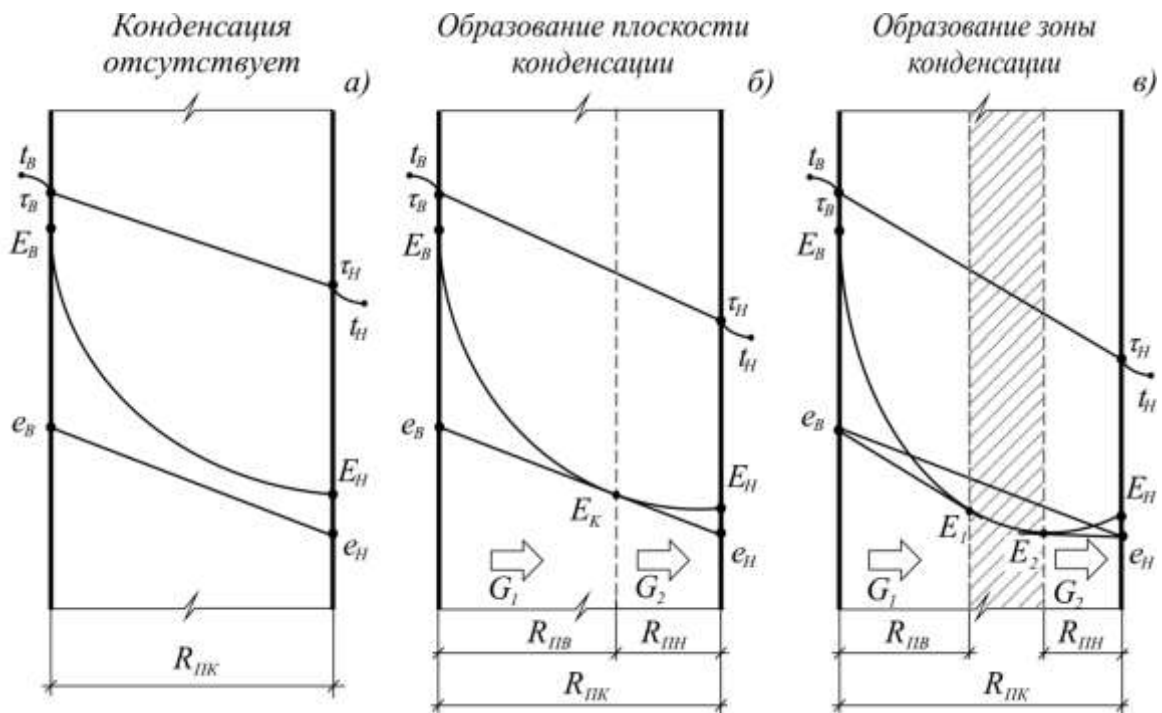


Рис. 3.16. Распределение температуры (τ_x) максимального (E_x) и действительного (e_x) парциального давления водяного пара в однослойной конструкции

В варианте **а** (рис 3.16) через ограждение проходит водяной пар в количестве, определяемом по формуле (3.20). В варианте **б** (рис. 3.16) в плоскости конденсации задерживается некоторое количество конденсированной влаги, поэтому количество водяного пара, входящего в ограждение G_1 и исходящее из него G_2 , не будут равны, а количество конденсата в единицу времени (за 1 час) $G_{\text{конд}}$ может быть определено по формуле:

$$G_{\text{конд}} = G_1 - G_2 = \frac{e_B - E_K}{R_{\text{пв}}} - \frac{E_K - e_H}{R_{\text{пн}}}, \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч} . \quad (3.29)$$

В варианте **в** (рис. 3.16) количество конденсата, выпадающего за 1 час, (в заштрихованной зоне) определяется как разность водяного пара (G_1) и (G_2) до и после конденсации:

$$G_{\text{конд}} = G_1 - G_2 = \frac{e_B - E_1}{R_{\text{пв}}} - \frac{E_2 - e_H}{R_{\text{пн}}}, \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч} . \quad (3.30)$$

Пример 3.3. По методу Фокина построить распределения температуры, парциального давления и давления насыщения водяного пара по сечению ограждающей конструкции. Сделать вывод о наличии или отсутствии конденсации водяного пара в ограждении.

Параметры ограждения. Однослойная кирпичная стена толщиной $\delta = 0,77 \text{ м}$ (в три кирпича), коэффициент теплопроводности кладки $\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, коэффициент паропроницаемости кладки $\mu = 0,11 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$. Для построения распределений τ_i, E_i, e_i ограждение разделено на пять слоев по $0,154 \text{ м}$.

Условия эксплуатации. Микроклимат помещения:
 $t_B = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_B = 55\%$, $E_B = 2338 \text{ Па}$, $e_B = (\varphi_B \cdot E_B)/100 = (55 \cdot 2338)/100 = 1286 \text{ Па}$.

Климат местности:
 $t_H = -10,2^\circ\text{C}$, $\varphi_H = 84\%$, $E_H = 260 \text{ Па}$, $e_H = (\varphi_H \cdot E_H)/100 = (84 \cdot 260)/100 = 218 \text{ Па}$.

Решение. *Определение теплотехнических параметров ограждения.*

Сопротивление паропроницанию стены и условного слоя:

$$R_{\text{ПК}} = \delta/\mu = 0,77/0,11 = 7 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{Мг}; \quad R_{\text{пг}} = 0,154/0,11 = 1,4 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{Мг}.$$

Сопротивление теплопередаче стены и условного слоя:

$$R_{\text{ТО}} = R_{\text{ТВ}} + \frac{\delta}{\lambda} + R_{\text{ТН}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,77}{0,7} + \frac{1}{23} = 0,11 + 1,1 + 0,04 = 1,25 \left(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \right) / \text{Вт};$$

$$R_{\text{ТИ}} = 0,154/0,7 = 0,22 \left(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \right) / \text{Вт};$$

$$\text{где } R_{\text{ТВ}} = 1/\alpha_B = 1/8,7 = 0,11 \left(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \right) / \text{Вт};$$

$$R_{\text{ТН}} = 1/\alpha_H = 1/23 = 0,04 \left(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \right) / \text{Вт}.$$

Определение температур и соответствующих им значений давлений насыщения водяного пара по сечениям ограждения:

Внутренняя поверхность:

$$\tau_6 = t_6 - \frac{t_6 - t_H}{R_{\text{ТО}}} \cdot R_{\text{ТВ}} = 20 - \frac{20 - (-10,2)}{1,25} \cdot 0,11 = 17,3^\circ\text{C}.$$

Сечение 1/2:

$$\tau_{1/2} = t_6 - \frac{t_6 - t_H}{R_{\text{ТО}}} \cdot (R_{\text{ТВ}} + R_{\text{ТИ}}) = 20 - \frac{20 - (-10,2)}{1,25} \cdot (0,11 + 0,22) = 12^\circ\text{C},$$

$$E_{1/2} = 1403 \text{ Па}.$$

Сечение 2/3:

$$\tau_{2/3} = t_6 - \frac{t_6 - t_H}{R_{\text{ТО}}} \cdot (R_{\text{ТВ}} + 2R_{\text{ТИ}}) = 20 - \frac{20 - (-10,2)}{1,25} \cdot (0,11 + 2 \cdot 0,22) = 6,7^\circ\text{C},$$

$$E_{2/3} = 981 \text{ Па}.$$

Сечение 3/4:

$$\tau_{3/4} = 1,3^\circ\text{C}, \quad E_{3/4} = 671 \text{ Па}.$$

Сечение 4/5:

$$\tau_{4/5} = -3,9^\circ\text{C}, \quad E_{4/5} = 441 \text{ Па}.$$

Наружная поверхность:

$$\tau_H = t_6 - \frac{t_6 - t_H}{R_{\text{ТО}}} \cdot (R_{\text{ТО}} - R_{\text{ТН}}) = 20 - \frac{20 - (-10,2)}{1,25} \cdot (1,25 - 0,04) = -9,3^\circ\text{C}.$$

Определение парциальных давлений водяного пара по сечению ограждения

Сечение 1/2:

$$e_{1/2} = e_b - \frac{e_b - e_h}{R_{пк}} \cdot R_{пк} = 1286 - \frac{1286 - 218}{7} \cdot 1,4 = 1072 \text{ Па.}$$

Сечение 2/3:

$$e_{2/3} = e_b - \frac{e_b - e_h}{R_{пк}} \cdot 2R_{пк} = 1286 - \frac{1286 - 218}{7} \cdot (2 \cdot 1,4) = 858 \text{ Па.}$$

Сечение 3/4:

$$e_{3/4} = e_b - \frac{e_b - e_h}{R_{пк}} \cdot 3R_{пк} = 1286 - \frac{1286 - 218}{7} \cdot (3 \cdot 1,4) = 645 \text{ Па.}$$

Сечение 4/5:

$$e_{4/5} = e_b - \frac{e_b - e_h}{R_{пк}} \cdot R_{пк} = 1286 - \frac{1286 - 218}{7} \cdot (4 \cdot 1,4) = 431 \text{ Па.}$$

Полученные значения температур и давлений водяного пара переносят на сечение ограждения, рис. 3.17.

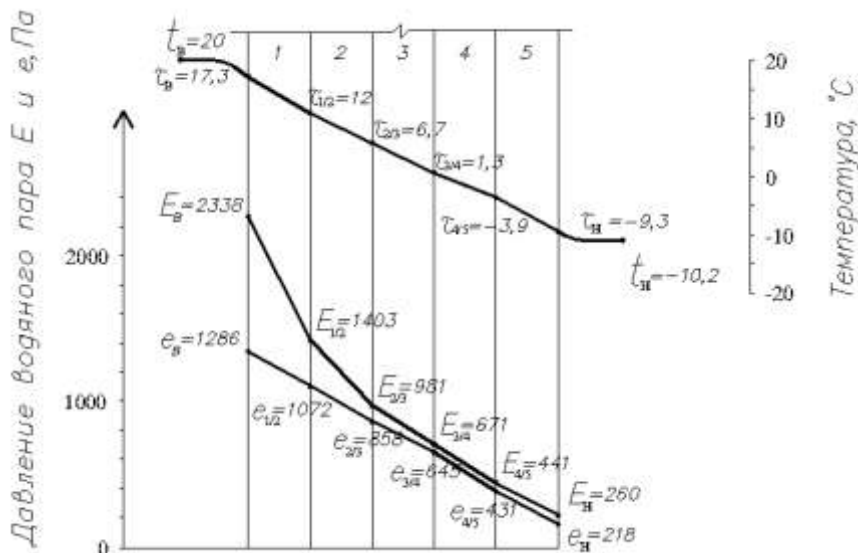


Рис. 3.17. Распределение температур (t и τ) действительных (e) и максимальных (E) давлений водяного пара по сечению ограждения при $t_h = -10,2^\circ\text{C}$. 1, 2, 3,... — условные слои ограждающей конструкции

Из рисунка видно, что распределения E и e не пересекаются ($e < E$), следовательно, при температуре наружного воздуха $t_h = -10,2^\circ\text{C}$ относительная влажность воздуха в порах материала меньше 100%, и конденсации водяного пара в ограждении не происходит.

Из рисунка также можно заметить, что распределения E и e в «холодной половине» ограждения находятся в непосредственной близости и в сечении 3/4 различаются на 26 Па, а в сечении 4/5 — на 10 Па. Можно предположить, что при понижении температуры наружного воздуха на несколько градусов в рассматриваемой ограждающей конструкции может возникнуть конденсация водяного пара.

Пример 3.4. По методу Фокина построить распределения температур, парциального давления и давления насыщения водяного пара по сечению ограждающей конструкции, описанной в примере 3.3, при температуре наружного воздуха $t_H = -15^\circ\text{C}$ (средняя температура холодного периода, обеспеченного 0,94 в Москве). Сделать вывод о наличии или отсутствии конденсации водяного пара в ограждении.

Условия эксплуатации. Микроклимат помещения:

$t_B = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_B = 55\%$, $E_B = 2338 \text{ Па}$, $e_B = (\varphi_B \cdot E_B)/100 = (55 \cdot 2338)/100 = 1286 \text{ Па}$.

Климат местности:

$t_H = -15^\circ\text{C}$, $\varphi_H = 84\%$, $E_H = 165 \text{ Па}$, $e_H = (\varphi_H \cdot E_H)/100 = (84 \cdot 165)/100 = 139 \text{ Па}$.

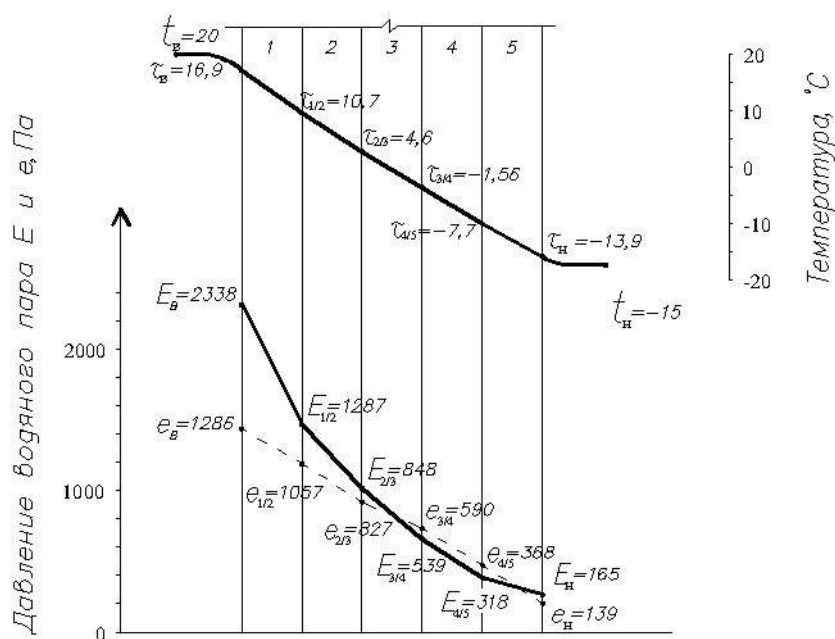


Рис. 3.18. Распределение температур (t и τ), действительных (e) и максимальных (E) давлений водяного пара по сечению ограждения при $t_H = -15^\circ\text{C}$. 1, 2, 3, ... — условные слои ограждающей конструкции

Решение

Определение температур и соответствующих им значений давлений насыщения, а также парциального давления водяного пара по сечению ограждения выполнено аналогично примеру 3.3.

Результаты расчета представлены на рис. 3.18.

Из рис. 3.18 видно, что в сечениях 3/4 и 4/5 величины максимальной упругости водяного пара E оказались меньше парциальных давлений водяного пара e , что невозможно с физической точки зрения, следовательно, между сечениями 3/4 и 4/5 образуется зона конденсации водяного пара.

Результаты расчетов, представленных в примерах 3.3 и 3.4, показывают, что наличие или отсутствие конденсации водяного пара в ограждении зависит от расчетной температуры наружного воздуха. Однако метод Фокина не предусматривает обоснование выбора расчетных температур наружного воздуха, следовательно, не позволяет оценить закономерность переувлажнения ограждающих конструкций в заданном климатическом районе.

Нормативный метод оценки переувлажнения ограждающих конструкций представлен в СП 50 (Тепловая защита зданий).

3.7. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Традиционные строительные материалы, которые используются в ограждающих конструкциях, являются пористыми, поэтому при возникновении разности давления воздуха внутри и снаружи здания Δp происходит фильтрация наружного воздуха в помещение, которая называется **инфильтрацией**, а из помещения в наружный воздух – **эксфильтрацией**.

При фильтрации наружного воздуха в помещение, особенно в зимний период, снижается температура внутренней поверхности ограждения t_v и на 5–50%, увеличиваются теплопотери здания.

Для снижения отрицательного воздействия инфильтрации наружного воздуха на эксплуатационные характеристики зданий в нормативных документах вводится нормирование воздухопроницаемости ограждающих конструкций G_v , кг/(м² · ч), то есть устанавливается безопасный предел количества в кг, которое может проходить через 1 м² площади ограждения в течение 1 часа.

Нормируемая воздухопроницаемость G_v позволяет определить величину требуемого сопротивления воздухопроницанию проектируемой ограждающей конструкции R_H^{TP} по величине разности давления воздуха внутри и снаружи помещения для данного проектного решения здания, его ориентации и климата местности Δp .

Требуемое сопротивление воздухопроницанию нестепрозрачных ограждающих конструкций (наружные стены, перекрытия, покрытия) определяются по формуле:

$$R_H^{TP} = \Delta p / G_v, \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}. \quad (3.31)$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию светопрозрачных ограждающих конструкций (окна, балконные двери) определяются по формуле:

$$R_H^{TP} = (1/G_v) (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3}, \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}, \quad (3.32)$$

где $\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$ – разность давлений воздуха на внутренней и наружной поверхности ограждения, при которой определяется сопротивление воздухопроницаемости конструкции выбранного типа R_H .

Сопротивление воздухопроницанию проектируемой ограждающей конструкции R_H должно быть не ниже требуемого $R_H^{тр}$, то есть

$$R_H \geq R_H^{тр}. \quad (3.33)$$

В таблице 3.7 приведена выборка из таблицы 9 СП-50 по нормируемой воздухопроницаемости некоторых ограждающих конструкций.

Таблица 3.7

**Нормируемая воздухопроницаемость некоторых
ограждающих конструкций**

№ п/п	Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость G_B , кг/(м ² ·ч), не более
1	Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных и административных зданий.	0,5
2	Входные двери в квартиры.	1,5
3	Входные двери в жилые и общественные здания.	7,0
4	Окна и балконные двери в деревянных переплетах.	6,0
5	Окна и балконные двери в пластмассовых или алюминиевых переплетах.	5,0

Для обеспечения требований нормативных документов по воздухопроницаемости проектируемых ограждающих конструкций требуется последовательное определение следующих параметров:

- разность давлений воздуха по сторонам ограждения Δp , Па, с учетом параметров проектируемого здания и климатических условий места строительства;

- требуемое сопротивление воздухопроницанию $R_H^{тр}$ проектируемой ограждающей конструкции;

- сопротивление воздухопроницанию проектируемой ограждающей конструкции R_H , обеспечив его превышение над требуемым $R_H^{тр}$.

3.7.1. Разность давлений воздуха внутри и снаружи помещения ΔP

Разность давлений воздуха внутри и снаружи помещений определяется суммой теплового напора P_t и ветрового давления P_v :

$$\Delta P = P_t + P_v. \quad (3.34)$$

Тепловой напор P_t возникает за счет разности температур воздуха внутри t_v и снаружи t_n помещения, что сопровождается различными значениями удельного веса воздуха γ_v и γ_n и, соответственно, давлением воздуха внутри и снаружи ограждения.

В зимний период разность $(t_v - t_n)$ будет наибольшая, следовательно, наибольшим будет и тепловой напор.

На рис. 3.19 приведена схема распределения теплового напора в здании, состоящем из одного помещения. Для упрощения примем, что пол и потолок этого помещения абсолютно герметичные.

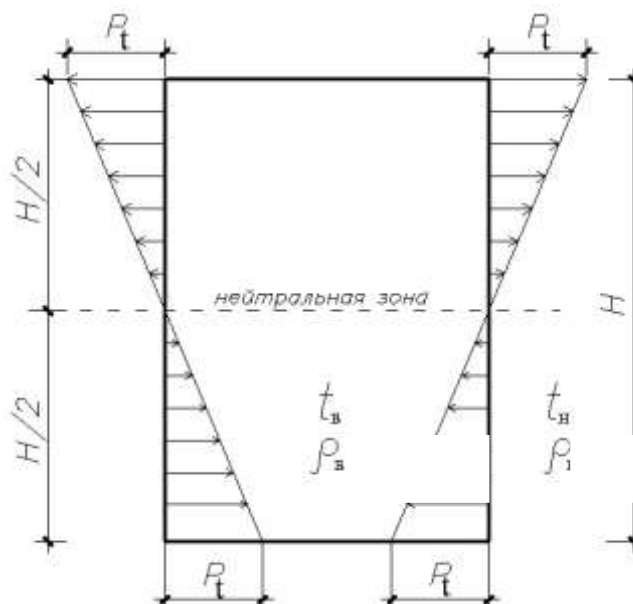


Рис. 3.19. Распределение теплового напора в здании, состоящем из одного помещения

В помещении теплый внутренний воздух поднимается вверх, в результате чего вверху помещения давление становится выше среднего, следовательно, и выше давления наружного воздуха. В результате произойдет эксфильтрация теплого внутреннего воздуха через ограждение. В нижней части помещения давление внутреннего воздуха окажется ниже среднего и, следовательно, ниже давления наружного воздуха. В результате произойдет инфильтрация наружного холодного воздуха в нижнюю часть помещения через ограждение.

В плоскости нейтральной зоны ($H/2$ от пола или потолка), в соответствии с законом сохранения энергии, среднее давление внутри здания будут равно наружному.

Величина тепловой напора определяется по формуле (рис. 3.19).

Величина теплового напора P_t может быть выражена через удельный вес воздуха γ , Н/м^3 .

$$P_t = \frac{H}{2}(\gamma_n - \gamma_v), \quad (3.35)$$

где γ_n и γ_v – удельные веса наружного и внутреннего воздуха, Н/м³;
 H – высота помещения, м.

Удельный вес воздуха зависит от его температуры t и может быть определен по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}. \quad (3.36)$$

Анализ теплового напора в зданиях различной этажности позволил уточнить положение нейтральной оси, и в нормативных документах приведена уточненная формула по определению теплового напора P_t :

Упрощенную формулу теплового напора предложено определять из выражения:

$$P_t = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_v), \text{ Па}, \quad (3.37)$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты вентиляции), м;

γ_n и γ_v – удельные веса наружного и внутреннего воздуха, Н/м³.

Ветровое давление P_v на здание зависит от величины скорости ветра v , а также от условий обтекания здания воздушным потоком: формы здания, наличия близкорасположенных зданий, угла между направлением ветрового потока и плоскостью фасада. Условия обтекания здания заложены в аэродинамических коэффициентах с наветренной k_1 и заветренной k_2 сторон зданий. Для свободно стоящих зданий в виде параллелепипеда, когда ветер направлен под углом 90° к плоскости фасада, эти коэффициенты имеют значения $k_1 = +0,8$, $k_2 = -0,4$. Формула для расчета P_v имеет вид:

$$P_v = \frac{(k_1 - k_2)}{2} \cdot \frac{v_n^2}{2g} \gamma_n, \quad (3.38)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

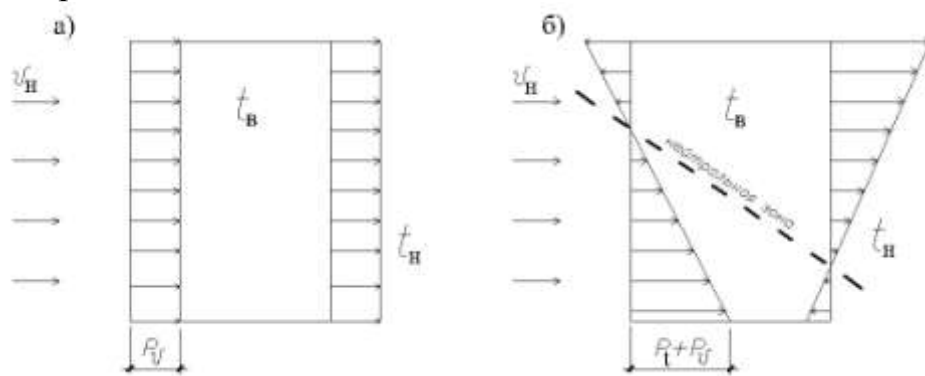


Рис. 3.20. Распределение давлений от ветра (а) и от совместного действия ветра и гидростатического давления (б)

На рис. 3.20 а приведено распределение давлений от ветра, которое в соответствии с СП 50 определяется по формуле:

$$P_v = \left(\frac{k_1 - k_2}{2} \right) \cdot \frac{v_H^2 \cdot \gamma_H}{2g} = \frac{0,8 - (-0,4)}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot 9,81} \cdot v_H^2 \cdot \gamma_H = 0,03 \gamma_H v_H^2, \quad (3.39)$$

где v_H – скорость ветра, м/с.

Распределение давлений при совместном действии теплового и ветрового напора приведено на рис. 3.20 б. Можно видеть, что при совместном действии теплового и ветрового напоров возрастает давление инфильтрации ($P_t + P_v$) и увеличивается зона инфильтрации. Плоскость нейтральной зоны изменяет свое положение.

В итоге разность давлений на наружной и внутренней сторонах ограждения при тепловом и ветровом напоре определится по формуле:

$$\Delta P = 0,55H \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,03 \cdot \gamma_H v_H^2. \quad (3.40)$$

Для определения γ_B рекомендуется принимать t_B по ГОСТ 30494, а для определения γ_H – температуру наиболее холодной пятидневки t_H , обеспеченностью 0,92 по СП 131.

Для расчетов ветрового давления в зимний период СП 50.13330.2012 рекомендуется за величину скорости ветра v_H принимать максимальную из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет от 16% и более.

3.7.2. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций

Сопротивление воздухопроницанию определяется на ограждающей конструкции, сформированной из условий теплозащиты, у которой известны материалы слоев и толщина слоев.

Сопротивление воздухопроницанию отдельного слоя R_n определяется с использованием таблицы 3.8 путем перевода величины сопротивления воздухопроницанию для толщины слоя 100 мм к толщине слоя проектируемого ограждения.

Сопротивление воздухопроницанию многослойных ограждений определяется суммой сопротивлений всех слоев ограждения:

$$R_H = R_n^1 + R_n^2 + \dots + R_n^n \quad (3.41)$$

где n – количество материальных слоев в ограждении.

Таблица 3.8

Сопротивление воздухопроницанию некоторых материалов и конструкций (в пересчете на толщину 100 мм)

№ п/п	Наименование материала или конструкции	Сопротивление воздухопроницанию R_n ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/кг
1	Тяжелый бетон, монолитный	12620
2	Пенобетон автоклавный (без швов)	1960
3	Пенобетон неавтоклавный	196
4	Пенополистирол	79
5	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе, толщина 120 мм	9
	Плиты минераловатные жесткие	
6	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе, толщина 120 мм	4
7	Кладка из легковесных камней на цементно-шлаковом растворе	1
8		0,25
9	Керамзитобетон, $\gamma_0 = 900 \text{ кг/м}^3$	5
10	Керамзитобетон, $\gamma_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$	23
11	Керамзитобетон, $\gamma_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$	166
12	Штукатурка цементно-песчаным раствором по кладке, толщина 15 мм.	373
13	Штукатурка известковая по кладке, толщина 15 мм.	142

Пример 3.5. Определить соответствие требованиям норм по воздухопроницаемости пятиэтажного здания в климатических условиях Казани.

Исходные данные. Теплотехническим расчетом определена конструкция ограждения, материалы слоев и их толщина. Расчетная схема ограждающей конструкции приведена на рис. 3.21.

Расстояние от пола первого этажа до верха вытяжной шахты $H = 14 \text{ м}$.

Параметры климата и микроклимата:

$$t_H = -31^\circ\text{C}, v_H = 3,6 \text{ м/с}, t_B = 20^\circ\text{C}.$$

Решение

Удельный вес наружного γ_n и внутреннего γ_b воздуха:

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + (-31)} = 14,3 \text{ Н/м}^3; \gamma_b = \frac{3463}{273 + 20} = 11,8 \text{ Н/м}^3.$$

Разность давления воздуха по разным сторонам ограждения Δp :

$$\begin{aligned} \Delta p &= 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_b) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v_H^2 = \\ &= 0,55 \cdot 14 \cdot (14,3 - 11,8) + 0,03 \cdot 14,3 \cdot 3,6^2 = 24,8 \text{ Па}. \end{aligned}$$

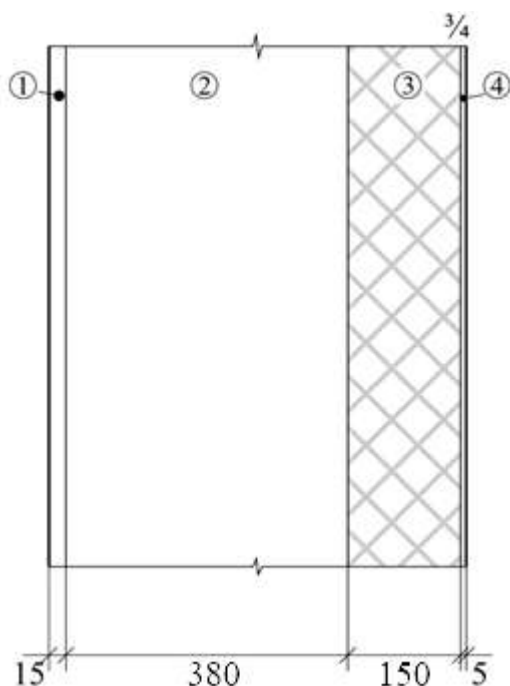


Рис. 3.21. Расчетная схема

Параметры слоев:

1. Известково-песчаная штукатурка, $\delta = 15$ мм

2. Кладка из керамического кирпича, $\delta = 380$ мм

3. Минераловатные плиты, $\delta = 150$ мм

4. Известково-песчаная штукатурка, $\delta = 10$ мм

Требуемое сопротивление воздухопроницанию R_H^{TP} :

$$R_H^{TP} = \Delta p / G_B = 24,8 / 0,5 = 49,6 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

Расчет сопротивления воздухопроницанию многослойного ограждения:

1-й слой – известково-песчаная штукатурка, $\delta = 15$ мм.

Из таблицы 3.4, строка 13, следует, что для $\delta = 15$ мм

$$R_H^1 = 142 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

2-й слой – кладка из керамического кирпича, $\delta = 380$ мм.

Из таблицы 3.4, строка 5, следует, что для $\delta = 100$ мм

$$R_H = 9 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

$$\text{Для } \delta = 380 \text{ мм } R_H^2 = 9 \cdot (380/100) = 34,2 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

3-й слой – кладка из керамического кирпича, $\delta = 150$ мм.

Из таблицы 3.4, строка 5, следует, что для $\delta = 100$ мм

$$R_H = 4 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

$$\text{Для } \delta = 150 \text{ мм } R_H^3 = 4 \cdot (150/100) = 6 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

4-й слой – кладка из керамического кирпича, $\delta = 10$ мм.

Из таблицы 3.4, строка 5, следует, что для $\delta = 15$ мм

$$R_H = 142 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

$$\text{Для } \delta = 10 \text{ мм } R_H^4 = 142 \cdot (10/15) = 94,7 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг}.$$

Сумма сопротивлений воздухопроницаемости всех слоев.

$$R_H = R_H^1 + R_H^2 + R_H^3 + R_H^4 = 142 + 34,2 + 6 + 94,7 = 276,9 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \right) / \text{кг} ,$$

$$R_H = 276,9 > 49.6 = R_H^{\text{TP}} .$$

Заключение

Ограждающая конструкция наружной стены соответствует требованиям СП 50 по воздухопроницаемости.

РАЗДЕЛ IV

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение. Без естественного освещения допускается проектировать помещения, которые определены соответствующими главами СНиП или другими нормативными документами.

Естественное освещение, в зависимости от расположения световых проемов в зданиях, подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое). В последние годы получило развитие освещение помещений, не имеющих световых проемов с использованием так называемых полых световодов, которые за счет внутренней зеркальной поверхности могут транспортировать естественный свет на десятки метров.

Естественное освещение помещений является экологичным, потому что глаз человека за многие тысячелетия адаптировался к солнечному спектру и не вызывает возмущения организма, как это происходит при искусственном освещении, спектр которого отличается от солнечного.

Естественное освещение помещений является экономичным фактором, поскольку увеличение продолжительности дневного освещения помещений сдвигает включение искусственного освещения в помещениях на более поздние часы суток, следовательно, экономится электроэнергия на поддержание искусственного освещения.

Эстетический фактор естественной освещенности не менее значим для человека, так как характеристики неравномерности освещения, яркостного баланса поверхностей, слепящее действие источников света часто является определяющим для таких зданий, как спортивные залы, экспозиционные залы галерей, культовые сооружения, жилые помещения, детские учреждения и т.д.

Стоит также отметить и большой спектр косвенных факторов света. Свет оказывает воздействие на параметры микроклимата помещения (температура и влажность воздуха), биологическое воздействие (обеззараживание от бактерий), химическое (фотосинтез, выцветание краски) и т.д.

Проектирование и расчет естественного освещения регламентируется двумя нормативными документами:

СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (с последующими изменениями), где представлены нормы естественного освещения.

СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения», где представлены методы проектирования и расчета естественного освещения, а также необходимые расчетные коэффициенты.

Особенностью естественного освещения является его непостоянство во времени: высота стояния солнца и его азимут, степень облачности, характер подстилающей поверхности (поверхности земли), наличие снежного покрова, удаленность и цвет фасадов соседних зданий, а также чистота стекол в оконных проемах, конструкция и материал штор и жалюзи, характер внутренней отделки.

Это обстоятельство привело к необходимости нормировать естественную освещенность не в абсолютных единицах (люксах), а в относительных – через коэффициент естественной освещенности (к.е.о.).

Коэффициент естественной освещенности (e_m) представляет собой отношение освещенности в какой-либо точке помещения (E_m , люксы) к одновременной наружной освещенности горизонтальной площадки на открытом месте от всего небосвода (E_n , люксы), выраженное в процентах:

$$e_m = \frac{E_m}{E_n} \cdot 100\% . \quad (4.1)$$

Изменение наружной освещенности E_n приведет к пропорциональному изменению освещенности в помещении E_m , то есть числитель и знаменатель в выражении (4.1) изменяются пропорционально, а их отношение друг к другу всегда постоянно. На основе постоянной величины удобнее выполнять технические расчеты и формулировать требования к освещенности.

При удалении от светового проема в глубину помещения E_m , а, следовательно, и e_m , снижаются, образуя так называемые кривые относительной естественной освещенности.

На рис. 4.1 приведены кривые относительной естественной освещенности помещений с односторонним и двухсторонним освещением.

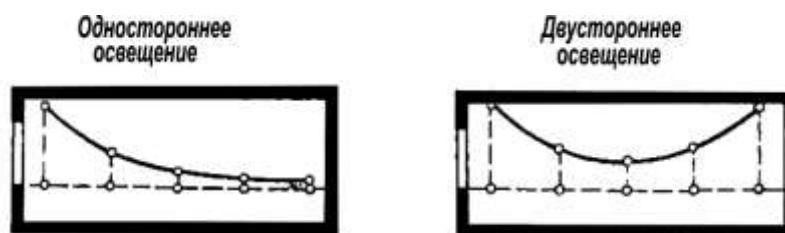


Рис. 4.1. Кривые относительной естественной освещенности в помещениях (кривые к.е.о.)

Кривые относительной естественной освещенности – это световая характеристика проектного решения помещения. Она зависит от размеров помещения, расположения световых проемов и характера внутренней отделки помещения.

По кривым относительной освещенности e_m может быть найдена абсолютная освещенность какой-либо точки в помещении E_m (в люксах), если известна в данный момент времени наружная освещенность E_n в

люксах. Наружная освещенность E_n определяется световым климатом района строительства или ресурсами природной световой энергии.

4.1. Основные величины, единицы и законы

Оптическая часть электромагнитного спектра лучистой энергии включает в себя области ультрафиолетового, видимого и инфракрасного излучения. Диапазон УФ спектра находится в интервале от 1–400 нм. Видимое излучение – в интервале 400–780 нм. Инфракрасным излучением называют длины волн, которые больше длин волн видимого спектра и меньше 1 мм. Действуя на глаз, различные участки видимого спектра, вызывают ощущение цвета, табл. 4.1.

Таблица 4.1

Границы участков спектра

Цвет	Длина волны, нм	Цвет	Длина волны, нм
фиолетовый	450–380	желтый	575–585
синий	485–450	оранжевый	585–620
голубой	510–485	красный	620–760
зеленый	510–575		

Оказалось, что в дневное время средний человеческий глаз наиболее чувствителен к желто-зеленым излучениям с длиной волны $\lambda = 555$ нм. Для того чтобы человеческий глаз воспринимал остальные участки спектра субъективно так же, как и желто-зеленый (с той же силой), потребуется увеличить энергию этого излучения. Таким образом, возник вопрос взаимосвязи энергетических характеристик излучения с субъективными характеристиками (световыми). Эмпирические значения, характеризующие такую взаимосвязь, были получены опросом большого количества наблюдателей еще в XIX в. и используются по сей день. Данную взаимосвязь можно выразить в относительных величинах так называемой **относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$** , что можно видеть на рис. 4.2. По оси абсцисс отложена длина волны излучения λ , нм, по оси ординат – $V(\lambda)$. $V(\lambda)$ здесь это отношение энергии двух потоков излучения с длинами волн, соответственно, λ_m и λ , которые вызывают зрительные ощущения одинаковой силы, где λ_m – длина волны с максимальной к ней чувствительностью (555 нм для дневного зрения), λ – исследуемая длина волны, нм. Так, например, чтобы видеть зеленый цвет с длиной волны $\lambda=500$ нм с той же субъективной силой, что и желто-зеленый, энергию зеленого излучения нужно увеличить примерно в 3 раза (с величины 0,3 до 1 по оси ординат). Таким образом, разница между энергетической величиной и световой состоит в том, что световая величина характеризует излучение по способности вызывать у человека зрительные ощущения.

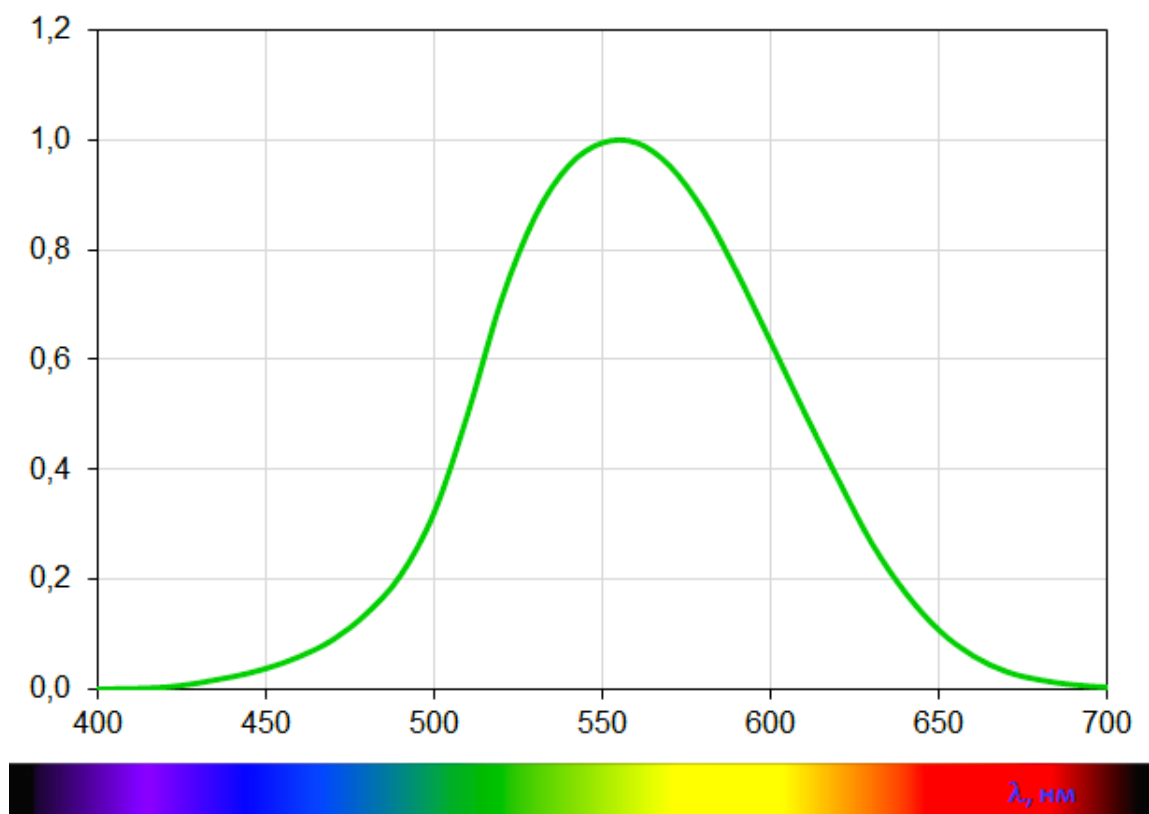


Рис. 4.2. Относительная спектральная световая эффективность

Свет распространяется в объемном пространстве неравномерно. Можно представить себе точечный источник света, который испускает излучение по всем направлениям, тогда фронтом этого излучения будет поверхность сферы. Для сравнения световой энергии по разным направлениям сфера разбивается на объемные углы (конусы) с вершиной в центре сферы. Так, из-за неравномерности распространения света, в одном таком объемном угле будет заключена большая энергия излучения, а в другом – меньшая. Объемный угол, в котором происходит распространение света, называют **телесным углом** Ω . Величина телесного угла может быть найдена по выражению:

$$\Omega = S/r^2,$$

где S – площадь, вырезаемая телесным углом на поверхности сферы, описанной из его вершины, m^2 ; r – радиус сферы, м.

Сила света (I , $кд = 1/683 \text{ Вт/ср}$) – физическая величина, которая характеризует величину световой энергии, распространяемой в определенном направлении. Единицей измерения силы света является кандела (кд). 1 кд при этом равна излучению с длиной волны 555 нм и энергетической силой света 1/683 Вт/ср. Исторически примерно такую энергию излучения имела одна свеча (лампа специальной конструкции), отсюда и название от латинского *candela* – свеча. Если излучение имеет другую длину волны, то для достижения той же силы света требуется

бóльшая энергетическая сила света. Сила света может быть определена по выражению:

$$I = \Phi / \Omega, \quad (4.2)$$

где Φ – величина светового потока, лм (люмен).

Световым потоком (Φ , лм = кд/ср) называют поток излучения, оцененный в соответствии с чувствительностью глаза. Данная величина характеризует мощность световой энергии и измеряется в единицах – люмен (лм); 1 лм – световой поток, излучаемый в телесном угле, равном 1 ср (стерадиан), равномерным точечным источником света силой в 1 кд (канделу).

$$\Phi = I \cdot \Omega. \quad (4.3)$$

Наиболее используемые характеристики излучения в практических расчетах естественного освещения – величины яркости источника света и освещенности поверхностей.

Яркость (L , кд/м²) – световая величина, которая непосредственно воспринимается глазом; она представляет собой поверхностную плотность силы света в заданном направлении, которая определяется отношением силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную тому же направлению. Наиболее наглядно это можно видеть на рис. 4.3.

Таким образом, яркость в точке M поверхности источника в направлении светового луча I определяется по формуле:

$$L = I / A \cdot \cos \theta, \quad (4.4)$$

где I – сила света в направлении I , кд; A – площадь элемента светящейся поверхности, содержащая точку M , м²; $A \cdot \cos \theta$ – площадь проекции элемента, перпендикулярная направлению I , м².

Из выражения можно видеть, что размерностью яркости является кандела на квадратный метр (кд/м²).

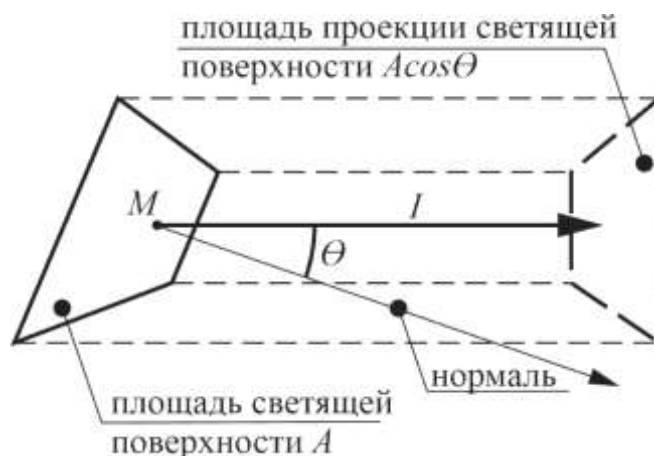


Рис. 4.3. Графическое представление о яркости источника света

Освещенность поверхности (E , лк = лм/м²) представляет собой плотность светового потока, т.е. отношение светового потока Φ , падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента A :

$$E = \Phi/A. \quad (4.5)$$

Единицей измерения уровня освещенности является люкс (лк); 1 лк равен освещенности, создаваемой световым потоком в 1 лм, равномерно распределенным на поверхности площадью 1 м².

Уровень освещенности можно также определить, зная распределение силы света и расстояние до источника света по выражению:

$$E = I \cdot \cos \theta / d^2, \quad (4.6)$$

где I – сила света, кд; d – расстояние от источника света до точки M , в которой определяется освещенность, м.

Довольно значимой является зависимость между яркостью поверхности и уровнем ее освещенности. При равномерном отражении света от поверхности данная зависимость определяется выражением:

$$L = E \cdot \rho / \pi, \quad (4.7)$$

где ρ – коэффициент отражения поверхности.

При световом потоке, проходящем через стекло с коэффициентом пропускания τ , яркость стекла определяется по выражению:

$$L = E \cdot \tau / \pi. \quad (4.8)$$

До этого момента освещенность нами рассматривалась в абсолютных величинах, что может быть удобным при постоянстве этой величины во времени, например, искусственном освещении помещений. Уровни наружной же освещенности меняются как в суточном, так и в годовом цикле, что делает использование абсолютных величин трудоемким в технических расчетах. Решением этой проблемы стало использование относительной величины освещенности, которая в числовом выражении не меняет своего значения во времени. Таким образом, в строительной светотехнике критерием оценки переменного естественного освещения служит **коэффициент естественной освещенности (к.е.о.)**.

К.е.о. представляет собой отношение естественной освещенности в лк, E_B , внутри помещения, к одновременному значению наружной освещенности под открытым небосводом E_H и выражается в процентах.

$$e_M = (E_B/E_H) \cdot 100\%. \quad (4.9)$$

4.2. Ресурсы природной световой энергии

Природное освещение земли определяется солнечной радиацией. Вблизи земной поверхности освещенность может превосходить 100000 лк. Основными компонентами дневной освещенности являются: прямой свет от солнца (E_{Π}), рассеянный (диффузный) – от неба (E_H) и отраженный – от земли и окружающих зданий (E_3). Совокупность перечисленных компонентов определяет суммарную освещенность E_c :

$$E_c = E_{\Pi} + E_H + E_3. \quad (4.10)$$

В значительной степени E_c определяется характером облачности, рассеивающей способностью атмосферы и состоянием подстилающего слоя, а также высотой стояния солнца (h_0) и его азимутом (A).

Данные о природной освещенности не носят систематического характера, в связи с чем используются многолетние наблюдения за солнечной радиацией. При этом по интенсивности солнечной радиации через световой эквивалент может быть определена наружная освещенность. По данным ГГО им. Воейкова, световой эквивалент составляет $1 \text{ Вт/м}^2 \approx 100 \text{ лк}$.

Обобщение этих исследований позволило получить представление о световом климате территории России (а ранее – СССР).

Наиболее важной компонентой светового климата является диффузное освещение от неба (E_n).

Величина и характер облачности, прозрачность атмосферы и состояние земного покрова (леса, луга, водные акватории, снежный покров и т.д.) существенно влияют на величину диффузной освещенности.

На основе обработки большого массива статистических данных по солнечной радиации получены значения диффузной освещенности для различных месяцев года и часов суток для многих населенных пунктов. На рис. 4.4 приведены кривые диффузной освещенности для Москвы, построенные по данным СНиП II-A.6-72. Можно видеть, что диффузная освещенность даже в зимние месяцы достигает нескольких тысяч люкс, а в летнее время составляет десятки тысяч люкс.

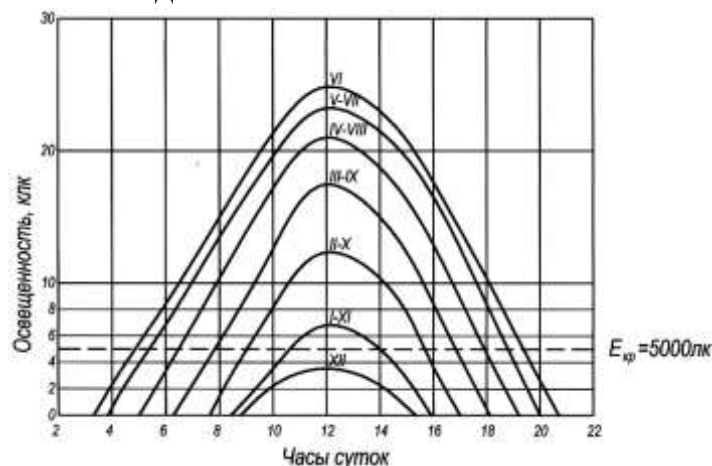


Рис. 4.4. Наружная диффузная освещенность по месяцам и времени суток в Москве

Если на графиках диффузной освещенности провести горизонталь с критической освещенностью ($E_{кр}$), то можно получить продолжительность использования естественной освещенности для разных месяцев года (рис. 4.4). Это обстоятельство является основой для экономической оценки использования естественного света и экономии электроэнергии на сокращении использования искусственного освещения.

Критическая освещенность определяется как освещенность в моменты включения (вечером) и выключения (утром) искусственного освещения в помещении:

$$E_{кр} = \frac{E_{II}}{e}, \quad (4.11)$$

где E_{II} – освещенность при искусственном освещении, лк;
 e – нормированное значение к.е.о.

Величина диффузной освещенности зависит от яркости неба, величина которой в разных участках неба различна.

Зависимость яркости неба в каком-либо участке L_θ от яркости неба в зените L_z определяется зависимостями:

- для районов, где снеговой покров лежит более шести месяцев в году:

$$L_\theta = L_z(0,6 + 0,4\sin\theta), \quad (4.12)$$

- для остальных районов:

$$L_\theta = L_z(0,33 + 0,66\sin\theta), \quad (4.13)$$

где L_θ – яркость участка неба, видимого через световой проем из расчетной точки помещения M под углом θ , образованным с горизонтальной линией, проведенной из точки M к середине светового проема (рис. 4.5);

L_z – яркость неба в зените.

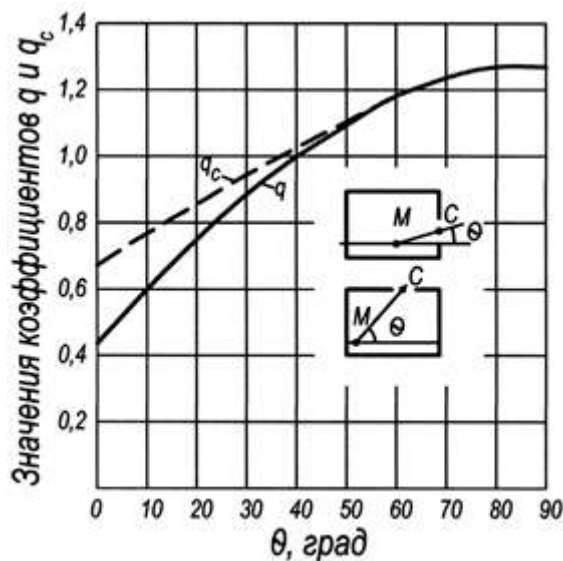


Рис. 4.5. Коэффициент яркости неба q (q_c и q – коэффициент при наличии и отсутствии снегового покрова, θ – угловая высота середины светопроема над рабочей поверхностью)

При расчетах естественной освещенности и определении к.е.о. это обстоятельство учитывается коэффициентом q , вклад которого в освещенность хорошо виден из рис. 4.5.

Следует заметить, что продолжительный (более 6 месяцев) снежный покров влияет на коэффициент только при малых углах θ .

Наибольшая яркость неба – в зените, в связи с чем наибольшую освещенность в помещении обеспечивают светопроемы в покрытиях зданий. Чем более низкий участок неба виден через окно из расчетной точки, тем ниже его яркость и тем меньшая освещенность будет в помещении.

4.3. Нормы естественного освещения

Сводом правил (СП 52.13330) устанавливается уровень освещенности рабочих поверхностей в зависимости от характеристики и разряда зрительной работы в помещениях.

В зависимости от назначения помещений рабочими поверхностями являются: горизонтальные (уровень пола, рабочего стола и т.д.) и вертикальные (музеи, картинные галереи, кл. доска в учебных классах и т.п.). Характер зрительной работы подразделяется на восемь разрядов в зависимости от размеров предмета различения (в мм). Первый разряд предусматривает самые высокие нормы освещенности, восьмой разряд – самые низкие. Для помещений промышленных зданий разряды зрительной работы обозначаются римскими цифрами от I до VIII (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Требования к освещению помещений промышленных предприятий

Характеристика зрительной работы	Размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Средняя величина к. е.о., %, в помещении	Минимальная величина к. е.о., %, в расчетной точке
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	-	-
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	-	-
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	-	-
Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	4,0	1,5
Малой точности	От 1,0 до 5,0	V	3,0	1,0
Грубая (очень малой точности)	Более 5,0	VI	3,0	1,0
Работа со светящимися материалами в горячих цехах	Более 0,5	VIII	3,0	1,0
Общее наблюдение за ходом производственного процесса	-	VIII	От 0,7 до 3,0	От 0,2 до 1,0

Для помещений жилых, общественных и административно-бытовых зданий – буквами русского алфавита от А до З (табл. 4.3).

Из таблицы 4.2 видно, что для помещений промышленных зданий с I и II разрядом зрительной работы естественное освещение не используется (только искусственное или совмещенное). Для помещений

жилых, общественных и административных зданий естественное освещение не регламентируется для разрядов зрительной работы Ж и З (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Требования к освещению помещений жилых, общественных и административных зданий

Характеристика зрительной работы	Размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	к.е.о., %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	А	От 3,5 до 4,0	От 1,2 до 1,5
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	Б	От 2,5 до 3,0	От 0,7 до 1,0
Средней точности	Более 0,5	В	2,0	0,5
Обзор окружающего пространства: - при высокой освещенности - при нормальной освещенности - при низкой освещенности	Не нормируется	Г	3,0	1,0
		Д	2,5	0,7
		Е	2,0	0,5
Общая ориентировка в пространстве интерьера	Не регламентируется	Ж	Не регламентируется	
Общая ориентировка в зонах передвижения	Не регламентируется	З	Не регламентируется	

Для проектирования естественного освещения помещений важно знать не столько характеристику и разряд зрительной работы, сколько нормируемые показатели естественного освещения, отнесенные к помещению того или иного назначения.

Эти данные для некоторых помещений жилых, общественных и административных зданий приведены в таблицах 4.4 и 4.5.

Следует отметить, что нормирование параметров к.е.о. зависит от выбранной системы естественного освещения, так, при боковой системе нормируется минимальная величина к.е.о. в расчетной точке, а при верхнем и комбинированном освещении – средняя величина к.е.о. по характерному разрезу помещения.

Для сравнения в таблицах приведены значения нормируемой освещенности тех же рабочих поверхностей при искусственном освещении (в люксах). Из таблиц можно видеть, что в некоторых помещениях естественное освещение не является обязательным.

Таблица 4.4

**Нормируемые показатели естественного освещения помещений
жилых зданий**

Помещения	Рабочая поверхность и ее высота над полом, м	Коэффициент естественной освещенности к.е.о., %		Нормируемая освещенность рабочих поверхностей при искусственном освещении, лк
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
Жилые комнаты	Г-0,0	2,0	0,5	150
Кухни	Г-0,0	2,0	0,5	150
Детские	Г-0,0	2,5	0,7	200
Кабинеты	Г-0,0	3,0	1,0	300
Внутриквартирные коридоры	Г-0,0	-	-	50
Ванные комнаты, уборные, санузлы, душевые	Г-0,0	-	-	50

Примечание: Г - горизонтальная рабочая поверхность, В - вертикальная

Таблица 4.5

**Нормируемые показатели естественного освещения некоторых помещений
общественных зданий**

Помещения	Рабочая поверхность и ее высота над полом, м	Коэффициент естественной освещенности к.е.о., %		Нормируемая освещенность рабочих поверхностей при искусственном освещении, лк
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
Кабинеты, рабочие комнаты	Г-0,8	3,0	1,0	300
Проектные залы	Г-0,8	4,0	1,5	500
Читальные залы	Г-0,8	3,5	1,2	400
Компьютерные классы	Г-0,8	3,5	1,2	400
Классные комнаты, аудитории, кабинеты, чертежные залы	экран монитора В-1,2	-	-	200
	рабочие столы Г-0,8	4,0	1,5	300-500
	середина доски В-1,5	-	-	500

Примечание: Г – горизонтальная рабочая поверхность, В - вертикальная

Во втором столбце таблиц 4.4 и 4.5 приведена характеристика рабочей поверхности (Г и В) и ее высота над уровнем пола (0,0; 0,8; 1,5м). Этих данных недостаточно для оценки нормируемой освещенности помещений, поскольку как следует из рис. 4.1, относительная естественная освещенность в помещении изменяется (снижается) при удалении от светового проема. В связи с этим в нормативных документах введено понятие **расчетной точки**, которая располагается в определенном месте на

рабочей поверхности. В расчетной точке должно обеспечивается нормируемое значение к.е.о.

В жилых помещениях расчетная точка находится на полу помещения (Г-0,0) на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от светового проема: в одной комнате для одно-, двух- и трехкомнатных квартир и в двух комнатах – для четырех- и более комнатных квартир. В остальных жилых комнатах многокомнатных квартир и в кухнях расчетная точка находится на полу (Г-0,0) в центре помещения.

В учебных и учебно-производственных помещениях расчетная точка находится на рабочей поверхности (Г-0,8) на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов.

В групповых и игровых помещениях детских дошкольных учреждениях, в палатах больниц, в жилых комнатах общежитий расчетная точка находится на полу помещения (Г-0,0) на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов.

В кабинетах врачей расчетная точка расположена на рабочей поверхности (Г-0,8) на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов.

В остальных помещениях жилых и общественных зданий расчетная точка расположена в центре помещения на рабочей поверхности.

4.4. Проектирование и расчет естественного освещения помещений

Проектирование естественного освещения помещений заключается в выборе формы, размеров и расположения световых проемов. Цель проектирования – обеспечение светового комфорта в помещениях. Под световым комфортом понимается рациональное освещение помещений и качество освещения. Качество освещения определяется:

- а) равномерностью освещения (отношение минимального к.е.о. в помещении к максимальному);
- б) направлением световых потоков по отношению к рабочей поверхности;
- в) устранением слепящего действия света, вызывающего дискомфорт;
- г) яркостью окружающего пространства для обеспечения меньшей напряженности и повышения жизненного тонуса человека.

Исторически сложившийся метод проектирования естественного освещения заключается в выборе отношения площади световых проемов к площади пола (1:6, 1:7, 1:8 и т.д.). Этот метод обобщает многолетний опыт проектирования и эксплуатации зданий и является достаточно верным для традиционных архитектурных решений.

Дальнейшее развитие проектирования естественного освещения помещений позволило получить метод, который учитывает законы распределения света от неба и в помещении, светопотери через оконные

проемы (от переплетов, стекла и его загрязнения и т.п.), затенение и отражение противостоящих зданий, светотехнические характеристики внутренней отделки помещений, учитывает качественные характеристики освещения.

В основе нового метода проектирования и расчета естественного освещения лежат два светотехнических закона: закон проекции телесного угла и закон светотехнического подобия.

4.4.1. Закон проекции телесного угла

В разделе 4.2 было показано, что яркость неба L неравномерно распределена по небосводу. В зените L_z яркость неба максимальная, к горизонту она снижается, что определяется углом Θ . В расчетах к.е.о. неравномерная яркость неба учитывается коэффициентом q . В законе проекции телесного угла рассматривается равномерная яркость по всему небосводу.

Закон говорит, что освещенность в какой-либо точке помещения, создаваемая равномерно светящейся поверхностью неба, прямо пропорциональна яркости неба, видимого из этой точки, и площади проекции на освещаемую (рабочую) поверхность части неба (условной полусферы), ограниченной телесным углом, под которым из данной точки виден участок неба (условной полусферы).

Если равномерную яркость небосвода обозначить через L , а площадь проекции части неба, ограниченной телесным углом, на рабочую поверхность через σ , то запись закона проекции телесного угла будет иметь вид:

$$E_m = L \cdot \sigma. \quad (4.14)$$

Сущность этого закона становится понятной из схемы, представленной на рис. 4.6. На рис. 4.6 показано сечение помещения (поз.2) и условной полусферы (поз.5), в то время как телесный угол (поз.1) ограничивается высотой и шириной светового проема (поз.3), поэтому проекция на рабочую поверхность (поз.4) части условной полусферы представляет собой площадь (поз.7).

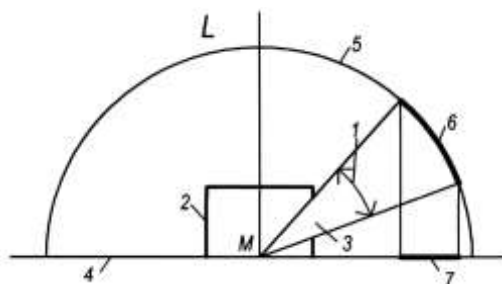


Рис. 4.6. Схема к закону проекции телесного угла: 1 – телесный угол; 2 – разрез помещения; 3 – световой проем; 4 – рабочая поверхность (или освещаемая поверхность); 5 – условная полусфера; 6 – участок неба (условной полусферы), видимый из т.М, ограниченный телесным углом; 7 – проекция на рабочую поверхность части неба (условной полусферы), ограниченной телесным углом

Если принять, что точка M горизонтальной поверхности находится на открытом месте и освещается всей полусферой с равномерно распределенной яркостью, то

$$E_n = L \cdot \pi R^2, \quad (4.15)$$

где πR^2 – площадь проекции полусферы на горизонтальную поверхность.

Для условной полусферы $R=1$, следовательно:

$$E_n = L \cdot \pi, \quad (4.16)$$

В этом случае коэффициент естественной освещенности примет вид:

$$e_M = \frac{E_M}{E_n} = \frac{L \cdot \sigma}{L \cdot \pi} = \frac{\sigma}{\pi}, \quad (4.17)$$

то есть значение к.е.о. в какой-либо точке поверхности определяется отношением площади проекции на освещаемую поверхность видимого из данной точки помещения участка неба к величине π (3,14). Это отношение является геометрическим выражением к.е.о.

Закон проекции телесного угла позволяет оценить относительную световую активность светопроемов различного размера и светопроемов одного размера, различно расположенных относительно рабочей поверхности (рис. 6.7).

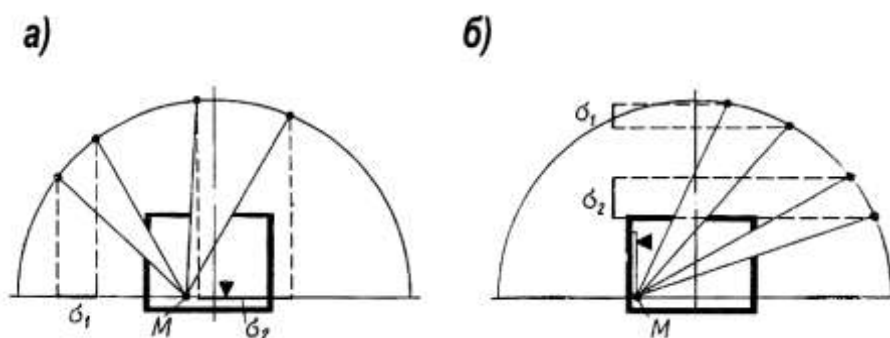


Рис. 4.7. Относительная «активность» светопроемов на горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

Из рис. 4.7 следует, что освещенность в т. М как на горизонтальной, так и на вертикальной поверхности, складывается из световых потоков, поступающих из двух светопроемов, и определится по формуле:

$$E_M = L_1 \sigma_1 + L_2 \sigma_2, \quad (4.18)$$

где σ_1 и σ_2 – площади проекции на рабочие поверхности части условной полусферы.

Из рис. 4.7 следует также, что светопроемы одного размера, расположенные на разной высоте и в разных участках ограждений, приведут к различной освещенности в помещении, тем более на разных рабочих поверхностях (Г или В). Закон положен в основу построения графиков Данилюка.

4.4.2. Закон светотехнического подобия

Закон говорит о том, что освещенность в какой-либо точке помещения зависит не от абсолютных, а от относительных размеров помещений.

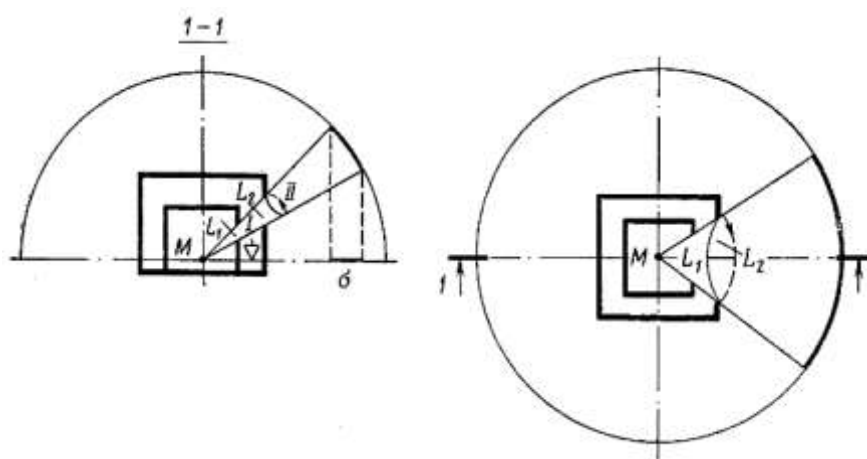


Рис. 4.8. Схема к закону светотехнического подобия

Из рисунка 4.8 видно, что помещения разных абсолютных размеров имеют одинаковую освещенность точки М в силу одинаковой площади проекции участка неба σ на рабочую плоскость.

Закон позволяет решать задачи естественного освещения помещений на моделях при помощи установок, называемых искусственным небом.

4.4.3. Расчет естественного освещения

Расчет естественного освещения в помещении сводится к определению действительного значения к.е.о (e_M) на рабочей поверхности и сравнению его с нормированным значением к.е.о (e_N) для помещения данного назначения. Действительное значение к.е.о (e_M) должно быть не ниже нормированного (e_N).

$$e_M \geq e_N. \quad (4.19)$$

Действительное значение к.е.о (e_M) определяют в расчетной точке рабочей поверхности помещения либо по характерным разрезам помещения путем построения кривых относительной освещенности (кривых к.е.о.).

Освещенность в какой-либо точке помещения определяется следующими компонентами:

- 1) светом, исходящим от участка небосвода, видимого из данной точки через световой проем (проемы) (E_H);
- 2) светом, отраженным от противостоящих зданий и пришедшим в данную точку ($E_{зд}$);
- 3) светом, отраженным от внутренних поверхностей помещения и подстилающей поверхности ($E_{отр}$).

Графическое представление об освещенности в т. M представлено на рис. 4.9.

Таким образом, коэффициент естественной освещенности (e_M) в данной точке M будет иметь три слагаемых:

$$e_M = e_H + e_{зд} + e_{отр}. \quad (4.20)$$

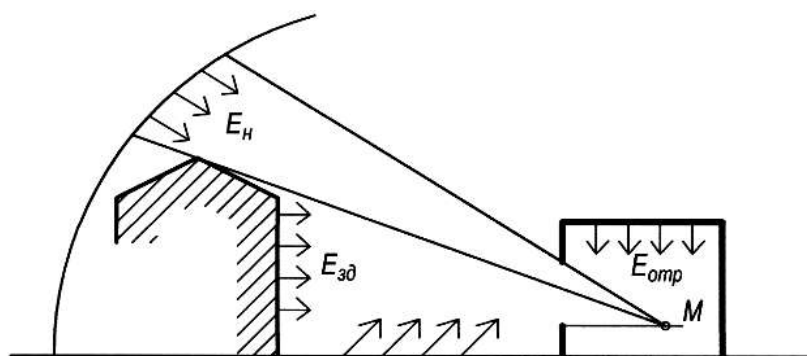


Рис. 4.9. Графическое представление о компонентах дневной освещенности помещения

Влияние на освещенность помещений света, отраженного от земли, прилегающей к зданию, чаще всего учитывают компонентой $e_{отр}$.

Расчет естественного освещения проводится в два этапа. На первом этапе (предварительном) определяется площадь световых проемов, необходимая для обеспечения требуемой освещенности (величины к.е.о). На втором этапе проводят проверочный расчет коэффициента естественной освещенности в расчетных точках или в точках характерного разреза помещения при помощи метода и графиков Данилюка. (Схематическое представление графиков Данилюка I и II приведено на рис. 4.10).

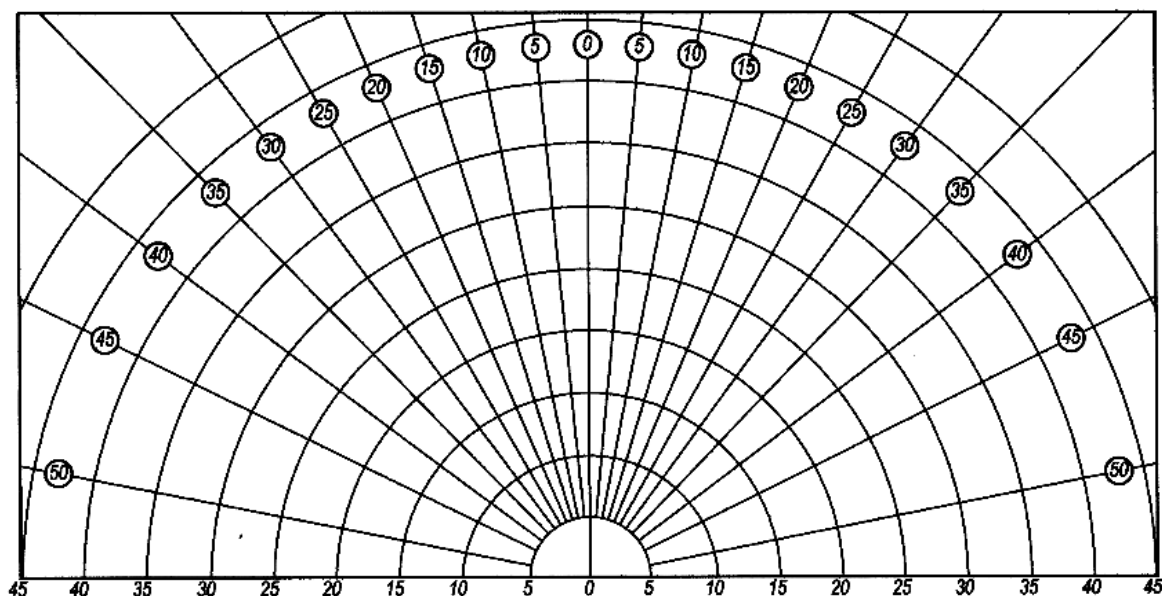


График I Данилюка для подсчета количества лучей n_1 и n'_1 на разрезе помещения.

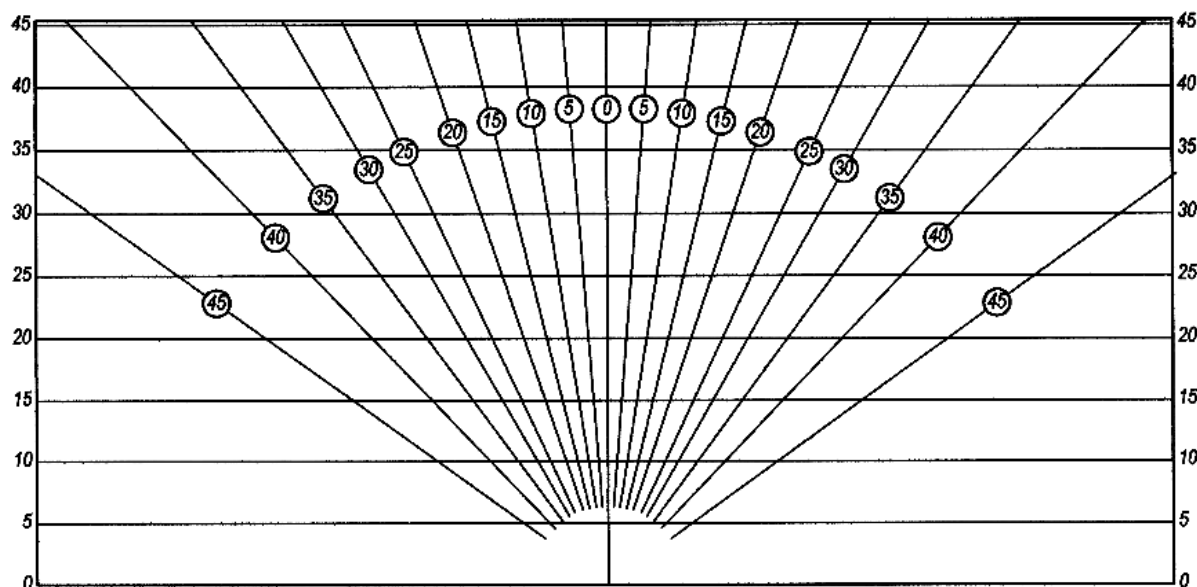


График II Данилюка для подсчета количества лучей n_2 и n'_2 на плане помещения.

Рис. 4.10. Схематическое представление графиков Данилюка

4.4.4. Предварительный расчет площади световых проемов при боковом освещении

Расчет площади световых проемов (S_0) может быть выполнен двумя способами: расчетом по формуле и по графикам.

Расчет S_0 по формуле:

$$S_0 = \frac{S_n \cdot e_N \cdot \eta_0 \cdot k_{3\partial}}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1 \cdot MF \cdot C_N}, \quad (4.21)$$

где S_n – площадь пола помещения;

e_N – нормированное значение к.е.о;

η_0 – световая характеристика окон, зависящая от соотношений геометрических параметров помещения;

$k_{3\partial}$ – коэффициент, учитывающий изменение внутренней отраженной составляющей к.е.о в помещении при наличии противостоящих зданий (с учетом коэффициентов отражения фасадов противостоящих зданий и внутренних поверхностей помещения);

τ_0 – общий коэффициент светопропускания окон (зависит от светопропускания стекла, переплетов, солнцезащитных устройств и т.п.);

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение к.е.о. при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения (стены, потолок, пол) и поверхности земли, прилегающей к зданию;

MF – коэффициент эксплуатации, зависящий от угла наклона светопропускающего материала к горизонту и от количества чисток остекления в год;

C_N – коэффициент светового климата.

Параметры η_0 , $k_{3\partial}$, τ_0 , r_1 , MF и C_N находятся по таблицам, приведенным в нормативной литературе.

Расчет S_0 по графикам

Исходными данными для расчетов по графикам являются нормированное значение к.е.о. для помещений того или иного назначения e_n , площадь пола помещения S_n , глубина помещения d_n и расстояние от уровня рабочей поверхности (УРП) до верхней грани светового проема h_{01} .

На рис. 4.11 показан пример определения соотношения $S_{c.o.}/S_n$: от условного соотношения $d_n/h_{01} = 3,5$ восстанавливается перпендикуляр до пересечения с величиной $e_n = 1,5 \%$ (штриховая линия). От точки пересечения горизонтальной линией отсекается соотношение $S_{c.o.}/S_n = 24 \%$.

Площадь световых проемов S_0 определяется по формуле:

$$S_0 = S_n \cdot 24/100 = 0,24 \cdot S_n.$$

По величине общей площади световых проемов в данном помещении S_0 определяется количество светопроемов, их размеры, типы оконных конструкций и их расположение в ограждающих конструкциях. Указанные

параметры являются основой для второго этапа проектирования естественного освещения, то есть проверочного расчета коэффициента естественной освещенности в расчетных точках помещения с использованием метода и графиков Данилюка.

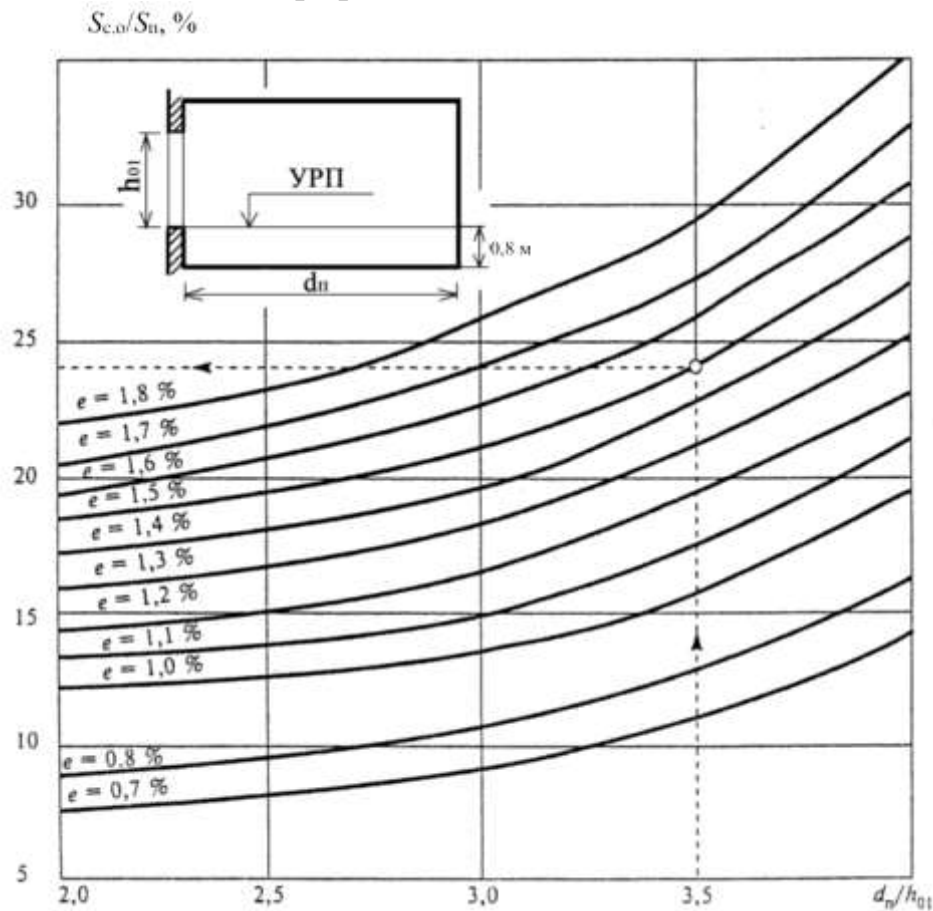


Рис. 4.11. График для определения относительной площади световых проемов $S_{с.о.}/S_n$ при боковом освещении учебных кабинетов общеобразовательных организаций

4.4.5. Расчет коэффициентов естественной освещенности

Расчетное значение к.е.о., e_p в % выполняется по формулам:

а) при боковом освещении:

$$e_p^{\bar{o}} = C_N \left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{oi} \cdot q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Дj} \cdot b_{фj} \cdot k_{3Дj} \right) \cdot r_0 \cdot \tau_0 \cdot MF; \quad (4.22)$$

б) при верхнем освещении:

$$e_p^{\bar{o}} = C_N \left(\sum_{i=1}^T \varepsilon_{Bi} + \varepsilon_{cp} (r_2 \cdot k_{\phi} - 1) \right) \cdot r_0 \cdot MF; \quad (4.23)$$

в) при комбинированном освещении (верхнем и боковом):

$$e_p^k = e_p^{\delta} + e_p^s, \quad (4.24)$$

где L – число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

$\varepsilon_{\delta i}$ – геометрический к.е.о. в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба;

C_N – коэффициент светового климата;

q_i – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость неба, в зависимости от угловой высоты середины светового проема над рабочей поверхностью;

M – число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем из расчетной точки;

ε_{3Dj} – геометрический к.е.о. в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от j -го участка фасадов противостоящих зданий;

ε_{Bi} – геометрический к.е.о. в расчетных точках при верхнем освещении, определяемый по графикам Данилюка II и III;

b_{fj} – средняя относительная яркость j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки;

r_0 – коэффициент, учитывающий повышение к.е.о. при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

k_{3Dj} – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий, определяемый по формуле:

$$k_{3Dj} = 1 + (k_{3D0} - 1) \frac{\sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Dj}}{\sum_{j=1}^L \varepsilon_{\delta i} + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Dj}}; \quad (4.25)$$

здесь k_{3D0} – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при полном закрытии небосвода зданиями, видимыми из расчетной точки;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (4.26)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема. Размеры светопроема принимаются равными размерам коробки переплета по наружному обмеру;

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах;

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9;

MF – коэффициент эксплуатации;

T – число световых проемов в покрытии;

ε_{cp} – среднее значение геометрического к.е.о. при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое из соотношения:

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{Bi}, \quad (4.27)$$

здесь N – число расчетных точек;

r_2 – коэффициент, учитывающий повышение к.е.о. при верхнем освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения;

k_ϕ – коэффициент, учитывающий тип фонаря.

Расчеты геометрических к.е.о. (ε) по графикам Данилюка проводятся в следующем порядке (рис. 4.12):

а) график I накладывается на чертеж поперечного разреза помещения, центр графика (O) совмещается с расчетной точкой M , а нижняя линия графика – с линией рабочей поверхности;

б) подсчитывается количество лучей n , проходящих через световые проемы;

в) отмечается номер полуокружности на графике I, которая проходит через точку C_1 – середину светового проема;

г) график II накладывается на план помещения таким образом, чтобы вертикальная ось графика и горизонталь, номер которой соответствует номеру полуокружности, выбранной по графику I, проходили через точку C_1 ;

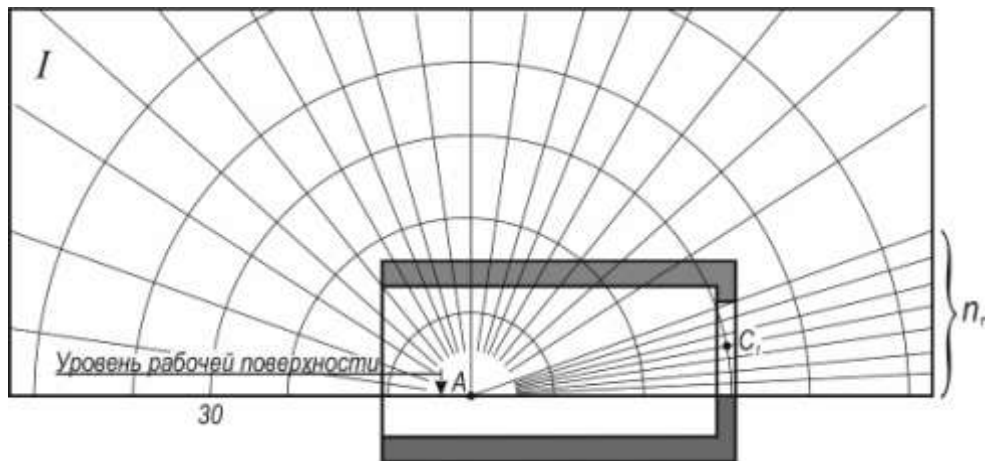
д) подсчитывается количество лучей n_2 по графику II, проходящих через световые проемы;

е) определяется геометрический к.е.о., учитывающий прямой свет неба в данной точке помещения при боковом освещении (ε_θ) по формуле:

$$\varepsilon_\theta = 0,01 \cdot (n_1 \cdot n_2). \quad (4.28)$$

Подсчет лучей, отраженных от противостоящего здания n'_1 и n'_2 , проходящих через световой проем, производится аналогично (рис. 4.13.)

а)



б)

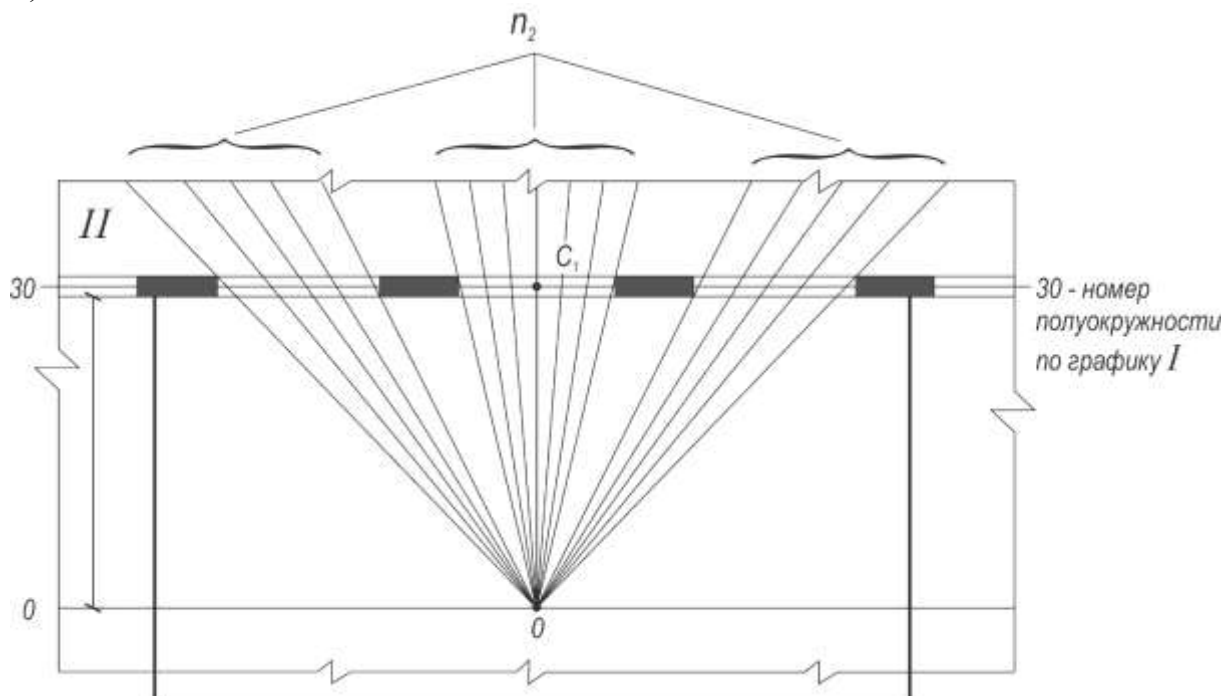


Рис. 4.12. Определение геометрического к.е.о. от прямого света неба по графикам Данилюка. График I для разреза (а) и график II для плана (б)

Геометрический к.е.о., учитывающий свет, отраженный от противостоящего здания (ε_{30}) при боковом освещении, определяется по формуле:

$$\varepsilon_{30} = 0,01 \cdot (n'_1 \cdot n'_2) . \quad (4.29)$$

Таким образом проводится расчет к.е.о. в расчетных точках помещения, а результаты расчета сопоставляют с нормированным значением к.е.о. e_N или расчет выполняют по характерным сечениям

помещения и строят кривые относительной естественной освещенности помещения в виде кривых к.е.о.

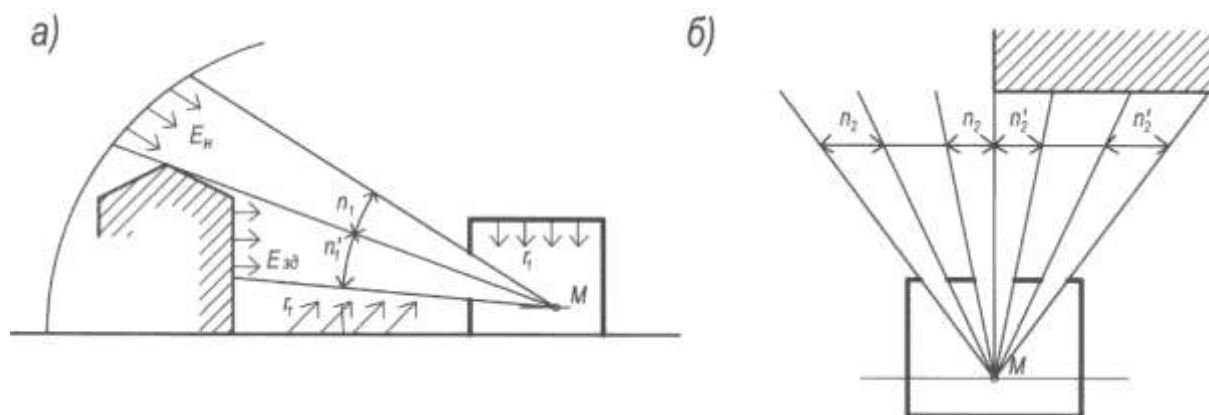


Рис. 4.13. Схемы к определению n_1, n_1' (а) и n_2, n_2' (б)

4.5. Естественное освещение помещений при помощи трубчатых световодов

В последние годы получили распространение проектирование и строительство ширококорпусных зданий, в центральных зонах которых затруднено естественное освещение. Кроме того, интенсивно осваивается подземное пространство городов, которое также требует экологичного и экономичного естественного освещения. Традиционными приемами организации естественного освещения эти проблемы не решаются.

Для этих целей весьма успешно используются так называемые световодные системы, которые могут транспортировать естественный свет на десятки метров.

Световодные системы состоят из наружного светоприемного устройства, из транспортирующих свет трубчатых секций и внутреннего устройства (диффузора) для распределения света в интерьере (рис. 4.14).

Наружное светоприемное устройство представляет собой оптическое устройство, принимающее как прямой солнечный свет, так и диффузный свет неба. Оно является также своеобразной оптической воронкой, наполняющей транспортирующую трубу естественным светом. Транспортирующие свет трубы покрыты изнутри многослойной светоотражающей пленкой с коэффициентом отражения света 0,99. За счет многократного отражения внутри трубы свет попадает в устройство распределения света в интерьере.

Так, например, световод фирмы «Solarspot» (Италия) длиной 5 м и диаметром 25 см при наружной освещенности около 5000 лк способен осветить помещение площадью 8 кв.м с освещенностью 80 лк. При

диаметре световода 38 см освещенность этого помещения увеличится в 3 раза (240 лк), при 53 см – в 5 раз (400 лк) и при 63 см – в 7 раз (560 лк). Фирма «Solarspot» имеет опыт использования световодов до 10 м длиной с различными отводами под 30, 60 и 90°.

Наружные устройства могут располагаться как на крыше, так и на фасадах зданий. На рис. 4.15 показаны схематические примеры устройства естественного освещения при помощи световодов.

Расчет КЕО при применении трубчатых световодов

Определение естественной освещенности с использованием трубчатых световодов сводится к следующим этапам:

1-й этап. Определение общей эффективности системы или КПД

$$\eta_g = \tau_c \cdot \tau_d \cdot k_m \cdot \xi = k_1 \cdot \xi, \quad (4.30)$$

где τ_c – коэффициент светопропускания купола световода;

τ_d – коэффициент светопропускания диффузора;

k_m – коэффициент эксплуатации (учитывает загрязнение купола; при очистке один раз в год равен 0,77, при двукратной очистке – 0,92);

ξ – КПД полого световода, который определяется по выражению:

$$\xi = \frac{\frac{L}{D} \operatorname{tg} \theta \ln \rho}{\left(1 - \frac{L}{D} \operatorname{tg} \theta \ln \rho\right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (4.31)$$

где θ – угол между осью световода и световым лучом (при стандартных условиях средний угол входа светового луча принимается равным 30°);

L и D – длина и диаметр световода, соответственно;

ρ – коэффициент отражения зеркального покрытия трубы (при использовании отполированного алюминия равен 0,98).

2-й этап. Определение геометрического КЕО в расчетной точке:

$$\varepsilon_{св} = \xi \cdot [(180 - \alpha)/180] \cdot \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot 100, \quad (4.32)$$

где α – угол отклонения оси световода от зенита; θ – угол, определяемый в соответствии со схемой на рис. 4.16.

Расчет средней величины геометрического КЕО выполняется по выражению:

$$\varepsilon_{св,ср} = \frac{[(180 - \alpha)/180] \cdot \eta_g \cdot A}{S} \cdot 100, \quad (4.33)$$

где A – площадь диффузора световода, м²; S – площадь пола помещения, м².

1. Прозрачный купол РММА-НН
2. Кровельный адаптер
3. Полный трубчатый световод
4. Устройство, перехватывающее и изменяющее направление светового потока RIR®
4. Крепление для RIR®
6. Изоляция
7. Дренажная изоляция
8. Герметичное уплотнение
9. Круглый диффузор
11. Угловой адаптер 0-30 градусов
12. Переходник для различных типов диффузоров
13. Декоративное потолочное кольцо

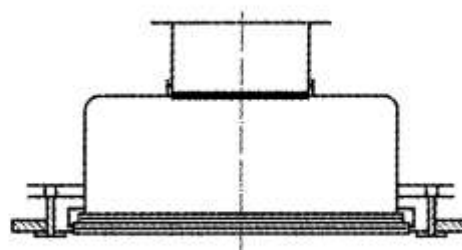
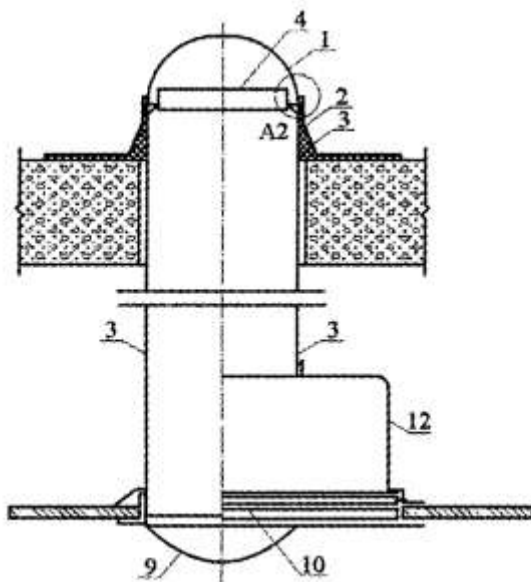
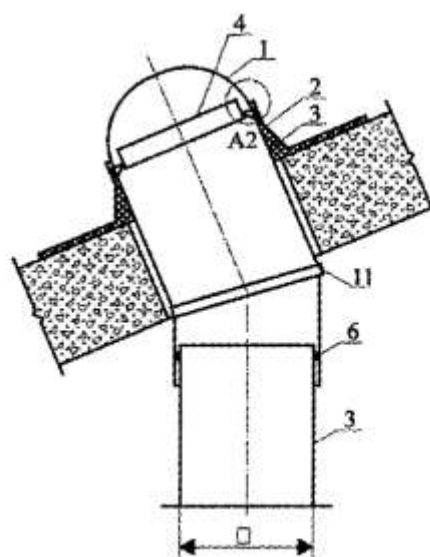
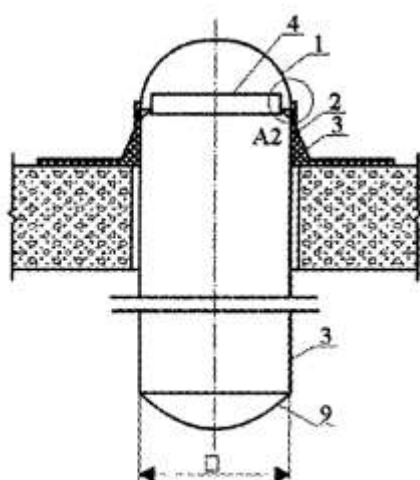
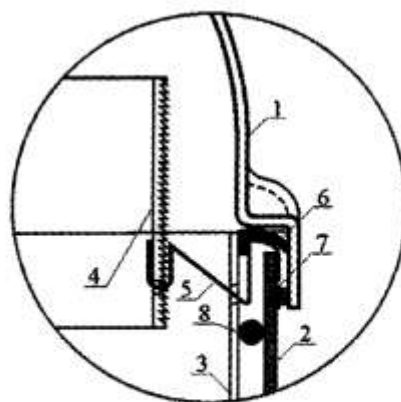


Рис. 4.14. Принципиальная схема световода

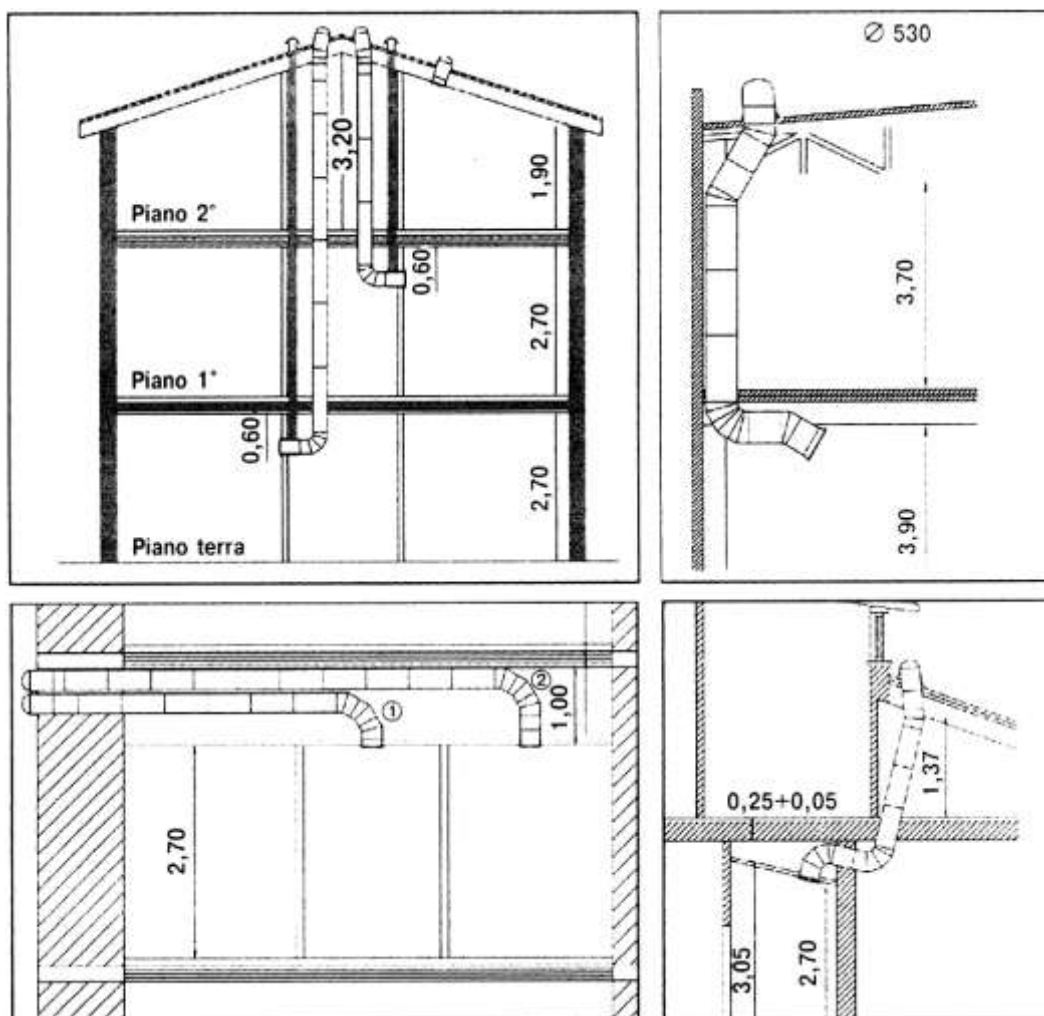


Рис. 4.15. Схематические примеры использования световодов

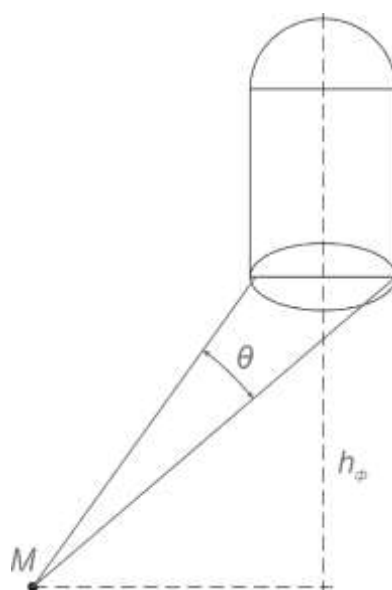


Рис. 4.16. К расчету КЕО от трубчатого световода

3-й этап. Определение коэффициента естественной освещенности в расчетной точке помещения:

$$e_p^M = C_N \cdot \left[\sum \varepsilon_{св} + \varepsilon_{св,ср} (r_2 - 1) \right] \cdot MF, \quad (4.34)$$

где r_2 – коэффициент, учитывающий повышение к.е.о. при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения;

MF – коэффициент эксплуатации; C_N – коэффициент светового климата.

Пример 4.1. Расчитать КЕО в т. М помещения 6х6 м и высотой от пола до потолка 3,5 м одним световодом диаметром 375 мм. Размеры длин участков световодов $L_1 = 4,8$ м, $L_2 = 3,0$ м, $L_3 = 0,5$ м (рис. 4.17). При этом точка М находится на расстоянии 2 м от оси световода.

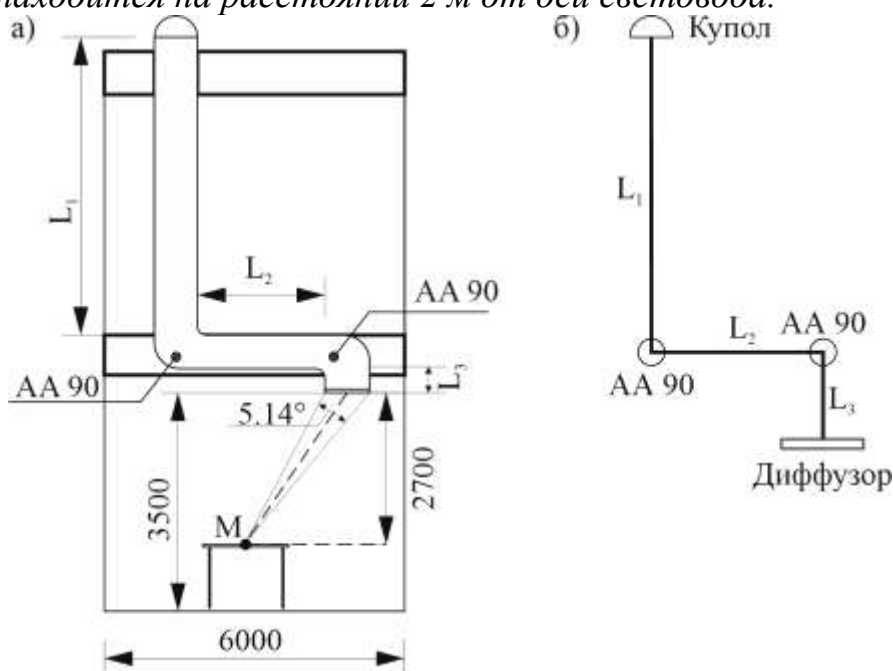


Рис. 4.17. Схема конструкции световода в помещении:

а) размещение световода на разрезе здания; б) схема световода

Для определения КПД системы необходимо учесть наличие и характеристики изгибов световода. При наличии изгибов (колен) трубы увеличивается длина пути прохождения светового луча, что может быть сопоставимо с трубой без изгибов, но большей длины. С этой точки зрения для трубы с изгибами определяется эквивалентная длина в зависимости от угла изгиба и оптического отношения длины трубы к ее диаметру L/D (табл. 4.6).

Таблица 4.6

К определению эквивалентной длины световода с учетом наличия изгибов

D, мм	250	375	530	650
AA 30	0,30+0,25	0,30+0,375	0,40+0,53	0,40+0,65
AA 60	0,60+2·0,25	0,30+2·0,375	2·(0,40+0,53)	2·(0,40+0,65)
AA 90	0,60+3·0,25	0,30+3·0,375	3·(0,40+0,53)	3·(0,40+0,65)

Имеем два участка изгиба с углом в 90° АА90, тогда их эквивалентная длина равна:

$$2AA90 = 2 \cdot (0,30 + 3 \cdot 0,375) = 2,85 \text{ м.}$$

Итоговая расчетная длина световода определяется как

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + 2AA90 = 4,8 + 3,0 + 0,5 + 2,85 = 11,15 \text{ м.}$$

ξ – КПД полого световода, определяем по выражению (4.31):

$$\xi = \frac{e^{\frac{11,15}{0,375} \lg 30 \ln 0,98}}{(1 - \frac{11,15}{0,375} \lg 30 \ln 0,98)^{\frac{1}{2}}} = 0,609.$$

Общую эффективность системы, или КПД, определяем по выражению (4.30):

$$\eta_g = 0,92 \cdot 0,8 \cdot 0,92 \cdot 0,609 = 0,4$$

Определяем геометрический КЕО в точке М при угле θ равном $5,14^\circ$ по выражению (4.32):

$$\varepsilon_{св} = 0,609 \cdot [(180 - 0) / 180] \cdot \sin^2(\frac{5,14}{2}) \cdot 100 = 0,122.$$

Определяем среднюю величину геометрического КЕО для помещения 6×6 м по выражению (4.33):

$$\varepsilon_{св.ср} = \frac{[(180 - 0) / 180] \cdot 0,4 \cdot 0,11}{36} \cdot 100 = 0,122.$$

Определяем КЕО в расчетной точке М по выражению (4.34):

$$e_p^M = 1 \cdot [0,122 + 0,122(1,416 - 1)] \cdot 0,67 = 0,115\%$$

4.6. Особенности проектирования естественного освещения зданий различного назначения

Наиболее ярко различие к требованиям по естественному освещению помещений проявляется в общественных зданиях, что следует из таблицы 4.7. Соответствующие эффекты естественного освещения достигаются объемно-планировочными решениями зданий, размерами, формой и расположением световых проемов, параметрами и удалением противостоящих зданий.

Некоторые примеры по обеспечению требуемой освещенности помещений для школьных и жилых зданий приведены ниже. Так, гигиенические требования обеспечиваются снижением напряженности зрительной работы учащихся.

Для этого должно сохраняться соотношение яркости поверхностей, находящихся в поле зрения учащихся:

- а) между тетрадью и партой 3:1;
- б) между доской и стеной 3:1;
- в) между тетрадью и поверхностью стен и потолка 10:1;
- г) между окном и простенком 20:1.

Уровень освещенности жилых зданий зависит от следующих факторов:

- а) ширины разрывов между зданиями. Освещение помещений резко снижается при разрыве между зданиями меньше, чем его тройная высота;
- б) формы и пропорции жилых комнат. Наиболее неблагоприятное соотношение ширины и глубины жилой комнаты, в светотехническом отношении 1:2, особенно при глубине комнаты 6 м;
- в) формы и конструкции окон;
- г) расположения и пропорций балконов и лоджий.

Таблица 4.7

Классификация общественных зданий по требованиям к освещению основных помещений

Номер группы зданий	Требования к освещению	Примеры зданий
I	Уровень освещенности определяется гигиеническими нормами	Лечебные здания, детские дошкольные учреждения, санатории, жилые дома
II	Достаточный уровень освещения сочетается с определенной направленностью и равномерностью его распределения в помещении	Школы и другие здания учебного назначения
III	Высокий уровень освещенности сочетается с определенной направленностью и неравномерностью , способствующей хорошей видимости	Спортивные залы, музеи, картинные галереи, выставочные залы
IV	Естественное освещение используется для создания световых эффектов и участвует в архитектурно-художественном оформлении интерьеров	Здания мемориальной архитектуры, культовые сооружения, концертные залы

4.7. Современные методы расчета естественной освещенности на основе компьютерного моделирования

Программное обеспечение для моделирования освещения в настоящее время является широко используемым инструментом и неотъемлемой частью современного дизайна освещения. Эти программы позволяют выполнять сложные и часто большие объемы вычислений в разумные сроки. Хотя, в зависимости от используемого программного обеспечения, для ввода всей соответствующей информации в качестве исходных данных все еще может потребоваться значительное количество времени.

Этот тип программного обеспечения для моделирования широко начал разрабатываться еще с 1970-х годов, при этом многочисленные продукты продолжают разрабатываться и улучшаться. Опрос по использованию таких программных инструментов в 2004 году показал, что среди 342 респондентов использовались 42 различных программных инструмента моделирования освещения. (Фитц и Рейнхарт, 2004 г.) Более

позднее исследование методов прогнозирования дневного света выявило 39 различных программных средств моделирования освещения. (Галасиу и Рейнхарт, 2008 г.)

Здесь стоит оговориться, что развитие компьютерных алгоритмов шло и идет по двум разным направлениям, зачастую спорящих друг с другом. **Первое направление** – точные вычисления параметров освещенности пространства для обеспечения требований к естественной освещенности и к искусственным источникам света. **Второе направление** – быстрое получение фотореалистичного изображения (рендера) для архитектурной визуализации, компьютерных игр и киноиндустрии, где точность расчетов освещенности далеко не на первом месте в угоду скорости расчетов. Очевидно, что второе направление значительно преобладает над первым, так как точные расчеты освещенности необходимы лишь узкому кругу специалистов.

Если говорить о программах для точного расчета освещенности, все они так или иначе базируются на нескольких алгоритмах: методы разделения потока (split-flux), метод излучения (radiosity), метод трассировки лучей (ray-tracing) и использование гибридных алгоритмов.

Трассировка лучей (ray-tracing) была впервые разработана Уиттедом в 1979 году как метод, в основном используемый для создания компьютерных изображений. Суть алгоритма заключается в отслеживании взаимодействия отдельных лучей с поверхностями, которые испускаются от глаза/камеры наблюдателя (в данном случае – пикселя на экране) до источника света.

Алгоритм излучения (radiosity) принципиально отличается от метода трассировки лучей. Суть алгоритма в том, что в замкнутой компьютерной сцене происходит испускание лучей от источников света до тех пор, пока не наступит равенство испускаемой энергии и поглощенной энергии окружающими поверхностями. Это дает распределение света каждой поверхности, по которому можно рассчитать освещенность в любой точке.

Алгоритм разделенного потока (split-flux) широко используется для оценки дневного света на ранней стадии проектирования и является методом расчета дневного света по умолчанию, используемым в EnergyPlus (DOE, 2017). Данный алгоритм разделяет падающий свет на нисходящие и восходящие компоненты потока, равномерно распределяя их по соответствующим внутренним поверхностям и применяя взвешенные по площади коэффициенты отражения и поглощения.

Каждый метод имеет преимущества перед другим; однако нет единого мнения о том, что лучше подходит для имитации освещения. Обзор литературы показывает, что в подавляющем большинстве исследований по моделированию освещения использовалось базовое ПО Radiance, разработанное Калифорнийским институтом Беркли. (Campbell et al., 1999) Во время исследования 2008 года, посвященного использованию методов

прогнозирования дневного света, Рейнхарт и Галасиу обнаружили, что более 62 % используемых программ частично или исключительно основаны на обратном трассировщике лучей Radiance. (Галасиу и Рейнхарт, 2008 г.)

Radiance – это программа трассировки лучей, прошедшая несколько проверок. Ученые Ли и Цанг пришли к выводу, что Radiance может с достаточной точностью имитировать дневное освещение в помещении, если сравнить их с экспериментальными данными. (Li, Tsang, 2005; Нагакура и др., 2001). Ученые Аморим и Кристаку обнаружили, что Radiance обладает большим потенциалом для оценки дневного света в архитектурных проектах. (Christakou и Amorim, 2005 г.) Radiance – это программа с открытым исходным кодом, которую можно загрузить бесплатно, но в ней отсутствует собственный пользовательский интерфейс.

Relux – это бесплатный пакет моделирования освещения, который использует алгоритмы расчета Ray-tracing и Radiosity и позволяет пользователю выбирать между ними.

Согласившись с вышеупомянутыми авторами в отношении точности Radiance, ученые Кристаку и Сильва пришли к выводу, что Relux был наиболее подходящим для использования архитекторами для имитации дневного света при рассмотрении таких критериев, как моделирование, пользовательский интерфейс, вывод, скорость обработки и проверка результатов. Более позднее исследование того же автора произвело сравнение программ DesktopRadiance, Rayfront, Relux и Lightscape и подтвердило его более ранний вывод о том, что Relux является наиболее подходящим программным обеспечением для архитектурного проектирования при прогнозировании дневного света. (Аморим и Кристаку, 2005 г.). Стоит также отметить, что он полностью интегрирован в программный продукт **AutodeskRevit**, который является на текущий момент индустриальным стандартом в области архитектурно-строительного проектирования.

Dialux, разработанный DialGmbH в Германии, также доступен для бесплатной загрузки. Dialux использует для своих расчетов алгоритм Radiosity.

AGI32 – это инструмент моделирования освещения, который, в отличие от других, доступен только при покупке лицензии. Он разработан LightingAnalysts и наиболее распространен в Северной Америке. Он используется для моделирования как искусственного, так и дневного освещения и использует алгоритм Radiosity для расчета освещения. Подобно Dialux, AGI32 редко фигурирует в доступной литературе в отношении предыдущих алгоритмов, однако он так же, как и Relux, полностью интегрирован в программный продукт **AutodeskRevit**.

В таблице 4.8 дан сравнительный анализ программных средств по расчету естественного освещения. Сравнительный анализ результатов

между стандартным методом СП 52.13330 и программными комплексами показал расхождение величин к.е.о. на 8–52%. Данное отличие результатов вызвано как особенностями алгоритма расчета, так и характеристиками каждой программы.

Таблица 4.8

Параметры	Dialux	Relux	Velux	Ситис: Солярис	Свет НИИСФ
	Германия	Швейцария	Дания	Россия	Россия
Точка нормирования к.е.о.	Центр помещения	Центр помещения	Центр помещения	В соответствии требованиям и СП 52.13330	В соответствии требованиям и СП 52.13330
Высота противостоящего здания	+	+	+	+	+
Расстояние до противостоящего здания	+	+	+	+	+
Коэффициент отражения фасада противостоящего здания	+	+	+	+	+
Коэффициент отражения потолка, стен, пола	можно использовать фотореалистичные текстуры поверхностей	можно использовать фотореалистичные текстуры поверхностей	можно использовать фотореалистичные текстуры поверхностей	посредством коэффициентов	посредством коэффициентов
Методы расчета составляющей отражения от внутренних поверхностей помещений и фасадов противостоящих зданий	radiosity	ray-tracing, radiosity	photon mapping	по методике СП 52.13330	по методике СП 52.13330

Расчет освещенности средствами ПО сводится к следующим этапам:

- создание трехмерной модели помещения, оконных конструкций, СЗУ и т.п.;
- назначение поверхностям модели текстур, коэффициентов отражения и светопропускания;
- определение характеристик источников света (данные о яркости небосвода или уровень солнечной радиации) для конкретной местности, календарного момента времени;
- калькуляция освещенности средствами ПО.

В качестве характеристики источника естественного света зачастую используют данные о неравномерной яркости неба. В «ручном» методе расчета с использованием графиков Данилюка используется модель абсолютно облачного неба, где максимальная яркость в зените убывает к

линии горизонта. Действительное же распределение яркости неба существенно зависит от степени облачности и динамики изменения погодных условий.

На текущий момент существует 16 стандартных типов неба (рис. 4.18). Отличаются они состоянием облачности небосвода от абсолютной облачности, частичной облачности к абсолютно ясному небу. Распределение яркости неба получают с использованием стандартного неба CIE, описанного как в ISO 15469:2004(E), так и в CIES 011/E:2003.

Некоторые программные продукты позволяют использовать и статистику экспериментальных данных о состоянии облачности путем загрузки файла данных о погоде и динамической генерации распределения яркости неба с использованием ежечасного прямого и рассеянного солнечного излучения или освещенности. Данная возможность реализована, например, в программном продукте RhinocerosGrasshopper, расширении Insightplugin для AutodeskRevit, в веб-приложении динамической освещенности (Dynamic-Daylighting) от доктора Эндрю Марш (Dr. AndrewMarsh) и других.

При изучении программного обеспечения для моделирования освещения в контексте предсказания дневного света сравнивались результаты разных программ. Так, например, сравнение программ AGI32, Ecotect и 3DsMax показало, что AGI32 выдал самые высокие результаты освещенности, а 3DsMax – самые низкие во всех тестовых случаях, хотя они не сравнивались с реальной тестовой комнатой, где проводились реальные измерения. (KensekandSuk, 2011 г.) Все это говорит о том, что несмотря на широкое развитие компьютерного моделирования, до сих пор сохраняется неясность об адекватности и точности расчетов световой среды с помощью программного обеспечения. Стоит также отметить, что ни один из алгоритмов на текущий момент не учитывает особенностей восприятия среды человеческим глазом. То есть не учитываются такие известные оптические эффекты, как адаптация глаза (темновая или световая), эффект Пуркине (искажение восприятия цвета в зависимости от уровня освещенности пространства), степень слепящего воздействия и т.д.

Пример 4.2. *Моделирование естественной освещенности в программном комплексе AutodeskRevit*

Подготовка модели помещения в программном комплексе

Стены и перекрытия

Модель здания или помещения необходимо установить в соответствие с ее ориентацией по сторонам света. Выполняется модель помещения с применением многослойного типа стен и покрытий. В характеристиках стен должно быть, как минимум, 2 слоя, один из которых является отделочным, рис. 4.19. Отделочный слой необходим для указания коэффициента отражения поверхности.

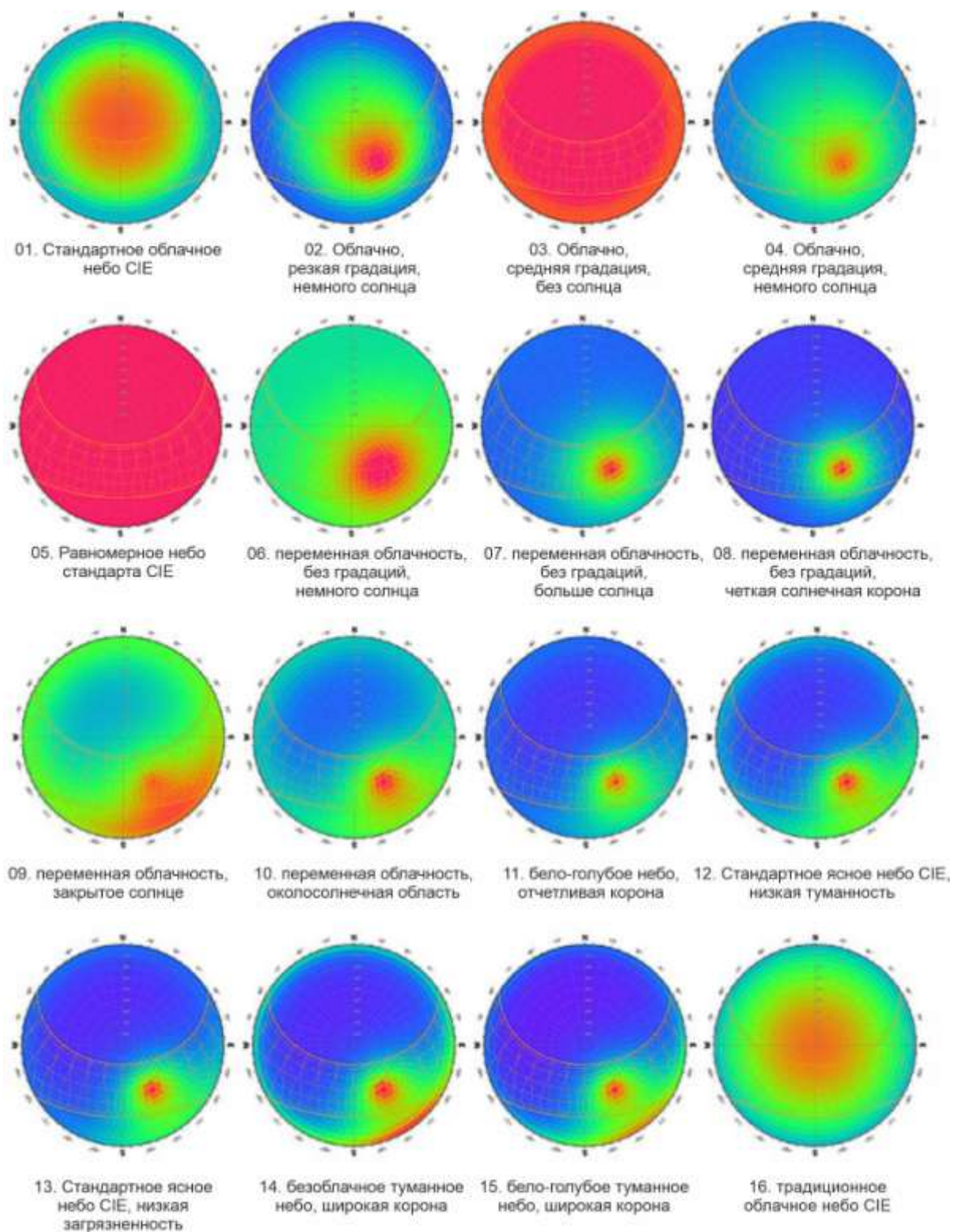
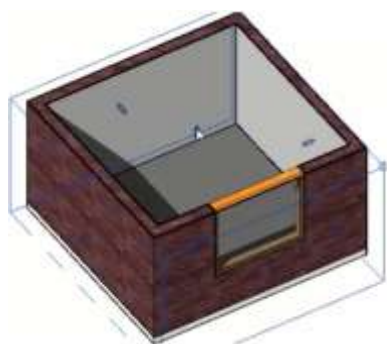


Рис. 4.18. Примеры 16 стандартных типов неба CIE



Слой			
НАРУЖНАЯ СТОРОНА			
	Функция	Материал	Толщина
1	Граница сердцевины	Слой выше огибания	0,0
2	Отделка 1 [4]	Условный материал-о	20,0
3	Структура [1]	Кирпич, обычный	200,0
4	Граница сердцевины	Слой ниже огибания	0,0

Рис. 4.19. Модель помещения с указанием слоев для стен

Светопрозрачные конструкции

Модель окна рекомендуется выполнить в упрощенном виде, а именно: состоящим только из одной панели стекла и рам, несмотря на то, что по своим характеристикам окно является однокамерным, двухкамерным и т.д. Учет количества стекол в стеклопакете происходит на этапе указания коэффициента светопропускания данного элемента в редакторе материалов.

Редактирование материалов

Светопрозрачность стекла и коэффициент отражения покрытия задается в редакторе материалов во вкладке «Представление», рис. 4.20. В программном комплексе AutodeskRevit коэффициент отражения ρ связан с цветовой шкалой RGB следующим выражением:

$$RGB = \rho \cdot 255.$$

Например, если коэффициент отражения ρ равен 0,6, то необходимо в редакторе материалов выставить цвет RGB, равный $0,6 \cdot 255 = 153$ ($R=153, G=153, B=153$). Помимо однотонного цвета поверхности, программный комплекс AutodeskRevit позволяет использовать сложные по текстуре растровые изображения для поверхностей. В этом случае указания величины RGB не требуется, так как программа рассчитывает коэффициент отражения цветного изображения автоматически по средней яркости пикселей.

Коэффициент светопропускания также регулируется цветом RGB, что указывается программой в виде величины этого коэффициента, рис. 4.20. Можно видеть, что величина коэффициента светопропускания рассчитывается программой автоматически при задании RGB.

Расчет КЕО

Расчет коэффициента естественной освещенности выполняется с помощью плагина Insight – LightningAnalysisforRevit. Интерфейс приложения показан на рисунке 4.21, где выбирают тип анализа освещенности, помещение для расчета и точность получаемых результатов. В качестве типов анализа доступны: illuminanceanalysis (абсолютная освещенность в люксах), daylightfactor (коэффициент естественной освещенности), daylightautonomy (динамический анализ времени освещения), LEED (искусственное освещение).

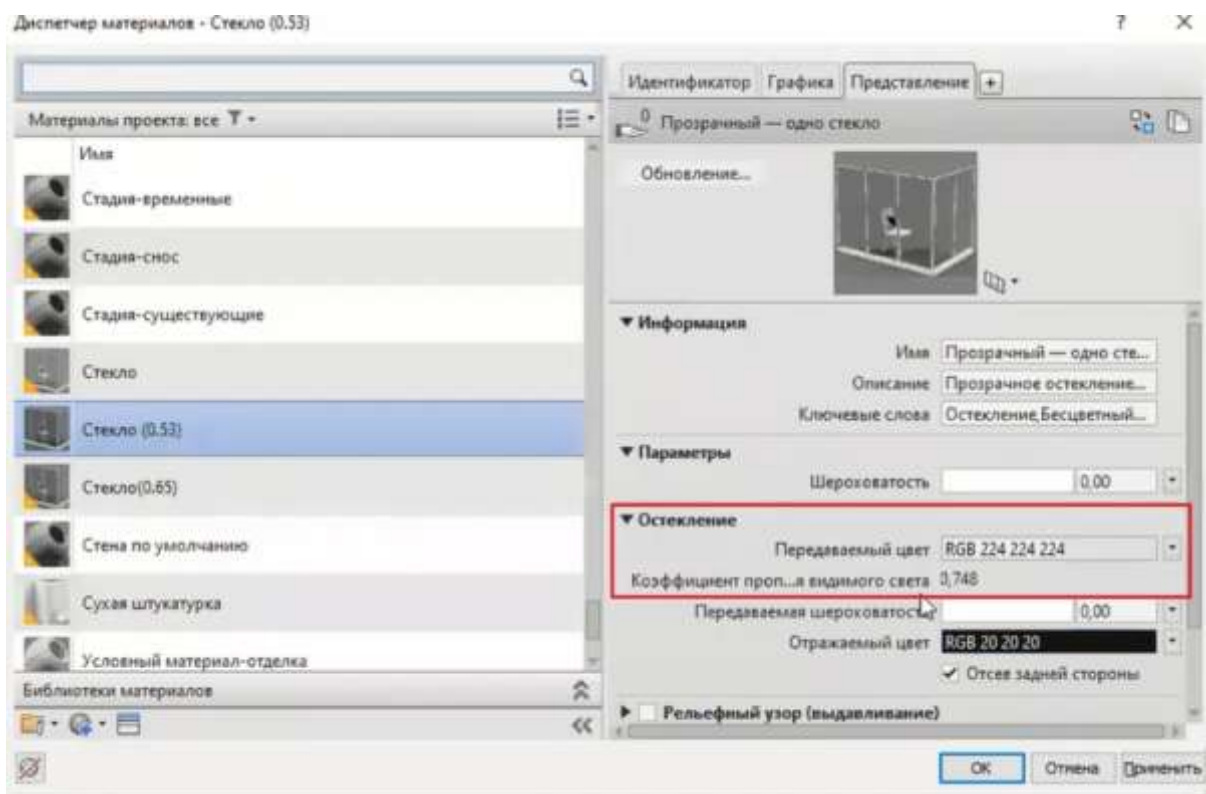


Рис. 4.20. Редактор материалов Autodesk Revit.

В красной рамке указана величина RGB, требующая редактирования.

При использовании типа анализа daylightfactor дополнительных настроек и исходных данных не требуется, так как для расчета используются стандартизированные параметры абсолютно облачного неба.



Рис. 4.21. Интерфейс плагина для расчета освещенности

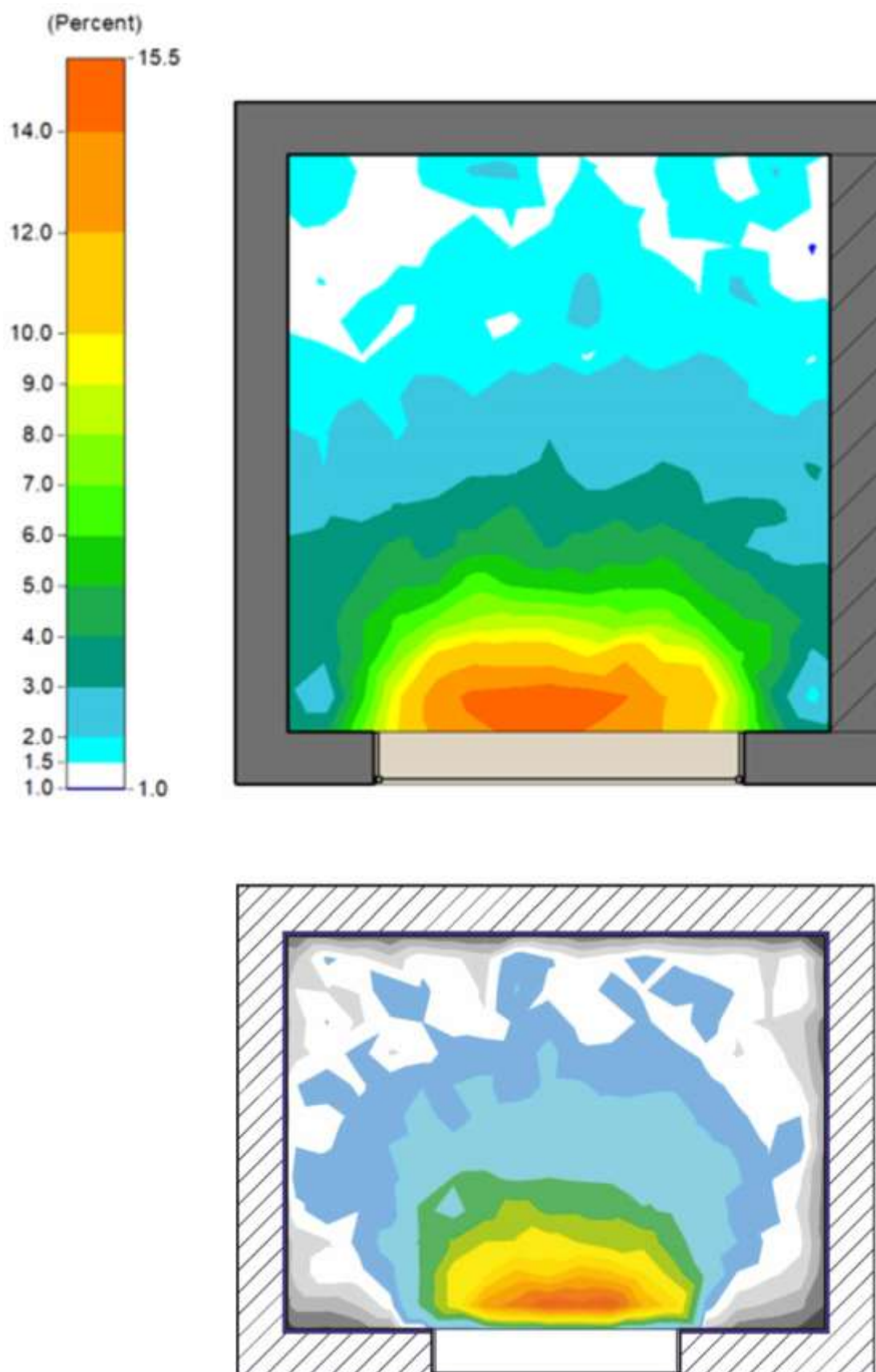


Рис. 4.22. Реализация компьютерного расчета освещенности на примере учебного класса (поля освещенности КЕО на уровне рабочей поверхности)

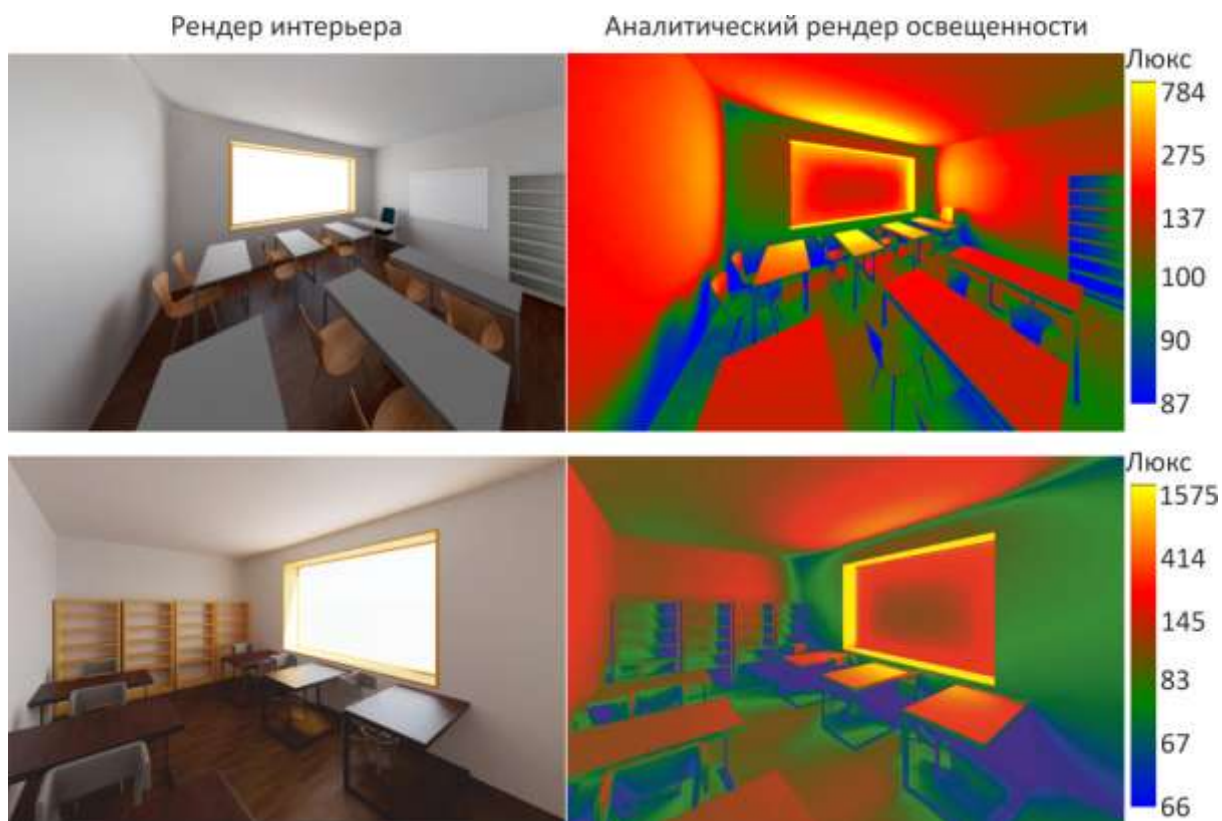


Рис. 4.23. Реализация компьютерного расчета освещенности на примере учебного класса (поля абсолютной освещенности)

Для остальных режимов требуются исходные данные модели неба (рис. 4.21), географического местоположения, времени суток, а также параметры суммарной, прямой и диффузной солнечной радиации для данного момента времени (GHI, DNI и DHI, соответственно).

Получаемые результаты

На рисунках 4.22 и 4.23 показаны результаты компьютерного моделирования освещенности учебных классов, выполненных Казанским государственным архитектурно-строительным университетом на базе Autodesk Revit. Можно видеть, что в качестве результата расчета получают графическое распределение уровня освещенности на поверхностях в люксах и в к.е.о., %.

Содержание

Введение	2
РАЗДЕЛ I. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ	4
1.1. Климат и человек	4
1.2. Основные понятия о климате.....	5
1.3. Климатические факторы и формирование метеорологической информации	9
1.4. Солнечная радиация.....	12
1.5. Температура воздуха	17
1.6. Влажность воздуха.....	21
1.7. Ветровой режим	26
1.8. Атмосферные осадки и снежный покров	32
1.8.1. Дожди и их учет в проектировании	32
1.8.2. Снежный покров, метели, снегозаносы.....	36
1.9. Оценка «круга горизонта» по климатическим факторам.	40
РАЗДЕЛ II. КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ.....	42
2.1. Климатическое районирование для строительства	42
2.2. Климатическое районирование для типизации жилища и архитектурные средства преобразования среды.....	46
РАЗДЕЛ III. ТЕПЛОЗАЩИТА ЗДАНИЙ.....	52
3.1. Тепловой комфорт и микроклимат помещений.....	52
3.2. Ограждающие конструкции как объект проектирования теплозащиты	57
3.3. Теплопередача в холодный период года	59
3.4. Проектирование и расчет ограждений для холодного периода года	61
3.4.1. Расчетные параметры климата и микроклимата	61
3.4.2. Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче $R_{\text{то}}^{\text{тр}}$..	62
3.4.3. Разработка конструктивного решения наружных ограждений и определение основных параметров теплозащиты	63
3.5. Теплопередача в теплый период года.	68
3.5.1. Теплоустойчивость ограждающих конструкций.....	69
3.5.2. Перегрев помещений от солнечной радиации, поступающей через световые проемы	71

3.6. Паропроницаемость и конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях	76
3.7. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций	84
3.7.1. Разность давлений воздуха внутри и снаружи помещения ΔP	85
3.7.2. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.....	88
РАЗДЕЛ IV. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ.....	92
4.1. Основные величины, единицы и законы	94
4.2. Ресурсы природной световой энергии	97
4.3. Нормы естественного освещения	100
4.4. Проектирование и расчет естественного освещения помещений....	103
4.4.1. Закон проекции телесного угла	104
4.4.2. Закон светотехнического подобия	106
4.4.3. Расчет естественного освещения.....	107
4.4.4. Предварительный расчет площади световых проемов при боковом освещении.....	109
4.4.5. Расчет коэффициентов естественной освещенности	110
4.5. Естественное освещение помещений при помощи трубчатых световодов.....	114
4.6. Особенности проектирования естественного освещения зданий различного назначения	119
4.7. Современные методы расчета естественной освещенности на основе компьютерного моделирования.....	120

Куприянов В.Н., Петров А.С., Иванцов А.И.

АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА

Учебное пособие

В 2 частях

Часть 1

Строительная климатология, теплозащита зданий, естественное освещение