НИИСФ Госстроя СССР

Рекомендации

по расчету светопрозрачных конструкций зданий с учетом светотехнических, теплотехнических, звукоизоляционных качеств и технико-экономических показателей

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ (НИИСФ)
ГОССТРОЯ СССР

Рекомендации
по расчету светопрозрачных конструкций зданий с учетом светотехнических, теплотехнических, звукоизоляционных качеств и технико-экономических показателей

Москва Стройиздат 1986

УДК 691 : 628.925.001.24

Рекомендовано к изданию решением Научно-технического совета НИИСФ Госстроя СССР.

Рекомендации по расчету светопрозрачных конструкций зданий с учетом светотехнических, теплотехнических, звукоизоляционных качеств и технико-экономических показателей / НИИСФ. — М.: Стройиздат. 1986 — 87 с.

Рассмотрен комплексный метод расчета светопрозрачных конструкций на основе теплотехнических, светотехнических, аэродинамических и звукоизоляционных требований, предъявляемых к окнам, фонарям и микроклимату зданий; дан инженерный метод расчета количества слоев остекления и площади световых проемов.

Содержат технико-экономическое обоснование выбора светопрозрачной конструкции для конкретного типа здания и района строительства.

Для инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций.

Табл. 19, ил. 12.

Р $\frac{3202000000-672}{047(01)-86}$ Инструкт.-нормат., вып. I—73—87

© Стройиздат, 1986

ВВЕДЕНИЕ

В современных зданиях светопрозрачные ограждения оказывают существенное влияние на формирование микроклимата помещений. Поэтому при их расчете необходимо исходить из санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к микроклимату помещений и конструкциям.

Совершенствование и разработка новых методов расчета светопрозрачных конструкций имеют большое народнохозяйственное значение, так как теплопотери через окна и фонари в некоторых случаях достигают 80% общих теплопотерь зданий, а их срок службы значительно меньше срока службы здания в целом.

Задача Рекомендаций — дать методы расчета и выбора светопрозрачных конструкций, с тем чтобы с наименьшими энергетическими и материальными затратами обеспечить заданный микроклимат в рабочей зоне помещения.

Рекомендации разработаны НИИСФ Госстроя СССР (д-р техн. наук В. А. Дроздов, кандидаты техн. наук В. К. Савин, Г. П. Бондаренко, инж. В. Н. Дворцов, при участии инженеров А. И. Демина. — разд. 6 и Н. С. Давыдовой — разд. 3).

Замечания и предложения просьба направлять по адресу: Москва, Локомотивный пр., 21.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование окон и зенитных фонарей вновь строящихся и реконструируемых зданий.

1.2. Материалы Рекомендаций позволяют при проектировании определять оптимальные размеры световых проемов окон и фонарей с учетом их свето- и теплотехнических характеристик, параметров звукоизоляции и экономических показателей.

1.3. Выбор светопрозрачных ограждений следует производить с учетом обеспечения требований санитарно-гигиенических, светотехнических, теплотехнических, акустических и прочностных норм, экономичности и долговечности.

1.4. При проектировании окон и фонарей следует руководствоваться главами СНиП по проектированию производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, общественных, жилых зданий, зданий управлений, а также указаниями глав СНиП по строительной теплотехнике, естественному и искусственному освещению, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха, строительной климатологии и геофизике, защите от шума и указаниями настоящих Рекомендаций.

1.5. Светопрозрачные ограждения должны:

обеспечивать нормируемое значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в помещении;

ограничивать инфильтрацию наружного воздуха в помещение и способствовать обеспечению нормируемого значения температуры, влажности и скорости движения воздуха в помещении;

быть удобными и безопасными в эксплуатации;

защищать помещения от вредного действия солнечной радиации;

обеспечивать художественную выразительность интерьеров;

быть экономически эффективными;

иметь долговечность не менее 20 лет.

1.6. При проектировании окон и фонарей за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха следует принимать:

среднюю температуру наиболее холодной пятидневки при определении максимальных теплопотерь и расчете температурных полей светопрозрачных ограждений;

среднюю температуру для холодного периода при определении теплопотерь за отопительный период.

1.7. При проектировании окон и фонарей должны предусматриваться возможности их индустриального изготовления, удобства производства работ при монтаже, очистке остекления и замене стекол, окраске переплетов и уходе за приборами открывания.

2. КОНСТРУКЦИИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ И ВНУТРЕННЕМУ МИКРОКЛИМАТУ ПОМЕЩЕНИЙ

2.1. Конструкции окон подразделяются на переплетные и беспереплетные. К переплетным относятся окна с деревянными, стальными, алюминиевыми и комбинированными (деревоалюминиевыми, металлопластмассовыми) переплетами, остекленные листовым стек-

лом или стеклопакетами. К бесперепленным относятся окна из профильного стекла и пустотелых стеклянных блоков.

В зависимости от назначения зданий, архитектурно-планировочных, объемно-пространственных и конструктивных решений окна могут заполнять отдельные или ленточные световые проемы в стенах, а также изготавливаться в виде больших остекленных поверхностей — витражей.

2.2. Единая номенклатура окон для всех видов зданий (прил. 1) предусматривает следующие ряды координационно-модульных размеров, м:

для окон с деревянными переплетами:

по ширине — 0,6; 0,75; 0,9; 1,2; 1,35; 1,5; 1,8; 2,1;
по высоте — 0,9; 1,2; 1,35; 1,5; 1,8; 2,1.

Окна с координационно-модульными размерами по ширине 0,6 и 0,75 м предусмотрены в качестве доборных при заполнении оконных проемов в сочетании с балконными дверями в жилых зданиях, с размерами 1,35 м — для заполнения оконных проемов в жилых и общественных зданиях, а с размерами 2,7 м — для заполнения оконных проемов в общественных зданиях;

для окон со стальными переплетами:

по ширине — 1,8; 2,4; 3; 4,8; 6;
по высоте — 0,6; 1,2; 1,8; 2,4.

Для зданий со стенами из панелей типа «сэндвич» приняты окна с размерами по ширине 2 м и высоте — 0,6; 1,2; 1,8 и 2,4 м;

для окон с алюминиевыми переплетами:

по ширине — 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,4; 3; 4,8;
по высоте — 0,6; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 2,4.

Изделия с координационно-модульными размерами 1,5×1,8, 1,5×2,1 и 1,8×1,8 м без импостов и фрамуг предназначаются для ограниченного применения в общественных зданиях.

2.3. Окна с деревянными переплетами применяют в жилых, общественных и производственных зданиях промышленных предприятий.

В жилых и общественных зданиях применяют типовые конструкции окон с двойным или тройным остеклением, которые могут быть решены со спаренными или раздельными деревянными переплетами (ГОСТ 11214—78).

На рис. 1 и 2 приведена номенклатура окон для жилых и общественных зданий.

Деревянные окна производственных зданий и зданий сельскохозяйственных предприятий рекомендуется применять в помещениях с сухим и нормальным влажностным режимом (ГОСТ 12506—81). Они подразделяются на глухие и открывающиеся наружу или внутрь помещения. Открывающиеся окна выполнены с одинарными или спаренными переплетами, а глухие — только с одинарными. Глухие окна и окна с наружным открыванием предназначены для применения в одноэтажных производственных зданиях, а окна с внутренним открыванием — в одно- и многоэтажных производственных зданиях и зданиях сельскохозяйственных предприятий.

2.4. Окна с переплетами из спаренных прямоугольных стальных труб (серия 1.436.2-15) применяют в зданиях промышленных предприятий с нормальным температурно-влажностным режимом. Номенклатура окон включает изделия с глухими и открывающимися переплетами. Заполнение оконных переплетов может быть выполнено одинарным листовым стеклом или стеклопакетами.

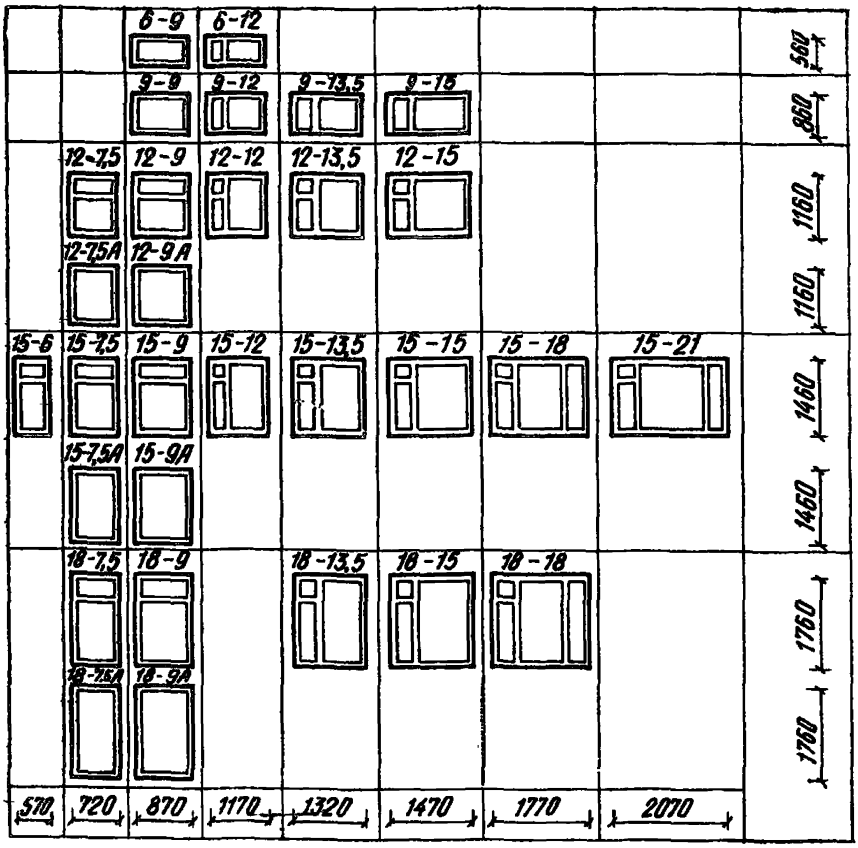


Рис. 1. Типы и габаритные размеры окон и балконных дверей серий С и Р жилых зданий

2.5. Окна с переплетами из одинарных прямоугольных стальных труб (серия 1.436.2-17) предназначены для применения в отапливаемых производственных и вспомогательных зданиях с сухим и нормальным влажностным режимом. Номенклатура окон включает изделия с глухими и открывающимися, одинарными и раздельными переплетами. В раздельных переплетах (серия 1.436-2) наружная и внутренняя рамы соединены между собой стальными полосами. Остекление переплетов выполняется листовым оконным стеклом или стеклопакетами.

2.6. Окна стальные из гнутых тонкостенных профилей с механизмами открывания (серия 1.436.3-16) предназначены для применения в отапливаемых производственных зданиях. Заполнение оконных переплетов может быть выполнено одинарным листовым стеклом, стеклопакетами и двойным раздельным листовым стеклом.

2.7. Окна стальные с заполнением профильным стеклом коробчатого и швеллерного типов (серии 1.436-5 и 1.436-8) применяют в зданиях с сухим и нормальным влажностным режимом помещений. Профильное стекло применяют для заполнения глухих участков светопроемов. Оно обладает светорассеивающими свойствами и не обеспечивает сквозную видимость через остекление. Для обеспечения

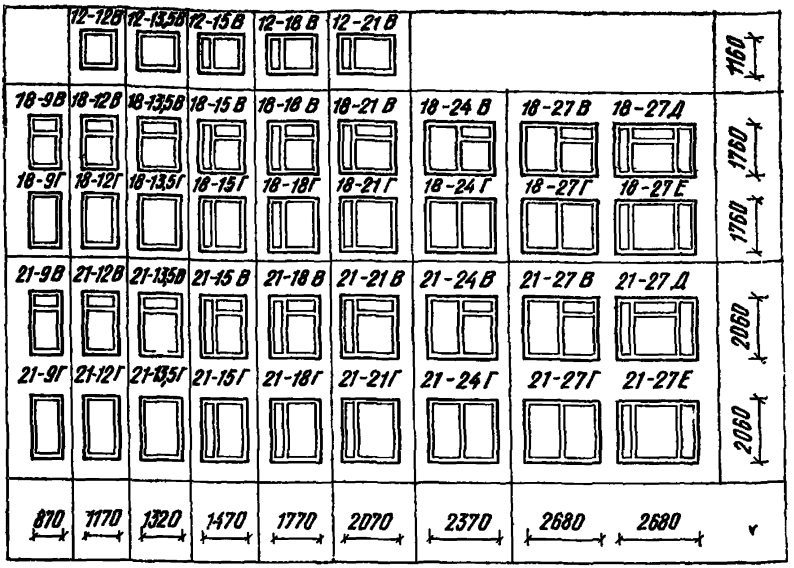


Рис. 2. Типы и габаритные размеры окон и балконных дверей серии С и Р общественных зданий

зрительной связи с наружной средой и для естественной вентиляции глухие конструкции применяют в сочетании с открывающимися переплетными окнами. При устройстве одинарного остекления используют швеллерное профильное стекло, для двойного — коробчатое или швеллерное, размещенное в два ряда. Заполнение световых проемов осуществляется в один или несколько ярусов. Одноярусное заполнение коробчатым профильным стеклом применяется при высоте проема не более 4,2 м.

2.8. Окна с алюминиевыми переплетами применяют в общественных и промышленных зданиях в помещениях с нормальным и влажностным режимом эксплуатации (серия 1.436-10). Они могут быть выполнены с одинарным, двойным или спаренными переплетами. Заполнение проемов по высоте может быть выполнено в один или несколько ярусов. Заполнение переплетов выполняется из листового стекла и стеклопакетов. При пакетном остеклении для переплетов используют алюминиевые профили с термовкладышами.

2.9. Заполнение оконных проемов в стенах зданий промышленных предприятий швеллерным и коробчатым профильным стеклом в деревянной обвязке (серия 2.436-10) отличается от серий 1.436-5 и 1.436-8 отсутствием «мостиков холода» по сечению обвязки.

2.10. Фонари классифицируются по следующим признакам: назначению (световые, светоаэрационные и аэрационные), расположению (продольное, поперечное, панельное), конструктивной схеме (надстройки, складки, совмещенные с покрытием своды, купола), направлению света (односторонний, трапециевидный, М-образный, пилообразный, сводчатый, треугольный).

2.11. Светоаэрационные фонари с одним или двумя ярусами переплетов (серии 1.464-11 и 1.464-13) предназначены для освещения и вентиляции промышленных зданий. В таких прямоугольных

фонарях-надстройках с верхнеподвесными открывающимися переплетами остекление выполняется с двух сторон, а переплеты устанавливаются в один или два яруса. В зданиях с пролетами 12 и 18 м применяют фонари шириной 6 м, при бо́льших пролетах — шириной 12 м.

2.12. Световые (зенитные) фонари из легких металлических конструкций (серия 1.464.2-17) предназначены для освещения производственных зданий. В качестве светопропускающих элементов применяют двухслойные стеклопакеты и профильное стекло, имеющие угол наклона остекления по отношению к кровле 12°.

Зенитные фонари из стеклопакетов применяются для заполнения световых проемов 3×3 м, а из профильного стекла — 1,5×6, 1,5×3 и 1,5×1,5 м.

2.13. Зенитные фонари с применением куполов (серия 1.464-1) предназначены для освещения производственных зданий, в которых размещают производства, относимые по пожарной опасности к категориям Г и Д. В качестве светопропускающих элементов применяют двухслойные купола, выполненные из органического стекла. Размеры световых проемов составляют 1,2×1,4 м.

2.14. При проектировании светопрозрачных ограждений производственных зданий нормируемые значения температуры, влажности и скорости движения воздуха для различных периодов года (допустимые значения — табл. 1, оптимальные значения — табл. 2) в помещениях следует принимать в соответствии с требованием санитарно-гигиенических норм с учетом особенностей технологии производства.

2.15. Расчетные параметры внутреннего воздуха устанавливаются для рабочей зоны помещений. Рабочая зона в производственных помещениях определяется в соответствии с указаниями санитарно-гигиенических норм и СНиП по проектированию отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Рабочей зоной в помещениях производственных предприятий считается пространство высотой 2 м над уровнем пола. Рабочая зона по ширине ограничивается расстоянием от рабочих мест до окон и наружных стен. Параметры воздуха в производственных помещениях вне рабочей зоны не нормируются.

2.16. При проектировании светопрозрачных ограждений во вспомогательных помещениях производственных зданий, а также помещениях жилых и общественных зданий необходимо принимать значения расчетной температуры, влажности и скорости движения воздуха в соответствии с нормами метеорологических условий в обслуживаемой зоне этих помещений (см. табл. 1 и 2) и требованиями соответствующих глав СНиП по проектированию этих зданий.

2.17. Размеры световых проемов окон и фонарей в помещениях с постоянным пребыванием людей следует принимать в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию естественного и искусственного освещения.

2.18. Нормируемое значение уровня естественной освещенности (КЕО) в помещениях должно приниматься в зависимости от задач зрительной работы, производимой в них.

2.19. При проектировании верхнего или верхнебокового естественного освещения в помещениях общественных зданий и производственных зданий, в которых выполняются работы I—VI разрядов, необходимо обеспечить требуемую равномерность его, ограничить слепящее действие прямого солнечного света и создать оптимальное соотношение яркостей на рабочих местах и в помещении.

Таблица 1

Характеристика помещений	Категория работы	Холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха ниже 10° С)				Теплый период года (температура наружного воздуха 10° С и выше			
		На постоянных рабочих местах в рабочей зоне производственных помещений и в обслуживаемой зоне других помещений			Температура воздуха вне постоянных рабочих мест в производственных помещениях, °С	На постоянных рабочих местах в рабочей зоне производственных помещений и в обслуживаемой зоне других помещений			Температура воздуха вне постоянных рабочих мест в производственных помещениях, °С
		температура	относительная влажность воздуха, %, не более	скорость движения воздуха, м/с, не более		температура воздуха, °С	относительная влажность воздуха, %, не более	скорость движения воздуха, м/с	
Производственные с незначительными избытками явного тепла 23 Вт/м³ и менее	Легкая	17—22	75	0,3	15—22	Не более чем на 3° С выше расчетной температуры наружного воздуха (расчетные параметры А), но не более 28° С	55 при t = =28° С; 60 при t = =27° С; 65 при t = =26° С; 70 при t = =25° С; 75 при t = =24° С и ниже	0,3—0,5	Не более чем на 3° С выше расчетной температуры наружного воздуха

Продолжение табл. 1

Характеристика помещений	Категория работы	Холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха ниже 10° С)				Теплый период года (температура наружного воздуха 10° С и выше)			
		На постоянных рабочих местах в рабочей зоне производственных помещений и в обслуживаемой зоне других помещений			Температура воздуха вне постоянных рабочих мест в производственных помещениях, °С	На постоянных рабочих местах в рабочей зоне производственных помещений и в обслуживаемой зоне других помещений			Температура воздуха вне постоянных рабочих мест в производственных помещениях, °С
		температура	относительная влажность воздуха, %, не более	скорость движения воздуха, м/с, не более		температура воздуха, °С	относительная влажность воздуха, %, не более	скорость движения воздуха, м/с	
	Средней тяжести	15—20	75	0,5	13—20	То же	То же	0,3—0,7	То же
	Тяжелая	13—18	75	0,5	12—18	То же, но не более 26° С	65 при t = =26° С; 70 при t = =25° С; 75 при t = =24° С и ниже	0,5—1	»
Производственные со значительными избытками явного тепла более 23 Вт/м³	Легкая	17—24	75	0,5	15—26	Не более чем на 5° С выше расчетной температуры наружного воздуха (расчетные параметры А), но не более 28° С	55 при t = =28° С; 60 при t =27°С; 65 при t = =26°С; 70 при t =25°С; 75 при t = =24°С и ниже	0,3—0,7	Не более чем на 5° С выше расчетной температуры наружного воздуха
	Средней тяжести	16—22	75	0,5	15—24	То же	То же	0,5—1	То же
	Тяжелая	13—17	75	0,5	12—19	То же, но не более 26° С	65 при t = =26° С; 70 при t =25° С 75 при t = =24° С и ниже	0,5—1	»
Вспомогательные помещения в производственных зданиях, помещения в жилых и общественных зданиях и во вспомогательных зданиях предприятий	—	18—22	65	—	0,3	Не более чем на 3° С выше расчетной температуры наружного воздуха (расчетные параметры А)	65	Не более 0,5	—

Примечание. Характеристику производственных помещений по категориям выполняемых в них работ в зависимости от затраты энергии следует принимать в соответствии с ведомственными нормативными документами, утвержденными в установленном порядке, исходя из категории работ, выполняемых 50% работающих и более в соответствующем помещении. Тяжесть работ в зависимости от затраты энергии необходимо определять по санитарным нормам проектирования промышленных предприятий.

Таблица 2

Характеристика помещений	Категория работы	Холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха ниже 10° С)			Теплый период года (температура наружного воздуха 10° С и выше)		
		температура воздуха, °С	относительная влажность воздуха, %	скорость движения воздуха, м/с	температура воздуха, °С	относительная влажность воздуха, %	скорость движения воздуха, м/с
Производственные независимо от величины избытков явного тепла	Легкая	20—22	60—30	Не более 0,2	22—25	60—30	0,2—0,5
	Средней тяжести	17—19	60—30	Не более 0,3	20—23	60—30	0,2—0,5
	Тяжелая	16—18	60—30	Не более 0,3	18—21	60—30	0,3—0,7
Вспомогательные помещения в производственных зданиях, помещения в жилых и общественных зданиях и во вспомогательных зданиях предприятий	—	20—22	45—30	0,1—0,15	22—25	60—30	Не более 0,25

2.20. При эксплуатации светопрозрачных ограждений температура внутренних поверхностей переплетов окон и фонарей, а также стыковых соединений должна быть выше 0° С.

2.21. На внутренних поверхностях остекления окон и фонарей с вертикальным остеклением в зимний период года допускается выпадение конденсата. Конденсация влаги на внутренних поверхностях зенитных фонарей не допускается.

2.22. Для устранения образования инея и наледи на внутренней поверхности остекления сопротивление теплопередаче окон и фонарей с вертикальным остеклением должно быть не менее допустимых значений сопротивления теплопередаче $R_0^д$, приведенных в табл. 3 и определенных из условия обеспечения средней температуры на внутренней поверхности светопрозрачных ограждений более 0°С.

Таблица 3

Температура наружного воздуха, °С	$R_0^д$, м²·°С/Вт, при температуре внутреннего воздуха, °С			
	16	18	20	22
—5	0,16	0,15	0,14	0,13
—10	0,19	0,18	0,17	0,16
—15	0,22	0,21	0,20	0,19
—20	0,26	0,24	0,22	0,21
—25	0,29	0,27	0,26	0,24
—30	0,33	0,30	0,28	0,27
—35	0,36	0,34	0,32	0,29
—40	0,40	0,37	0,34	0,32
—45	0,43	0,40	0,37	0,35
—50	0,47	0,43	0,40	0,37

2.23. Для ограничения интенсивности лучистого теплообмена между телом человека и ограждениями в зимний период года температура внутренних поверхностей светопрозрачных ограждений должна быть не менее допустимых значений $\tau_в > \tau_{в\ доп}$. Допустимая температура внутренней поверхности остекления определяется согласно п. 3.11 настоящих Рекомендаций с учетом расположения рабочей или обслуживаемой зоны от светопрозрачной конструкции и допустимых потерь тепла с поверхности тела человека, которые должны быть не более 70—90 Вт/м².

2.24. Светопрозрачные ограждения должны быть достаточно герметичными и ограничивать инфильтрацию наружного воздуха в помещение. Воздухопроницаемость светопрозрачных ограждений не должна превышать значений, указанных в главе СНиП по строительной теплотехнике (табл. 4).

2.25. Подоконные части стен должны защищаться от увлажнения конденсатом.

2.26. Конструкции окон и фонарей должны обладать достаточной прочностью и жесткостью, необходимыми для восприятия эксплуатационных и транспортно-монтажных нагрузок. Расчетная величина нагрузок для светопрозрачных ограждений должна определяться в соответствии с указаниями главы СНиП по нагрузкам и воздействиям.

2.27. Светопрозрачные ограждения должны быть наиболее ра-

Таблица 4

Ограждающие конструкции	Нормативная воздухопроницаемость $G_н$ кг/(м²·ч)
Окна и балконные двери жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий; окна производственных зданий с кондиционированием воздуха; двери и ворота производственных зданий — в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки выше минус 40° С, с обеспеченностью 0,92	10
То же, с температурой минус 40° С и ниже	8
Зенитные фонари производственных зданий, а также окна производственных зданий с незначительными избытками явного тепла не более 23 Вт/м³ — в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки выше минус 40° С, обеспеченностью 0,92	15
То же, с температурой минус 40° С и ниже	10
Окна производственных зданий с избытками явного тепла более 23 Вт/м³ — в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки выше минус 40° С, обеспеченностью 0,92	30
То же, с температурой минус 40° С и ниже	20

циональны по конструктивному решению, удобны в эксплуатации и экономически эффективны.

2.28. Приведенные затраты на монтаж и эксплуатацию светопрозрачных ограждений должны быть минимальными. Экономически оптимальная конструкция светопрозрачного ограждения должна обеспечивать сокращение расхода энергетических ресурсов и металла, снижение затрат труда при монтаже.

2.29. Окна и фонари должны иметь высокий коэффициент светопропускания.

2.30. Для защиты помещений от перегрева и слепимости следует предусматривать солнцезащиту световых проемов окон и фонарей при строительстве промышленных предприятий в III и IV климатических районах, общественных зданий — в IV климатическом районе и жилых — в III и IV климатических районах.

3. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Количество слоев остекления, размеры и расположение световых проемов окон и фонарей определяются требованиями к естественному освещению и теплозащите помещений, а также геометрическими параметрами здания. Нормированные значения коэффициента естественной освещенности $e_н$ зависят от характера выполняемых зрительных работ в помещениях и светоклиматических особенностей места расположения здания и составляют от 0,1 до 3,5% при боковом освещении, от 0,5 до 10% при верхнем освещении *.

* См. табл. 1 и 2 главы СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение».

3.2. Боковое естественное освещение проектируют в многоэтажных производственных, общественных и жилых зданиях, одноэтажных жилых зданиях, а также в одноэтажных общественных и производственных зданиях при отношении глубины помещений к высоте окон над условной рабочей поверхностью, не превышающем 8.

3.3. Верхнее естественное освещение применяют преимущественно в производственных одноэтажных многопролетных зданиях (три пролета и более) промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также одноэтажных общественных зданиях большой площади.

3.4. Необходимую площадь световых проемов для обеспечения нормируемого значения КЕО ориентировочно определяют по формулам:

при боковом освещении

$$100\frac{S_o}{S_п} = \frac{e_н\,\eta_o\,k_з}{\tau_o\,r_1}\,k_{зд}; \qquad (1)$$

при верхнем освещении

$$100\frac{S_ф}{S_п} = \frac{e_н\,\eta_ф\,k_з}{\tau_o\,r_2\,k_ф}, \qquad (2)$$

где S_o, $S_ф$, $S_п$ — площадь соответственно световых проемов окон, фонарей и пола помещения, м^2;

$e_н$ — нормированное значение КЕО при боковом или верхнем освещении, %;

η_o, $\eta_ф$ — световая характеристика соответственно окна, фонаря;

r_1 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя земли, прилегающего к зданию;

r_2 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения;

$k_з$ — коэффициент запаса;

$k_{зд}$ — коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящим зданием;

$k_ф$ — коэффициент, учитывающий тип фонаря;

τ_o — общий коэффициент светопропускания.

3.5. Общий коэффициент светопропускания вычисляют по формуле

$$\tau_o = \tau_1\,\tau_2\,\tau_3\,\tau_4\,\tau_5, \qquad (3)$$

где τ_1 — коэффициент светопропускания, зависящий от количества слоев остекления и сопротивления теплопередаче R_o и определяемый по табл. 28 главы СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение»;

τ_2 — коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема;

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

τ_4 — коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах;

$\tau_б$ — коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9.

Коэффициенты τ_1, τ_2 и τ_3 определяются по табл. 28 и коэффициент τ_4 — по табл. 29 СНиП II-4-79.

3.6. Нормированное значение КЕО для зданий, расположенных в III поясе светового климата СССР, приведено в табл. 1 и 2 СНиП II-4-79. Для зданий I, II, IV и V поясов светового климата $e_н$ определяют по формуле

$$e_н^{I, II, IV, V} = e_н^{III} \; mc, \tag{4}$$

где m — коэффициент светового климата;

c — коэффициент солнечности климата.

3.7. Значения коэффициентов m, c, r_1, r_2, $k_ф$, $k_з$, $k_{зд}$, $\eta_о$, $\eta_ф$ определяются в соответствии с главой СНиП по проектированию естественного и искусственного освещения.

3.8. Для уточнения параметров световых проемов и определения зон и участков помещения, имеющих недостаточное по нормам естественное освещение, выполняется проверочный расчет.

3.9. При проверочном расчете КЕО в точках характерного разреза помещения определяется в соответствии с главой СНиП II-4-79:

при боковом освещении по формуле

$$e^б_р = (\varepsilon_б q + \varepsilon_{зд} R) r_1 \frac{\tau_о}{k_з}, \tag{5}$$

при верхнем освещении по формуле

$$e_р{}^б = [\varepsilon_в + \varepsilon_{ср}(r_2 k_ф - 1)] \frac{\tau_о}{k_з}, \tag{6}$$

где $\varepsilon_б$, $\varepsilon_в$ — геометрический КЕО в расчетной точке соответственно при боковом и верхнем освещении, учитывающий прямой свет неба;

q — коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба МКО;

R — коэффициент, учитывающий неравномерную яркость противостоящего здания;

$\varepsilon_{зд}$ — геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от противостоящих зданий;

$\varepsilon_{ср}$ — среднее значение геометрического КЕО при верхнем освещении.

3.10. Количество слоев остекления выбирается по среднему значению сопротивления теплопередаче $\overline{R_о}$, которое должно быть не менее допустимых значений $R_о^д$ определенного из условия обеспечения теплового комфорта в помещениях по санитарно-гигиеническим условиям, но во всех случаях не менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_о^{тр}$ согласно указаниям табл. 9 главы СНиП II-3-79 и п. 2.12 настоящих Рекомендаций.

Для окон, имеющих $\overline{R_о} \leqslant 0{,}17$ м²·°С/Вт, принимаем однослойное остекление; при $\overline{R_о}$ от 0,18 до 0,39 м²·°С/Вт — двухслойное, при $\overline{R_о}$ от 0,4 до 0,52 м²·°С/Вт — трехслойное. Для зенитных фонарей при $\overline{R_о} \leqslant 0{,}15$ м²·°С/Вт принимаем однослойное остекление,

при $\overline{R_0}$ от 0,16 до 0,34 м²·°С/Вт — двухслойное, при $\overline{R_0}$ от 0,35 до 0,47 м²·°С/Вт — трехслойное.

В табл. 5 приведены ориентировочные средние значения сопротивления теплопередаче $\overline{R_0}$ окон при различном количестве слоев остекления и разной ширине воздушной прослойки и в табл. 6 — $\overline{R_0}$ светопропускающего заполнения зенитных фонарей.

Более точные значения $\overline{R_0}$ определяются согласно п. 3.12.

Примечание. Указания п. 3.10 не относятся к светопрозрачным ограждениям, под которыми установлены нагревательные приборы, организована тепловая защита внутренней поверхности остекления струями воздуха или обогрев токопроводящими пленками.

Таблица 5

Количество слоев остекления	Ширина воздушной прослойки, мм	Средние значения сопротивления теплопередаче окон, м²·°С/Вт
Один	—	0,17
Два	12	0,31
	15—20	0,32
	50	0,34
	100	0,35
	200 и более	0,36
Три	9+9	0,43
	12+12	0,44
	15+15	0,45
	100+100	0,50

Таблица 6

Вид светопропускающего заполнения	Количество слоев остекления	Средние значения сопротивления теплопередаче зенитных фонарей, м²·°С/Вт
Листовое силикатное стекло	1	0,14
	2	0,34
	3	0,43
Стеклопакеты	2	0,3
	3	0,43
Купола и панели из органического стекла	1	0,15
	2	0,33
Профильное стекло швеллерного сечения	1	0,14
Профильное стекло коробчатого сечения	2	0,34
Профилированные листы из полимерных материалов	1	0,15
	2	0,31

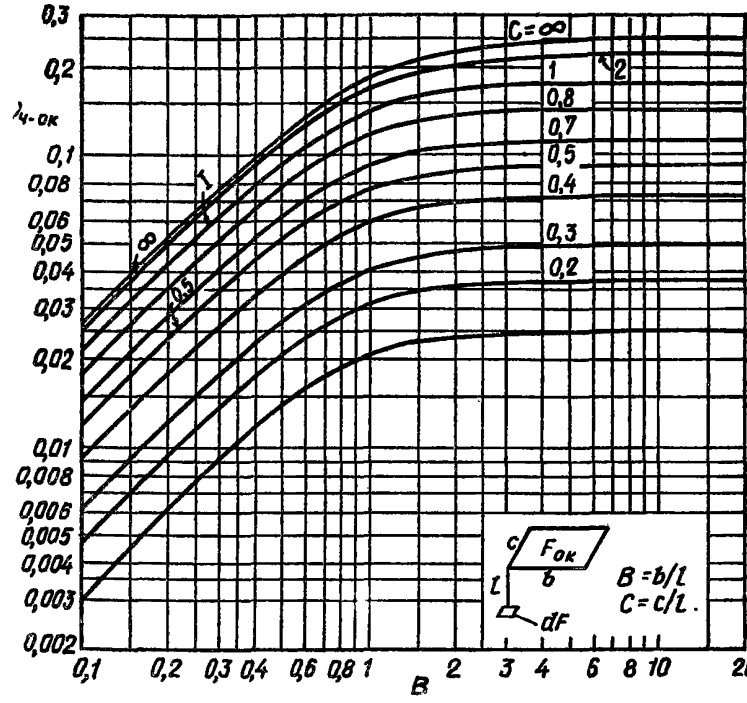


Рис. 3. Графики для определения коэффициента облученности с поверхности тела человека на поверхность окна или нагревательного прибора

3.11. Допустимое сопротивление теплопередаче окна $R_0^д$, при положительных значениях $\tau_{в.доп}$ вычисляется по формуле

$$R_0^д = \frac{t_в - t_н}{t_в - \tau_{в.доп}} R_в , \qquad (7)$$

где $R_в$ — среднее термическое сопротивление у внутренней поверхности остекления.

Допустимые температуры на внутренних поверхностях окон определяются по формуле

$$\tau_{в.доп} = 14 - \frac{3{,}5}{\varphi_{ч-ок}}, \qquad (8)$$

где $\varphi_{ч-ок}$ — коэффициент облученности с поверхности тела человека на поверхность окна, определяемый с помощью графика на рис. 3, или по формуле

$$\varphi_{ч-ок} = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{B}{\sqrt{1-B^2}}\arcsin\frac{C}{\sqrt{1+B^2C^2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{C}{\sqrt{1+C^2}}\arcsin\frac{B}{\sqrt{1+B^2+C^2}}\right), \qquad (9)$$

где $B=\frac{b}{l}$ — отношение ширины окна к расстоянию до рабочей зоны;

$C=\frac{c}{l}$ — отношение высоты окна к расстоянию до рабочей зоны.

Допустимое сопротивление теплопередаче окна при отрицательных значениях $\tau_{в.доп}$ принимается по табл. 3 настоящих Рекомендаций.

Для зенитных фонарей допустимое сопротивление теплопередаче определяется по формуле

$$R^{д}_{о}=\frac{t_в-t_н}{t_{пф}-\tau_р}\bar{R}_в, \qquad (10)$$

где $t_{пф}$ — температура в подфонарном пространстве;

$\tau_р$ — температура точки росы внутреннего воздуха;

$R_в$ — среднее термическое сопротивление у внутренней поверхности зенитного фонаря.

Температуру воздуха в подфонарном пространстве следует определять, руководствуясь отраслевыми нормативными документами или данными натурных исследований. При отсутствии этих данных температура в подфонарном пространстве определяется по формуле

$$t_{пф}=t_в+\Delta t(H-2), \qquad (11)$$

где Δt — температурный градиент по высоте помещения (для производств с технологическими тепловыделениями до 23 Вт/(м²·°С) принимается от 0,2 до 0,5 °С/м);

H — высота помещения, м.

Температура точки росы внутреннего воздуха определяется по табл. 7 в зависимости от относительной влажности $\varphi_в$, % и температуры в рабочей зоне помещения.

Таблица 7

Температура в рабочей зоне перемещения, °С	Относительная влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С				
	30	40	50	60	70
16	—	2,4	5,6	8,2	10,5
17	—	3,3	6,5	9,2	11,5
18	0,2	4,2	7,4	10,2	12,5
19	1,1	5,1	8,4	11,1	13,4
20	1,9	6,9	9,3	12	14,4
21	2,7	6	10,2	12,9	15,3
22	3,4	7,8	11,1	13,9	16,3
24	5,4	9,6	13	15,8	18,2

Относительная влажность в помещении $\varphi_в$, %, определяется по табл. 8 в зависимости от температуры наружного воздуха, влаговыделений и кратности воздухообмена ($t_в=18°$ С).

Влаговыделения в помещении определяются расчетом, а также по отраслевым нормам или данным натурных наблюдений.

Таблица 8

Влаговыделение, г/м	Характер влаговыделений	Температура наружного воздуха, °С																	
		—10			—20			—25			—30			—40			—50		
		Кратность воздухообмена, 1/ч																	
		1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5
0	Влаговыделения отсутствуют	15			7,2			5,2			3,3			1,3			0,7		
1	Незначительные	22	18	16	12	10	8,5	12	8,4	6,5	9,8	6,5	4,6	7,9	4,6	2,6	7,2	3,9	2
2		28	22	18	20	14	9,8	18	12	7,8	16	19,8	5,9	14	7,9	3,9	14	7,2	3,3
5	Малые	48	31	22	40	24	14	38	22	12	36	20	9,8	34	18	7,9	33	17	7,2
10	Значительные	80	48	28	73	40	20	70	38	18	69	36	16	67	34	14	99	33	14
20		100	80	41	100	73	33	100	70	31	100	69	29	100	66	27	100	65	26
30		100	100	54	100	100	46	100	100	44	100	100	42	100	99	40	100	98	38
40	Большие	100	100	67	100	100	59	100	100	57	100	100	55	100	100	53	100	100	51
50		100	100	80	100	100	72	100	100	70	100	100	68	100	100	66	100	100	64

Кратность воздухообмена в помещении определяется по главе СНиП по проектированию отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

3.12. Среднее значение сопротивления теплопередаче окон определяется по формуле

$$\bar{R}_0=\bar{R}_в+\Sigma\,\bar{R}_{в.п}+\Sigma\,\bar{R}+\bar{R}_н, \qquad (12)$$

где $\bar{R}_в$, $\bar{R}_н$ — средние значения сопротивления теплоотдачи соответственно у внутренней и наружной поверхности остекления;

$\bar{R}_{в.п}$ — среднее термическое сопротивление воздушной прослойки;

$\bar{R}$ — среднее термическое сопротивление слоя остекления.

Среднее значение сопротивления теплоотдачи у внутренней поверхности остекления определяется по формуле

$$\bar{R}_в=\frac{1}{\bar{\alpha}_к+\bar{\alpha}_л} \qquad (13)$$

где $\bar{\alpha}_к$ — средний коэффициент теплоотдачи конвекцией, определяемый по формулам:

$$\left.\begin{array}{l}\text{для окон } \bar{\alpha}_к=1{,}68\,(t_в-\tau_в)^{1/3}\ ;\\ \text{для зенитных фонарей } \bar{\alpha}_к=2{,}2\,(t^{пф}-\tau_в)^{1/3}\ ;\end{array}\right\} \qquad (14)$$

$\bar{\alpha}_л$ — средний коэффициент теплоотдачи излучением, опрелеяемый по формуле

$$\bar{\alpha}_л=\frac{5\left[\left(\frac{273+t_в}{100}\right)^4-\left(\frac{273+\tau_в}{100}\right)^4\right]}{t_в-\tau_в}. \qquad (15)$$

Среднее термическое сопротивление воздушной прослойки находится по формуле

$$\bar{R}^{в.п}=\frac{1}{\bar{\alpha}^к_{в.п}+\bar{\alpha}^л_{в.п}}, \qquad (16)$$

где $\bar{\alpha}^к_{в.п}$ — средний коэффициент теплоотдачи конвекцией в воздушной прослойке, определяемый по формулам:

$$\left.\begin{array}{l}\text{для окон } \bar{\alpha}^к_{в.п}=0{,}48\left(\frac{\bar{t}_1-\bar{t}_2}{h_{в.п.}}\right)\ ;\\ \text{для зенитных фонарей } \bar{\alpha}^к_{в.п}=0{,}65\left(\frac{\bar{t}_1-\bar{t}_2}{h_{з.п}}\right)\ ,\end{array}\right\} \qquad (17)$$

где $\bar{t}_1$, $\bar{t}_2$ — средние температуры на поверхностях остекления в воздушной прослойке, °С;

$h_{в.п}$ — ширина воздушной прослойки, м;

$\bar{\alpha}^л_{в.п}$ — средний коэффициент теплоотдачи излучением в воздушной прослойке, определяемый по формуле

$$\overline{\alpha}^{л}_{в.п} = \frac{5\left[\left(\frac{273+\overline{t_1}}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+\overline{t_2}}{100}\right)^4\right]}{\overline{t_1}-\overline{t_2}}. \qquad (18)$$

Термическое сопротивление слоя остекления находится по формуле

$$\overline{R} = \frac{\delta}{\lambda}, \qquad (19)$$

где δ — толщина стекла, мм;

λ=0,8 Вт/(м·°С) — коэффициент теплопроводности стекла.

Среднее сопротивление теплоотдачи у внутренней поверхности согласно главе СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» принимают равным: $\overline{R}_н$=0,043 м²·°С/Вт.

3.13. Средние температуры на поверхностях трехслойного остекления окон определяют по формулам:

$$\left.\begin{aligned}
\overline{\tau}_в &= t_в - \frac{t_в - t_н}{\overline{R}_o}\overline{R}_в;\\
\overline{t}_1 &= t_в - \frac{t_в - t_н}{\overline{R}_o}(\overline{R}_в + \overline{R}_1);\\
\overline{t}_2 &= t_в - \frac{t_в - t_н}{\overline{R}_o}(\overline{R}_в + \overline{R}_1 + \overline{R}_{1в.п});\\
\overline{t}_3 &= t_в - \frac{t_в - t_н}{\overline{R}_o}(\overline{R}_в + \overline{R}_1 + \overline{R}_{1в.п} + \overline{R}_2);\\
\overline{t}_4 &= t_в - \frac{t_в - t_н}{\overline{R}_o}(\overline{R}_в + \overline{R}_1 + \overline{R}_{1в.п} + \overline{R}_2 + \overline{R}_{2в.п});\\
\overline{\tau}_н &= t_в - \frac{t_в - t_н}{\overline{R}_o}(\overline{R}_в + \overline{R}_1 + \overline{R}_{1в.п} + \overline{R}_2 + \overline{R}_{2в.п} + \overline{R}_3)
\end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

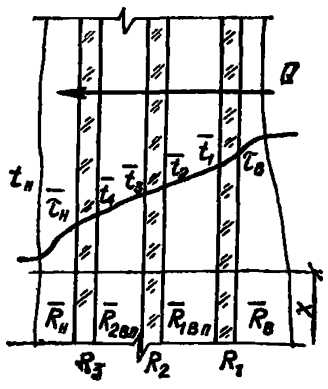


Рис. 4. Схема теплопередачи через трехслойное окно

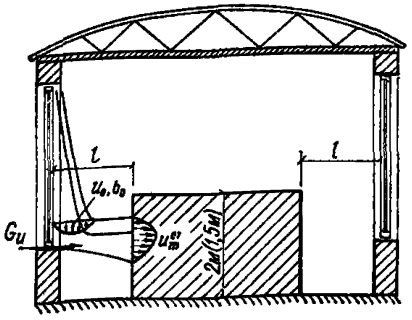


Рис. 5. Схема проникания ниспадающего потока и наружного воздуха в рабочую зону помещения

Для однослойного окна принимают $\overline{R}_2=\overline{R}_3=R_{1в.п}=\overline{R}_{2в.п}=0$, а для двухслойного — $\overline{R}_3=\overline{R}_{2в.п}=0$ (рис. 4).

3.14. Комфортность тепловой обстановки в рабочей (обслуживаемой) зоне помещений зависит от скорости движения воздуха. Расчетная скорость струи воздуха $U_р$, обусловленная действием ниспадающего потока и инфильтрацией воздуха через окна, не должна превышать нормативных значений $U_н$, приведенных в табл. 1 и 2.

3.15. Максимальное значение скорости струи воздуха, обусловленное действием свободной конвекции (рис. 5), рассчитывается по формуле

$$u_m^{ст}=3{,}33\,u_0\left(\frac{b_0}{l}\right)^{1/2}, \qquad (21)$$

где u_0 — средняя по площади скорость в начальном сечении струи;

b_0 — ширина струи в начальном сечении.

Средняя по площади скорость в начальном сечении струи находится по формуле

$$u_0=0{,}061\,(t_в-\tau_в)^{1/2}\;H^{1/2}, \qquad (22)$$

где H — высота окна.

Ширина струи в начальном сечении определяется по формуле

$$b_0=0{,}071\,(t_в-\tau_в)^{-1/6}\;H^{1/2}. \qquad (23)$$

Расчетная скорость, учитывающая инфильтрацию воздуха через окна, равна:

$$u_р=cu_m^{ст}, \qquad (24)$$

где c — коэффициент, зависящий от воздухопроницаемости окон, определяемый по формуле

$$c=3{,}7/B^{1/2}. \qquad (25)$$

3.16. Так как коэффициент светопропускания τ_1 зависит от сопротивления теплопередаче R_0, окончательный выбор количества слоев остекления и площади светопрозрачных ограждений определяется методом последовательных приближений.

В качестве первого приближения принимаем количество слоев остекления и сопротивление теплопередаче согласно п. 3.10.

Определяем общий коэффициент светопропускания заполнения по формуле (3).

Находим размеры светового проема по формуле (1) и выполняем проверочный расчет КЕО в соответствии со СНиП II-4-79.

Для полученных размеров светового проема определяем коэффициент $\varphi_{ч-ок}$ с помощью графика (см. рис. 3) или по формуле (9).

Вычисляем допускаемую температуру на внутренней поверхности окна по формуле (8), если $\tau_{в.доп}$ имеет положительные значения, или по табл. 5, если значение $\tau_{в.доп}$ отрицательное.

Находим допустимое сопротивление теплопередаче окна по формуле (7).

Согласно указаниям п. 3.12, вычисляем среднее значение сопротивления теплопередаче окна R'_0 и сравниваем полученное значение R'_0 с принятым $R_0^д$.

Вычисляем $\tau_в$ по формуле (20) и сравниваем с $\tau_{в.доп}$.

Находим расчетное значение скорости ниспадающего потока воздуха $U_р$ вблизи окна по формуле (24) и сравниваем полученное значение с нормируемой величиной $U_н$.

Если после первого приближения удовлетворяются все три условия: $\overline{R'_0} > R_0^д$, $\tau'_в > \tau_{в.доп}$ и $U_р < U_н$, принятая площадь окна и количество слоев остекления позволяют создать требуемый микроклимат на рабочих местах. В случае, когда указанные выше условия теплового комфорта не выполняются, необходимо увеличить количество слоев остекления и выполнить расчет снова.

3.17. Для выбора наиболее рациональной конструкции окна или фонаря, изготовляемого по типовым решениям или индивидуальным проектам, необходимо провести теплотехнические расчеты по определению температурных полей, приведенного сопротивления теплопередаче, теплопотерь с учетом фильтрации воздуха.

3.18. При расчете светопрозрачных конструкций необходимо учитывать, что они имеют участки с различными теплозащитными качествами: средней зоны остекления, в которой температурный перепад в воздушной прослойке между поверхностями остекления не изменяется; краевых зон остекления — участков их примыкания к переплетам; переплетов и участков их примыкания к наружным стенам.

С целью предотвращения образования на остеклении и переплетах инея и наледи и выявления участков конструкции температурных полей по локальным характеристикам теплообмена.

Конструкция окна считается выбранной правильно, если температуры на внутренней поверхности остекления и переплета будут выше 0° С. Конструкция зенитного фонаря выбрана правильно, если температуры на внутренних поверхностях средней зоны остекления в зимнее время будут выше точки росы, а в краевых зонах и на переплетах — выше 0° С.

3.19. Локальные значения температуры на различных поверхностях остекления средней зоны (рис. 6) определяются по формулам:

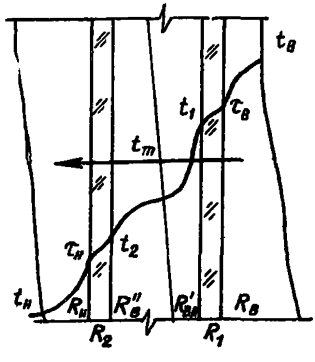


Рис. 6. К расчету локальных значений температуры на различных поверхностях остекления

$$\left.\begin{aligned}
\tau_{в}&=t_{в}-\frac{t_{в}-t_{н}}{R_{0}}R_{в};\\
t_{1}&=t_{в}-\frac{t_{в}-t_{н}}{R_{0}}(R_{в}+R_{1});\\
t_{2}&=t_{в}-\frac{t_{в}-t_{н}}{R_{0}}(R_{в}+R_{1}+R_{1в.п});\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\\
\tau_{н}&=t_{в}-\frac{t_{в}-t_{н}}{R_{0}}(R_{в}+\Sigma R+\Sigma R_{в.п}),
\end{aligned}\right| \qquad (26)$$

где R_0 — локальные значения сопротивления теплопередаче конструкции в сечении X (см. рис. 4), определяемые по формуле

$$R_{0}=R_{в}+\Sigma R_{в.п}+\Sigma R+R_{н}. \qquad (27)$$

Локальные значения термических сопротивлений R и $R_в$, равные их средним величинам, определяются по формулам (13) и (19).

Локальное значение термического сопротивления воздушной прослойки следует рассматривать как сумму двух термических сопротивлений пограничных слоев $R'_{в.п}$ и $R''_{в.п}$ (см. рис. 6) и определять по формуле

$$R_{в.п}=\frac{t_{1}-t_{2}}{\alpha^{к}_{1в.п}(t_{1}-t_{m})+\alpha^{к}_{2в.п}(t_{m}-t_{2})+\alpha^{л}_{в.п}(t_{1}-t_{2})}, \qquad (28)$$

где $\alpha^{к}_{1в.п}$ — локальный коэффициент конвективной теплоотдачи у теплой поверхности остекления прослойки t_1, определяемый по формуле

$$\alpha^{к}_{1в.п}=1{,}5\,(t_{1}-t_{m})^{0{,}3}/x^{0{,}1}, \qquad (29)$$

где $\alpha^{к}_{2в.п}$ — локальный коэффициент теплоотдачи у холодной поверхности остекления прослойки t_2, определяемый по формуле

$$\alpha^{к}_{2в.п}=1{,}5\,(t_{m}-t_{2})^{0{,}3}/(H_{o}-x)^{0{,}1}, \qquad (30)$$

где $\alpha^{л}_{в.п}$ — локальный коэффициент теплоотдачи излучением, определяемый по формуле (18);

t_m — температура в ядре воздушной прослойки, определяемая по формуле

$$t_{m}=\overline{t}_{1}-(t_{1}-t_{2})\left[0{,}83-0{,}6\left(\frac{x}{H_{ок}}\right)\right]. \qquad (31)$$

3.20. При определении температурных полей в средней зоне остекления следует применять следующую схему расчета, основанную на методе последовательных приближений:

по формуле (19) определяют термические сопротивления отдельных слоев остекления;

по главе СНиП II-3-79 * «Строительная теплотехника» принимают в качестве первого приближения средние значения $R_в$, $R_н$ и $R_{в.п}$. По формуле (12) находят среднее значение R_0;

определяют средние значения температур на различных поверхностях остекления по формулам (20);

среднюю зону остекления разбивают по высоте окна на ряд сечений x_1, x_1, ..., x_n и по формуле (31) определяют для них температуры в ядре воздушной прослойки;

определяют локальные коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением по формулам (18), (29), (30);

находят локальные термические сопротивления $R_{в.п}$ по формуле (19);

по формуле (13) определяют термическое сопротивление у внутренней поверхности остекления;

по формуле (27) определяют локальные значения сопротивления теплопередаче;

по формулам (26) находят новые уточненные значения температур на различных поверхностях остекления;

повторяют расчет и уточняют t_m, $R_в$ и $R_{в.п}$ до тех пор, пока в двух последних приближениях эти значения будут отличаться одно от другого не более чем на 10%.

3.21. Температурные поля переплетов, краевых зон остекления участков примыкания переплетов к наружным стенам окон и фонарей рекомендуется рассчитывать на ЭВМ, пользуясь «Руководством по использованию ЭВМ с системой команд М-20 программы расчета двухмерных стационарных полей ограждающих конструкций зданий (в сб.: Строительная теплотехника. М., НИИСФ, 1976). Перенос тепла в воздушной прослойке рекомендуется рассматривать так же, как и в твердых телах. При этом эквивалентный коэффициент теплопроводности находится из выражения

$$\lambda_{экв} = \delta / R_{в.п}.$$

3.22. Среднее приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждений определяется по формуле

$$\overline{R}_o^{пр} = \frac{F}{\frac{F_{ср}}{\overline{R}_o^{ср}} + \frac{F_{кр}}{\overline{R}_o^{кр}} + \frac{F_{пер}}{\overline{R}_o^{пер}}}, \qquad (32)$$

где $R_o^{ср}$ — среднее сопротивление теплопередаче средней зоны;

$R_o^{кр}$ — среднее сопротивление теплопередаче краевых зон;

$R_o^{пер}$ — среднее сопротивление теплопередаче переплета;

F — площадь конструкции, определяемая по формуле

$$F = F_{ср} + F_{кр} + F_{пер}. \qquad (33)$$

Среднее сопротивление теплопередаче средней зоны окон находится по формуле (19). Среднее сопротивление теплопередаче краевых зон и переплета конструкций окон определяется из выражений:

$$\overline{R}_o^{кр} = \frac{t_р - t_н}{t_в - \overline{\tau}_{кр}^{в}} \overline{R}_в; \qquad (34)$$

$$\overline{R}_o^{пер} = \frac{t_в - t_н}{t_в - \overline{\tau}_в^{пер}} \overline{R}_в, \qquad (35)$$

где $\overline{\tau}_в^{кр}$, $\overline{\tau}_в^{пер}$ — средние температуры соответственно на внутренних поверхностях краевых зон и переплета.

При определении $\overline{R}_0^{кр}$ и $\overline{R}_0^{пер}$ зенитных фонарей в формулах (34) и (35) вместо температуры $t_в$ следует подставить температуру $t_{пф}$.

3.23. Потери тепла через светопрозрачные конструкции рассчитываются по формуле

$$Q = Q_0 + Q_д, \tag{36}$$

где Q_0 — основные потери тепла, обусловленые разностью температур наружного и внутреннего воздуха;

$Q_д$ — дополнительные теплопотери на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение за счет инфильтрации через конструкции.

3.24. Основные потери тепла через окна рассчитываются по формуле

$$Q_0 = \frac{F}{\overline{R}_0^{пр}}(t_в - t_н), \tag{37}$$

где F — площадь окна или фонаря.

3.25. Дополнительные потери тепла на нагревание наружного воздуха, поступающего при инфильтрации через светопрозрачные ограждения, следует определять по формуле

$$Q_д = 0{,}28\, G_0 F (t_в - t_н), \tag{38}$$

где G_0 — количество воздуха, кг, проходящего за 1 ч через 1 м^2 площади окна или фонаря.

3.26. Количество воздуха G_0, поступающего в помещение, не должно превышать нормативных величин, указанных в табл. 4, и определяется по формуле

$$G_0 = j \Delta p, \tag{39}$$

где j — коэффициент воздухопроницаемости, кг/(м^2·ч·Па);

Δp — разность давлений воздуха у наружной и внутренней поверхностей наружных ограждающих конструкций зданий, Па.

3.27. Коэффициент воздухопроницаемости определяется по формуле

$$j = B/\Delta p^{1/3}, \tag{40}$$

где B — коэффициент, определяемый по прил. 10 к главе СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» (табл. 9).

3.28. Разность давлений воздуха между наружной и внутренней поверхностями ограждающих конструкций определяют для первого этажа здания с наветренной стороны и вычисляют по формуле

$$\Delta p = 5{,}4\, L(\gamma_н - \gamma_в) + 0{,}29\, \gamma_н v^2, \tag{41}$$

где L — высота здания, м;

$\gamma_н$, $\gamma_в$ — объемные веса соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3, определяемые по формуле

$$\gamma = \frac{353}{273 + t_{в(н)}};$$

v — скорость ветра за январь, равная максимальной из средних скоростей по румбам, повторяемость которых составляет 16% и более, определяемая по главе СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика».

Таблица 9

Заполнение светового проема	Количество уплотненных притворов заполнения	Значение коэффициента B заполнений световых проемов с деревянными переплетами с уплотнением прокладками из пенополиуретана, $м^2 \cdot ч \cdot Па^{2/3}$ /кг
Одинарное или двойное остекление в спаренных переплетах	1	1,2
Двойное остекление в раздельных переплетах	1	1,35
	2	1,75
Тройное остекление в одинарном и спаренном переплетах	1	1,4
	2	2
	3	2,6

Примечания: 1. Значение коэффициента B заполнений световых проемов с металлическими переплетами следует принимать с коэффициентом 1,1.

2. Значение коэффициента B балконных дверей следует принимать с коэффициентом 0,8.

3. Значение коэффициента B заполнений проемов светоаэрационных П-образных фонарей без уплотнения притворов следует принимать с коэффициентом 0,1.

4. Значение коэффициента B заполнений окон без открывающихся створок (без притворов, с уплотненными фальцами) следует принимать равным 4,6 $м^2 \cdot ч \cdot Па^{2/3}$ /кг (независимо от количества и материала переплетов и видов остекления), зенитных фонарей (с уплотненными сопряжениями элементов) — 2,3 $м^2 \cdot ч \cdot Па^{2/3}$ /кг.

4. РАСЧЕТ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСТАНОВКЕ ПОД НИМИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

4.1. Нагревательные приборы под окнами следует устанавливать в тех случаях, когда в рабочей или обслуживаемой зоне помещения скорость ниспадающего потока превышает допустимые значения или средняя температура на внутренней поверхности остекления больше 0° С, но меньше допустимых значений $\tau_{в.доп}$.

4.2. Выбор вида нагревательных приборов, а также параметров теплоносителя и температуры на поверхности приборов следует производить в соответствии с главой СНиП по проектированию отопления, вентиляции и кондиционирования.

4.3. Расчет окон при установке под ними нагревательных приборов производят в такой же последовательности, как и без нагревательных приборов.

4.4. Количество слоев остекления окон при установке нагревательных приборов принимается в зависимости от требуемого значения сопротивления теплопередаче, определяемого по п. 3.10.

4.5. При установке под окнами нагревательных приборов ниспадающий конвективный поток подавляется восходящей теплой струей воздуха от нагревателя, а допустимая температура на внутренней поверхности остекления определяется по формуле

$$\tau_{в.доп} = 14 - \frac{3{,}5}{\varphi_{ч-ок}} + \frac{\varphi_{ч-ок}}{\varphi_{ч-пр}} (23{,}2 - 1{,}3\, t_0), \qquad (42)$$

где t_0 — температура поверхности нагревательного прибора;

$\varphi_{ч-пр}$ — коэффициент облученности между поверхностью тела человека и поверхностью нагревательного прибора.

4.6. Расчет окон при устройстве под ними нагревательных приборов включает выбор мощности приборов, определение места встречи теплой восходящей и холодной ниспадающей струй воздуха, определение средней температуры на внутренней поверхности остекления в зоне действия теплой струи и средней температуры на оси теплой струи, определение теплопотерь и отопительного эффекта, показывающего увеличение теплопотерь при применении нагревательных приборов.

4.7. Количество конвективного тепла, выделяемого нагревательным прибором $Q_н$, должно быть не менее количества тепла, теряемого окном путем конвекции $Q^к_{ок}$ т. е. $Q_н > Q^к_{ок}$.

Количество конвективного тепла, отдаваемого нагревательным прибором, определяется по формуле

$$Q^к_н = \alpha_н (t_0 - t_в)\, F_н,$$

где $\alpha_н = 1{,}68\, (t_0 - t_в)^{1/3}$ — средний коэффициент теплоотдачи нагревательного прибора конвекцией;

$F_н$ — площадь нагревательного прибора.

Конвективные теплопотери через окна определяются по формуле

$$Q^к_{ок} = \alpha_к (t_в - \tau_в) F,$$

где $\alpha_к = 1{,}68\, (t_в - \tau_в)^{1/3}$ — средний коэффициент теплоотдачи окна конвекцией.

4.8. Если при применении нагревательного прибора выполняется условие п. 4.7 настоящих Рекомендаций, необходимо вычислить коэффициенты облученности $\varphi_{ч-ок}$ и $\varphi_{ч-пр}$ и выполнить теплотехнический расчет для определения средней температуры на внутренней поверхности окна в зоне действия теплой гравитационной струи.

Расчет следует производить в такой последовательности:

находим эквивалентный диаметр $d_э$ для выбранного нагревательного прибора по табл. 10.

определяем место встречи теплой и холодной струй по формуле

$$x_э^т = 0{,}2\, d_э \left(\frac{\vartheta_в}{t_в - \tau_в}\right)^{1{,}2} \left(\frac{\vartheta}{\vartheta_в}\right)^{1{,}25n},$$

где $n = 8 \left(\frac{\vartheta_н}{\vartheta}\right)^{10}$; $\vartheta_в = t_0 - t_в$; $\vartheta = t_0 - \tau_в$

Таблица 10

Вид нагревательного прибора	Эквивалентный диаметр $d_э$	Характерный размер
Цилиндр	d_0	Диаметр
Плоская пластина с односторонним выделением тепла	l/π	Длина
Плоская пластина с двусторонним выделением тепла	$2l/\pi$	»
Прямоугольная призма	$2(a+b)/\pi$	Высота, ширина

Значение $\tau_в$ определяется по формуле (20);
вычисляем число Грасгофа Gr_0:

$$Gr_0 = \frac{g\beta(t_0 - t_в)d^3_э}{\nu^2}$$

где β — коэффициент линейного расширения;
g — ускорение свободного падения;
ν — кинематическая вязкость воздуха;
определяем среднее число Нуссельта:

$$\overline{Nu}_0 = 0{,}33\, Gr_0^{1/3}\ (\overline{x}_в^{0{,}73} - 0{,}27)\,\overline{x}^{-1}\ ,$$

где $\overline{x}_в = \frac{x_в{}^т}{d_э}$;

находим средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи по формуле

$$\overline{\alpha}_к = \frac{\overline{Nu}_0\,\lambda}{d_э}\ ; \qquad (43)$$

средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$ вычисляем по формуле

$$(t_m - \tau_в)_{ср} = \frac{0{,}64\,\vartheta}{\overline{x}_в} + \frac{1{,}4\,\vartheta_в}{\overline{x}_в}\left(\frac{\vartheta}{\vartheta_в}\right)^n (\overline{x}_в^{0{,}2} - 1);$$

определяем среднюю температуру на оси гравитационной струи по формуле

$$\overline{t}_m = (t_m - \tau_в)_{ср} + \tau_в;$$

определяем вновь температуру на внутренней поверхности окна в зоне действия гравитационной струи:

$$\tau'_в = \overline{t}_m - \frac{\overline{t}_m - t_н}{\overline{\alpha}_в R_0}\ ,$$

где $R'_0 = R_0 - \left(R_в - \frac{1}{\overline{\alpha}_в}\right)$; $\overline{\alpha}_в = \overline{\alpha} + \overline{\alpha}_л$;

для дальнейших расчетов принимаем среднюю температуру внутренней поверхности остекления

$$\tau''_{в}=\frac{\tau_{в}+\tau'_{в}}{2};$$

далее расчет повторяем, подставляя вместо $\tau_{в}$ значение $\tau''_{в}$; в результате третьего приближения получаем новое значение температуры на внутренней поверхности остекления

$$\tau'''_{в}=\frac{\tau'_{в}+\tau''_{в}}{2};$$

для окончательного выбора $\tau_{в}$ в зоне действия теплой гравитационной струи необходимо выполнить 3—5 приближений, при этом температура $\tau_{в}$ в последнем приближении должна отличаться от предыдущей не более чем на 0,01 °С.

4.9. Для выявления отопительного эффекта нагревательных приборов, полученного из выражения $Э_{н}=\frac{Q_{т}+Q_{х}}{Q_{ок}}$ необходимо определить полные (конвективные и лучистые) теплопотери при действии холодной $Q_{х}$ и теплой $Q_{т}$ струй и сопоставить их с теплопотерями окна без устройства нагревательного прибора по формулам:

$$Q_{ок}=\bar{\alpha}_{в}(t_{в}-\tau_{в})\,F_{ок};$$

$$Q_{х}=\bar{\alpha}_{в}(t_{в}-\tau_{в})\,F_{х},$$

где $\bar{\alpha}_{в}=8{,}7$ Вт/(м²·°С) — средний коэффициент теплоотдачи;

$F_{х}$ — площадь ниспадающего потока;

$$Q_{т}=\bar{\alpha}_{к}(t_{т}-\tau_{в})_{ср}\,F_{ст}+\bar{\alpha}_{л}(t_{в}-\tau''_{в})\,F_{ст},$$

где $\bar{\alpha}_{к}$ — коэффициент теплоотдачи конвекцией, определяемый по формуле (43);

$\bar{\alpha}_{л}$ — коэффициент теплоотдачи излучением, определяемый по формуле

$$\alpha_{л}=\frac{5\left[\left(\frac{273+t_{в}}{100}\right)^{4}-\left(\frac{273+\bar{\tau}_{в}}{100}\right)^{4}\right]}{t_{в}-\bar{\tau}_{в}},$$

где $\tau_{в}$ — средняя температура на внутренней поверхности остекления в зоне действия теплой струи, определяемая по формуле (20);

$F_{ст}$ — площадь теплой струи.

4.10. Теплотехнический расчет окон при устройстве под ними нагревательных приборов рекомендуется выполнять с помощью ЭВМ.

4.11. Программа SWBOND по алгоритму (см. пп. 4.7—4.9) методом последовательных приближений осуществляет расчет теплотехнических характеристик окон при установке под ними нагревательных приборов. Программа состоит из трех модулей. Основная программа осуществляет ввод исходных данных и вызов подпрограммы SWBOHD. Подпрограмма SWBOHD методом последовательных приближений реализует вычисление и печать теплотехнических характеристик. Вспомогательная подпрограмма SWZAG осуществляет пе-

чать заголовка таблицы. Программа написана на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV. Ввод исходных данных осуществляется с перфокарт. Объем оперативной памяти для программы составляет 29 килобайт.

4.12. Необходимые для расчета исходные данные вводятся в такой последовательности:

1. Переменные *N* 1, *N* 2, *N* 3, *N* 4, *N* 5 вводятся с одной перфокарты по формату *I*5:

N 1 — количество значений эффективных диаметров нагревательных приборов;

N 2 — количество значений температур, принимаемых для нагревательного прибора;

N 3 — количество значений высоты окон;

N 4 — количество значений температур воздуха внутри помещения;

N 5 — количество перфокарт, с каждой из которых вводится пара величин — сопротивление теплопередаче оконного проема и температура наружного воздуха *.

Описанные ниже (в пп. 2—6) одномерные массивы исходной информации вводятся по формату *F* 10.0, на каждой перфокарте перфорируются по восемь чисел.

2. *DPR* — значения эффективных диаметров нагревательных приборов. Количество элементов массива равно *N* 1.

3. *FN* — значения площадей нагревательных приборов, м². Количество элементов массива равно *N* 1.

4. *TPR* — значения температур нагревательного прибора, °С. Количество элементов массива равно *N* 2. Данный набор значений температур один и тот же для каждого из принимаемых в расчет нагревательных приборов.

5. *HOKHO* — значения высоты окон, м. Количество элементов массива равно *N* 3.

6. *TB* — значения температур воздуха внутри помещения, °С. Количество элементов массива равно *N* 4.

7. *ALB* — значение коэффициента теплоотдачи внутреннего воздуха, Вт/(м²·°С);

ALUCH — значение коэффициента теплоотдачи излучением воздушной прослойки, Вт/(м²·°С);

ALAM — значение коэффициента теплоотдачи излучением воздушной прослойки, Вт/(м²·°С);

ALAM — значение коэффициента теплопроводности воздуха, Вт/(м²·°С). Эти три величины вводятся с одной перфокарты по формату *F* 10.0.

8. *RO* — значение сопротивления теплопередаче оконного проема, м²·°С/Вт;

TH — значение температуры наружного воздуха, °С.

Обе величины вводятся с одной перфокарты по формату *F* 10.0.

4.13. Печать исходных данных сопровождается комментарием и указанием размерности исходных величин в системе СИ.

4.14. С помощью программы были рассчитаны окна с одно-, двух- и трехслойным остеклением с установкой под ними нагревательных приборов. Были рассмотрены здания, расположенные в

---

* Значения переменных *IR* (номер канала ввода с перфокарт) и *IW* (номер канала вывода на печать) задаются операторами присвоения (строки 3 и 4 программы). *IR*=5, *IW*=6 для ЭВМ М-4030; *IR*=1, *IW*=3 для ЭВМ серии ES.

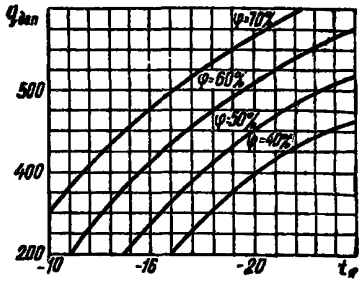


Рис. 7. Определение расхода дополнительного тепла в зенитном фонаре с однослойным светопропускающим заполнением

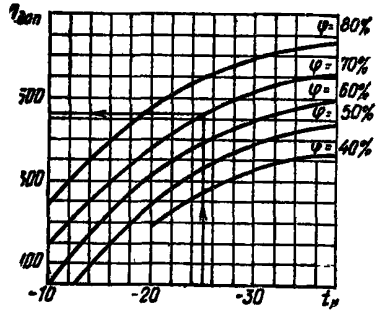


Рис. 8. Определение расхода дополнительного тепла в зенитном фонаре с двуслойным светопропускающим заполнением

различных климатических зонах с расчетными температурами наружного воздуха минус 15, 20, 30 и 40° С.

Высоты световых проемов менялись от 0,6 до 4,8 м. Для выявления оптимального варианта применения нагревательных приборов в расчете использованы три вида нагревательных приборов, отличающихся геометрическими параметрами (d и F). Температуры на поверхности нагревательных приборов были приняты равными 95, 110, 130 и 150° С.

Результаты расчета приведены в прил. 4.

4.15. В зенитных фонарях для обогрева подфонарного пространства с целью устранения конденсата и таяния снега рекомендуется применять трубчатые нагреватели, располагаемые вдоль нижнего периметра фонаря. В этом случае температура на внутренней поверхности остекления будет выше точки росы.

4.16. Необходимое количество дополнительного тепла для устранения образования конденсата с внутренней поверхности зенитного фонаря определяют по формуле

$$Q_{доп} = q_{доп} F_ф, \tag{44}$$

где $q_{доп}$ — удельный расход дополнительного тепла на 1 м² поверхности светопропускающего заполнения, определяемый по графикам, приведенным на рис. 7 и 8;

$F_ф$ — площадь светового проема фонаря, м².

4.17. Требуемую поверхность и диаметр трубчатых нагревателей находят по формулам:

$$S_0 = \frac{Q_{доп}}{(\bar{\alpha}_н + \bar{\alpha}_л)\,(t_0 - t'_{пф})}; \tag{45}$$

$$d_0 = \frac{S_0}{\pi l}, \tag{46}$$

где $\bar{\alpha}_л$, $\bar{\alpha}_н$ — средние значения коэффициентов теплоотдачи соответственно конвекцией и излучением;

$t'_{пф}$ — температура воздуха в подфонарном пространстве с учетом дополнительного обогрева, определяемая по формуле:

$$t'_{\text{пф}} = t_{\text{в}} + \Delta t\ (L-2) + 0{,}33\sqrt{q_{\text{доп}}},$$

где l — общая длина нагревательных приборов.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется по формуле

$$\overline{a}_{л} = \frac{5\left[\left(\frac{273+t_{\text{о}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+t_{\text{в}}}{100}\right)^4\right]}{t_{\text{о}} - t_{\text{в}}} \qquad (47)$$

4.18. Примеры теплотехнического расчета зенитного фонаря приведены в прил. 5.

5. РАСЧЕТ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОСТЕКЛЕНИЯ СТРУЯМИ ВОЗДУХА

5.1. Эффективным способом борьбы с ниспадающими холодными токами воздуха у окон и выпадением конденсата на внутренних поверхностях остекления являются струи воздуха. При подаче воздуха из плоской щели вдоль внутренней поверхности окна (полуограниченная струя) можно поддерживать заранее заданные температуры на поверхности остекления.

5.2. Для борьбы с холодными токами воздуха у окон большой высоты (более 3 м) организуется полуограниченная изотермическая ($t_{\text{в}}=t_{\text{о}}$) струя, направленная навстречу ниспадающему потоку воздуха (рис. 9).

У внутренней поверхности остекления образуются три области:

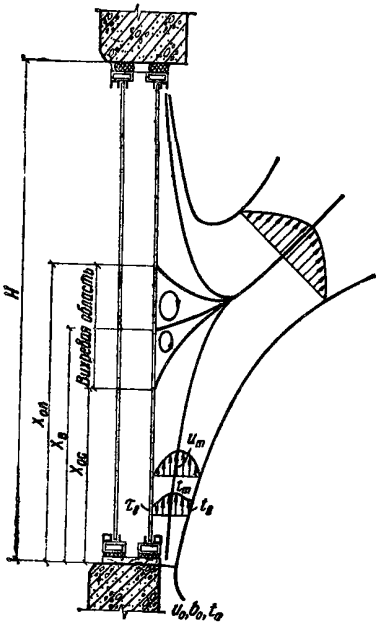


Рис. 9. Схема движения воздуха у окна при взаимодействии ниспадающего потока и восходящей полуограниченной струи

ниспадающего конвективного потока, протяженность которого равна $H-x_{о.п}$, где $x_{о.п}$ — точка отрыва ниспадающего конвективного потока от остекления;

течения полуограниченной турбулентной струи. Протяженность этой струи следует считать от $x=0$ до $x=x_{о.с}$, где $x_{о.с}$ — точка отрыва струи от остекления;

вихревая протяженность $x_{о.п}-x_{о.с}$ В месте встречи $x_в$ конвективного потока и полуограниченной струи образуется новая струя, ось которой в зависимости от количества, движения и теплосодержания струй должна быть направлена перпендикулярно или под некоторым углом вверх к остеклению.

5.3. Теплотехнический расчет окон при защите рабочей или обслуживаемой зоны помещения от проникания холодных токов воздуха состоит в определении оптимальных значений скорости U_0 и ширины b_0 в начальном сечении ($x=0$) струи, места встречи струй $x_в$ и теплопотерь. Расчет ведется в такой последовательности:

выбирают расчетную температуру наружного воздуха в соответствии с главой СНиП по строительной климатологии и геофизике для данного района строительства;

определяют сопротивление теплопередаче по формуле (12) или по табл. 5 в области ниспадающего конвективного потока;

находят температурный напор между воздухом внутри помещения и температурой на внутренней поверхности остекления в области ниспадающего конвективного потока по формуле

$$t_в-\tau_в=R_в(t_в-t_н)\,/\,\overline{R}_0; \qquad (48)$$

определяют место встречи полуограниченной струи с ниспадающим конвективным потоком по формуле

$$x_в=1{,}2\,(t_в-\tau_в)^{-1/3}\,[(1+1{,}67\,(t_в-\tau_в)^{1/3}\,H)^{1/2}-1]; \qquad (49)$$

определяют оптимальное значение скорости по формуле

$$u_0=0{,}155\,(t_в-\tau_в)^{1/3}\,x_в^{1/2}\,/\,b_0^{1/2}\,, \qquad (50)$$

предварительно выбрав ширину щели сопла;

определяют место отрыва струи от остекления по формуле

$$x_{о.с}=27\,u_0^2\,b_0\,/\,(t_в-\tau_в)^{2/3}\,; \qquad (51)$$

находят средний коэффициент конвективной теплоотдачи в зоне действия струи по формуле

$$\overline{\alpha}_c^к=172\,(u_0b_0)^{0{,}87}\,x_{о.с}^{-1}\,[0{,}12\,(x_{о.с}\,/\,b_0)^{0{,}5}+1]; \qquad (52)$$

находят коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha_л=\frac{5}{t_в-\tau_в}\left[\left(\frac{t_в+273}{100}\right)^4-\left(\frac{\tau_в+273}{100}\right)^4\right]; \qquad (53)$$

определяют средний температурный напор в области полуограниченной струи

$$(t_в-\tau_в)_c=\frac{\overline{R}_c\,(t_в-t_н)}{\overline{R}_0-\overline{R}_в-\overline{R}_c}\,, \qquad (54)$$

где $\overline{R}_c=1/(\overline{\alpha}^к_c+\alpha_л)$; (55)

определяют теплопотери в зоне действия полуограниченной струи

$$Q_c = (\bar{\alpha}_c^к + \alpha_л)(t_в - \tau_в)_c x_{о.с} S, \quad (56)$$

где S — ширина окна;

находят координату отрыва конвективной струи от стекла

$$x_{о.к} = 58 u^2_о b/(t_в - \tau_в)^{2/3}; \quad (57)$$

определяют средний температурный напор в вихревой области

$$(t_в - \tau_в)_{в.о} = (t_в - \tau_в)/2 + (t_в - \tau_в)_c/2;$$

определяют средние коэффициенты теплоотдачи конвекцией в вихревой области по формулам:

$$\bar{\alpha}^к_{о.с} = 0{,}9(t_в - \tau_в)^{1/3}_{в.о} (u_о b_о)^{-0{,}13} [1 + 27{,}8(u_о b_о)^{0{,}83}]; \quad (58)$$

$$\bar{\alpha}^к_{о.к} = 32{,}2(t_в - \tau_в)^{1/3}_{в.о} (u_о b_о)^{0{,}7} [1 + 0{,}013 (u_о b_о)^{-0{,}7}]; \quad (59)$$

Находим теплопотери в вихревой области

$$Q_{в.о} = [(\bar{\alpha}^к_{о.с} + \alpha_л)(x_в - x_{о.с}) + (\bar{\alpha}^к_{о.к} + \alpha_л)(x_{о.к} - x_в)](t_в - \tau_в)_c S; \quad (60)$$

определяют теплопотери в зоне действия ниспадающего конвективного потока

$$Q_к = (\bar{\alpha}_к + \alpha_л)(t_в - \tau_в)(H_{ок} - x_{о.п}) S, \quad (61)$$

где $\bar{\alpha}_к = 1{,}68 (t_в - \tau_в)^{1/3}$ — средний коэффициент теплоотдачи;

$H_{ок}$ — высота окна;

общие теплопотери окна равны:

$$Q = Q_c + Q_{в.о} + Q_к.$$

5.4. Пример теплотехнического расчета окна при защите рабочей зоны от проникания ниспадающего потока приведен в прил. 5.

5.5. С помощью неизотермической (горячей) полуограниченной струи можно бороться не только с ниспадающими конвективными потоками у окон, но и не допускать выпадения конденсата на внутренней поверхности остекления ($\tau_в > \tau_р$) или повысить температуру ее выше $\tau_{в.доп}$.

5.6. Применение неизотермических полуограниченных струй дает возможность уменьшить количество слоев остекления до минимально необходимой величины (одного слоя) и одновременно решить вопрос отопления и вентиляции помещения. Тепловые потери через окна при организации струйной защиты возрастают, и вопрос о применении такого инженерного мероприятия окончательно может быть решен после технико-экономических расчетов различных вариантов и их сопоставления по приведеным затратам.

5.7. Для того чтобы можно было повышать температуру до нужной величины в любой точке остекления, необходимо сдуть конвективную струю с наименьшими энергетическими затратами (в этом случае встреча струй должна состояться на расстоянии $x = x_в = H_{ок}$) и дальше повышать температуру $t_о$ в начальном сечении струи до тех пор, пока $\tau_в$ будет равна $\tau_р$ или $\tau_{в.доп}$

5.8. При борьбе с выпадением конденсата на внутренней поверхности остекления расчет ведется в такой последовательности:

выбирают температуру наружного воздуха в соответствии с главой СНиП по строительной климатологии и геофизике;

определяют по табл. 8 в зависимости от $t_н$, влаговыделений и кратности воздухообмена относительную влажность внутри помещения;

находят по табл. 7 в зависимости от относительной влажности $\varphi_в$ и температуры $t_в$ температуру точки росы $\tau_р$;

выбирают ширину щели сопла $b_о$ и определяют оптимальную скорость в начальном сечении струи по формуле

$$u_о = 0{,}155 (t_в - \tau_р)^{1/3} \; H^{1/2} \; / b_о^{1/2} \; ; \qquad (62)$$

определяют место отрыва струи от стенки по формуле (51);

находят методом последовательных приближений разность температур $(t_m - \tau_в)$ между температурой на оси струи на расстоянии $x_{о.с}$ и температурой $\tau_в = \tau_р$ по формуле

$$(t_m - \tau_в) \; \alpha_л + 1{,}56 (t_m - \tau_в)^{4/3} \; (u_о) \; b_о^{-0{,}13} = \frac{\tau_в - t_н}{\Sigma \overline{R} + \overline{R}_{в.п} + \overline{R}_н} ,$$

где $\alpha_л$ — коэффициент теплоотдачи излучением, определяемый по формуле (53)

вычисляют температур. $t_о$ в начальном сечении струи

$$t_о = \tau_в + 0{,}28 (t_m - \tau_в) \; x_{о.с}^{1/2} \; / b_о^{1/2} \; ; \qquad (64)$$

находят средние коэффициенты конвективной теплоотдачи по формулам (52) и (57);

определяют средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$:

$$(t_m - \tau_в)_{ср} = 7{,}2 (t_о - \tau_в) \, b_о^{1/2} \; / \; x_{о.с}^{1/2} \; ; \qquad (65)$$

определяют теплопотери через окно

$$Q = [(\overline{\alpha}^л_с + \overline{\alpha}_л) (t_m - \tau_в)_{ср} \; x_{о.с} \; + \; + (\overline{\alpha}^к_{о.с} + \overline{\alpha}_л) (x_в - x_{о.с}) (t_в - \tau_в)] \; S. \qquad (66)$$

5.9. Пример теплотехнического расчета окна при борьбе с выпадением конденсата на внутренней поверхности остекления приведен в прил. 6.

6. РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОКОН

6.1. Требуемая средняя звукоизоляция окон жилых и общественных зданий определяется по формуле $R^{тр}_{ср} = L_{нар} - L_{доп} + \Delta L$,

где $L_{нар}$ — средний уровень звука снаружи здания;

$L_{доп}$ — допустимый уровень звука в помещении, принимаемый в соответствии с табл. 11;

ΔL — поправка к значению требуемой средней звукоизоляции окон, принимается в соответствии с п. 6.2.

Таблица 11

Название помещений	Допустимый уровень звука в помещении, дБА
Палаты больниц и санаториев, операционные больниц	25
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха и пансионатов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	30
Кабинеты врачей больниц, санаториев, поликлиник, зрительные залы, концертные залы, номера гостиниц, жилые комнаты в общежитиях	35
Классные помещения, учебные кабинеты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы, зрительные залы театров, клубов, кинотеатров, залы судебных заседаний и совещаний	40
Рабочие помещения управлений, рабочие помещения конструкторских, проектных организаций и научно-исследовательских институтов	50
Залы кафе, ресторанов, столовых, фойе театров и кинотеатров	55

6.2. Поправка к значению требуемой средней звукоизоляции окон ΔL зависит от отношения площади остекления к поверхности стены и принимает следующие значения, дБ, при остеклении:

100% — $\Delta L = 0$;
80% — $\Delta L = -1$;
50% — $\Delta L = -3$;
30% — $\Delta L = -5$.

6.3. Средняя звукоизоляция окна с однослойным глухим остеклением определяется по формуле $R^{o}_{ср} = 10{,}5 \lg h + 19{,}3$,
где h — толщина стекла, мм.

Средняя звукоизоляция окна с двухслойным глухим остеклением определяется по формуле $R^{дв}_{ср} = R^{o}_{ср} + \Delta R_{ср}$,

где $R^{o}_{ср}$ — средняя звукоизоляция однослойного ограждения с массой на единицу поверхности, равной массе двойного ограждения;

$\Delta R_{ср}$ — дополнительная величина звукоизоляции за счет воздушной прослойки, определяемая по графику (рис. 10).

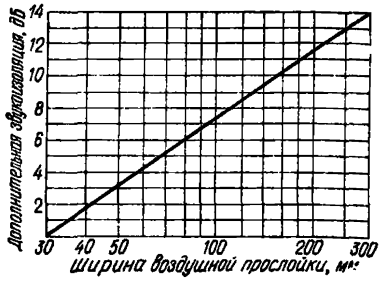


Рис. 10. График для определения дополнительной величины $\Delta R_{ср}$ звукоизоляции за счет воздушной прослойки

В табл. 12 приведены средние значения звукоизоляции окон различной конструкции.

Таблица 12

Тип окна	Толщина стекол, мм	Толщина воздушного промежутка между стеклами, мм	Средняя звукоизоляция *, дБ
Одинарное остекление	2—3	—	23—25
	4—5	—	26—28
	6—8	—	24—30
Двойное остекление в одинарном переплете	2—3	15—20	23—25
	4—5	15—20	26—28
	6—8	15—20	24—30
Двойное остекление в спаренных переплетах	2—3	30—50	27—30
	4—5	30—50	30—33
	6—8	30—50	30—35
Двойное остекление в раздельных переплетах	2—3	100—150	35—40
		200—250	39—42
	4—5	100—150	36—42
		200—250	40—44
	6—8	100—150	36—41
		200—250	39—46

* Зависит от качества уплотнения притворов.

7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

7.1. Оценку технико-экономической эффективности светопрозрачных ограждающих конструкций следует производить по приведенным затратам с учетом обеспечения теплового, светового, воздушного комфорта рабочих или обслуживаемых зон помещений. При технико-экономической оценке светопрозрачных конструкций должны удовлетворяться требования пп. 2.17—2.30.

7.2. Основным критерием экономической эффективности являются минимальные приведенные затраты.

7.3. Приведенные затраты вычисляются по формуле

$$П = E_н К + Э, \qquad (67)$$

где К — капитальные затраты;

Э — эксплуатационные затраты;

$E_н$ — нормативный коэффициент эффективности, равный 0,12.

7.4. Расчет технико-экономической эффективности фонарей следует выполнять в соответствии с указаниями «Руководства по применению прямоугольных светоаэрационных и зенитных фонарей в производственных зданиях» (М., Стройиздат, 1981).

7.5. Расчет экономической эффективности окон при обеспечении нормируемой освещенности естественным светом следует производить без учета технико-экономических показателей наружных стен, а размеры световых проемов и количество слоев остекления следует определять согласно разд. 3 настоящих Рекомендаций. Технико-экономические характеристики окон жилых зданий приведены в прил. 7.

7.6. Расчет технико-экономической эффективности окон для помещений с применением совмещенного освещения производится для наружных вертикальных ограждений в целом с целью определения оптимального соотношения площади световых проемов и глухой части ограждения.

7.7. При определении приведенных затрат рассматривается характерный фрагмент вертикального ограждения длиной 1 м и высотой H, м, при этом отношение площадей светового проема $F_{ок}$ и ограждения F будет равно отношению их высот, т. е.

$$\frac{F_{ок}}{F} = \frac{H_{ок}}{H}.$$

7.8. Капитальные (единовременные) затраты учитывают затраты на устройство световых проемов $К_{ок}$, глухих участков стен $К_{ст}$, санитарно-технических систем $К_{сант}$ и устройств, обеспечивающих тепловой комфорт в рабочей зоне $К_{н}$, и определяются по формуле

$$К = К_{гл} + К_{ок} + К_{сант} + К_{н} = [С_{игл}\,\lambda_{и}\,(R_{огл} - \rho_{гл}) + C_{\rho}]\,(1 - H_{ок}/H) + n\,C_{ок}\,R_{о.ок}\,H_{ок}/H + b \times$$

$$\times \left[1{,}3\,\frac{(t_{в}^{з} - t_{н}^{з})}{H}\left(\frac{H_{ок}}{R_{э.ок}} + \frac{H - H_{ок}}{R_{о.гл}}\right) - q_{пр}\,B\,\psi \right] + c_{н}\,S'_{н}/H,$$

где $С_{игл}$ — стоимость 1 м³ теплоизолирующего слоя конструкции глухой части стен;

$С_{\rho}$ — стоимость 1 м² наружных слоев конструкции глухой части стен;

$С_{ок}$ — стоимость 1 м² конструкции окна;

b — удельная стоимость устройства санитарно-технической системы;

$\lambda_{и}$ — коэффициент теплопроводности теплоизолирующего слоя конструкции глухой части стены;

$R_{огл}$, $R_{о.ок}$ — сопротивление теплопередаче соответственно конструкции стены, окна;

$\rho_{гл}$ — термическое сопротивление наружных слоев конструкций стен;

$С_{н}$ — стоимость конструкции дополнительных устройств, обеспечивающих тепловой комфорт;

n — число конструкций окон, обеспечивающих сопротивление теплопередаче, равное 1, определяемое из выражения:

$$n = \frac{1}{R_{о\,ок}};$$

$S'_{н}$ — площадь поверхности дополнительного устройства длиной 1 м;

$t_{в}^{з}$, $t_{н}^{з}$ — расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха в зимний период;

$q_{пр}$ — избыточные производственные тепловыделения в рабочей зоне;

ψ — коэффициент, учитывающий долю избыточных тепловыделений, проходящих через наружные стены со светопроемами;

B — глубина помещений.

Для помещений с боковым односторонним естественным освещением в формуле (68) принимается $q_{пр}\ B$, для помещений с боковым двусторонним естественным освещением — $q_{пр}\ \frac{B}{2}$.

7.9. При определении капитальных затрат на устройство световых проемов вводится стоимость условной конструкции окна $n\,C_{ок}$, имеющей сопротивление теплопередаче $R_{о.ок}$, равное 1.

7.10. При вычислении капитальных затрат на устройство глухих участков стен рассматривается раздельно стоимость слоя теплоизоляции $C_{игл}\,\lambda_и\ (R_{о.гл}-\rho_{гл})$ и наружных слоев C_ρ конструкций стен.

7.11. Эксплуатационные (годовые) затраты определяются по формуле

$$Э=Э_{гл}+Э_{ок}+Э_{сант}+Э_{э.о}+Э_{н}, \qquad (69)$$

где $Э_{гл}$ — годовые эксплуатационные затраты по глухой части ограждения;

$Э_{ок}$ — то же, окна;

$Э_{сант}$ — годовые эксплуатационные затраты на санитарно-технические системы;

$Э_{э.о}$ — то же, на систему искусственного освещения;

$Э_н$ — то же, на дополнительные устройства, обеспечивающие тепловой комфорт в помещении.

7.12. В состав годовых эксплуатационных затрат по глухой части и окнам входят реновационные отчисления $Р_{гл}$, $Р_{ок}$, определяемые по формуле

$$Р=\frac{E}{(1+E)^{T_с}-1}, \qquad (70)$$

где $T_с$ — срок службы конструкций. Для глухой части стен $T_с=50$ лет, окон $T_с=25$ лет;

$E=0{,}1$ — нормативный коэффициент приведения.

Эксплуатационные затраты на глухую часть ограждения и окна определяются из выражений:

$$Э_{гл}=Р_{гл}\ К_{гл}\ ; \qquad (71)$$

$$Э_{ок}=Р_{ок}\ К_{ок}\ . \qquad (72)$$

7.13. Эксплуатационные затраты на санитарно-технические системы включают реновационные отчисления $Р_{сант}$ (при $T_с=10$ лет), стоимость тепловой и электрической энергии в зимний период в системе отопления и электрической энергии в системе вентиляции в летний и зимний периоды и определяются по формуле

$$Э_{сант}=Р_{сант}\ К_{сант}+(c_{т.э}+30\,c_{э.э})\ 10^{-6}\ Z_{от}\ \times$$

$$\times\left\{1{,}3\left(\frac{1-\frac{H_{ок}}{H}}{R_{о\,гл}}+\frac{\frac{H_{ок}}{H}}{R_{о\,ок}}\right)[(t_з^з-t_{н.от.п.})\,fd+\right.$$

$$\left.+(5-t_{н.от.п.})\,(24-fd)]-q_{пр}\ B\psi\right\}+$$

$$+c_{т.э}\,10^{-6}\,Z_{от}\,fd\,\frac{1}{H}\left[\frac{L_з\gamma c\,(t_в^з-t_н^{зв})\,(t_в^з-t_{н.от.п}\,)}{(t_в^з-t_н^з)}\right]+$$

$$+c_{э.э.}\,0{,}7\,fd\,\frac{1}{H}\,[Z_{от}\,L_з+(365-Z_{эт}\,)\,L_л]\,(N_{п.в}+N_{в.в}\,); \qquad (73)$$

$$L_з=\frac{BHm_l\left[q_{пр}\,\psi-1{,}3\dfrac{(t_в^з-t_н^з)}{BH}\left(\dfrac{H_{ок}}{R_{о\,ок}}+\dfrac{H-H_{ок}}{R_{о\,ок}}\right)\right]}{\gamma c\,(t_в^з-t_н^{зв}\,)},$$

$$L_л=\frac{BHm_l\left[q_{пр}\,\psi+\dfrac{Q_{ср}^в\,\tau_c k_1 k_2 h_{ок}}{BH}-\dfrac{t_в^л-t_н^{л.в}}{BH}\times\right.}{\gamma c(t_з^в-t_{пр}\,)}$$

$$\left.\times\left(\frac{H_{ок}}{R_{о\,ок}}+\frac{H-H_{ок}}{R_{огл}}\right)\right],$$

где $C_{т.э}$, $C_{э.э}$ — соответственно стоимость тепловой (1 Гкал) и — электрической (1 кВт·ч) энергии;

$Z_{от}$ — продолжительность отопительного периода;

d — число часов работы производства в сутки;

f — коэффициент, учитывающий количество нерабочих дней в году;

$t_{н.от.п}$ — средняя температура наружного воздуха в отопительный период;

$t_н^{з.в}$, $t_н^{л.в}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции соответственно в зимнее и летнее время;

$L_з$, $L_л$ — необходимый воздухообмен соответственно в зимний и летний периоды;

m_l — коэффициент, учитывающий долю тепла, влияющую на температуру рабочей зоны помещения;

$Q_{ср}^в$ — среднее значение интенсивности суммарной солнечной радиации за вентиляционный период на вертикальную поверхность, усредненное по различным направлениям с учетом действительной облачности;

K_1, K_2 — коэффициенты, учитывающие снижение поступления тепла от солнечной радиации в помещение соответственно за счет затенения остекления переплетами и загрязнения остекления;

$t_{пр}$ — температура приточного воздуха;

γ — плотность воздуха;

c — теплоемкость воздуха;

$N_{п.в}$, $N_{в.в}$ — удельный расход воздуха соответственно на приточную и вытяжную вентиляцию;

τ_c — интегральный коэффициент пропускания солнечной радиации светопрозрачным заполнением окна, являющийся функцией $R_{ок}$.

7.14. Эксплуатационные затраты на системы электрического освещения, учитывающие стоимость электрической энергии, продолжительность ее использования Z при заданном уровне нормируемой искусственной освещенности $E_{иск}$ и известном распределении наружной естественной освещенности ε, определяемые по формуле

$$Э_{э.о} = c_{э.э}\, fm' \left[Z \int_{t_1}^{t_2} E_{иск}\, dt - \left(Z' \int_{t_3}^{t_4} E_{иск}\, dt + Z'' \int_{t_{03}}^{t_3} e'_{ср}\, \varepsilon\, dt + Z'' \int_{t_4}^{t_{04}} e'_{ср}\, \varepsilon\, dt\right)\right] \frac{L}{H}, \quad (74)$$

где t_1, t_2 — время соответственно начала и окончания рабочего режима;

t_3 — вечернее критическое время;

t_4 — утреннее критическое время;

t_{03}, t_{04} — соответственно время начала темноты вечером и время конца темноты утром;

L — глубина воздействия естественного освещения;

m' — обобщенная характеристика источника искусственного освещения.

7.15. Глубина воздействия естественного освещения L определяется для однослойного заполнения:

для сплошной облачности

$$\tau_0 \left(\frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (H'_{гл} - H_р)^2}} - \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (H'_{гл} - H_р + H_{ок})^2}}\right) r_1 q - l_н = 0, \quad (75)$$

где $H'_{гл}$ — расстояние точки от окна;

$H_р$ — уровень условной рабочей поверхности;

l_1 — высота подоконной части;

при безоблачном небе:

освещение рассеянным светом безоблачного неба при отсутствии СЗУ

$$\tau_0 \left(\frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (H'_{гл} - H_р)^2}} - \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (H'_{гл} - H_р + H_{ок})^2}}\right) r_1 \beta_б - l_н = 0, \quad (76)$$

где $\beta_б$ — коэффициент относительной яркости неба, видимого через светопроем, определяемый по табл. 13;

при наличии СЗУ

$$\tau_0 \left(\frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (H'_{гл} - H_р)^2}} - \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (H'_{гл} - H_р + H_{ок})^2}}\right) r_1 - l_н = 0. \quad (77)$$

Таблица 13

Ориентация светопроемов	Значение коэффициента $\beta_б$														
	Время суток, ч														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
В	2	3,1	3	1,9	1,4	1,25	1,2	1,3	1,4	1,55	1,7	1,8	1,9	1,95	1,85
ЮВ	1,05	1,1	1,45	2,5	2,6	1,9	1,5	1,3	1,25	1,3	1,35	1,45	1,6	1,85	1,9
Ю	1,5	1,35	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,85	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,5
ЮЗ	1,9	1,85	1,6	1,45	1,35	1,3	1,25	1,3	1,5	1,9	2,6	2,5	1,45	1,35	1,05
З	1,85	1,95	1,9	1,8	1,7	1,55	1,4	1,3	1,2	1,25	1,4	1,9	1,3	3,1	2
СЗ	1,3	1,5	1,7	1,75	1,75	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,25	1,25	3	1,9	2,9
С	1,2	1,2	1,3	1,45	1,5	1,6	1,6	1,65	1,6	1,6	1,5	1,45	1,3	1,2	1,2
СВ	2,9	1,9	1,3	1,25	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,75	1,75	1,7	1,5	1,3

7.16. Коэффициент q, учитывающий неравномерную яркость облачного неба МКО, для большей части территории страны с неустойчивым снеговым покровом определяется по формуле

$$q=\frac{3}{7}\left(1+2\frac{\frac{H+H'_{гл}}{2}-H_р}{\sqrt{L^2+\left(\frac{H+H'_{гл}}{2}-H_р\right)^2}}\right), \quad (78)$$

7.17. Коэффициент r_1, учитывающий свет, отраженный от внутренних поверхностей помещения и поверхности участка земли, примыкающего к зданию, вычисляется по формуле

$$r_1=1{,}283\left(\frac{L}{B}\right)^3+1{,}012. \quad (79)$$

При этом отношение глубины помещения к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна равно от 2,5 до 4, отношение длины помещения к его глубине — 2 и более, средневзвешенный коэффициент отражения $\rho_{ср}$ потолка, пола и стен — 0,4.

7.18. Средний коэффициент естественной освещенности в зоне действия окна с различным количеством слоев остекления (на расстоянии L) вычисляется по формулам:

для сплошной облачности:

$$l'_{ср}=\frac{\tau_0 r_1 q}{2L}\left[H_{ок}+\sqrt{L^2+(H'_{гл}-H_р)^2}-\right.$$
$$\left.-\sqrt{L^2+(H'_{гл}-H_р+H_{ок})^2}\right]; \quad (80)$$

для безоблачного неба:

при отсутствии СЗУ

$$e'_{ср}=\frac{\tau_0 r_1 \beta_б}{2L}\left[H_{ок}+\sqrt{L^2+(H'_{гл}-H_р)^2}-\right.$$
$$\left.-\sqrt{L^2+(H'_{гл}-H_р+H_{ок})^2}\right]; \quad (81)$$

при наличии СЗУ

$$e'_{ср}=\frac{\tau_0 r_1}{2L}\left[H_{ок}+\sqrt{L^2+(H'_{гл}-H_р)^2}-\right.$$
$$\left.-\sqrt{L^2+(H'_{гл}-H_р+H_{ок})^2}\right]. \quad (82)$$

7.19. Наружная естественная освещенность e, являющаяся функцией времени, принимается в формуле (74) равной горизонтальной освещенности при сплошной облачности. В условиях безоблачного неба при отсутствии СЗУ она равна освещенности на вертикальной поверхности, создаваемой рассеянным светом безоблачного неба, при наличии СЗУ — суммарной освещенности на вертикальной поверхности, создаваемой рассеянным светом неба, прямым светом солнца и светом, отраженным от земной поверхности.

7.20. Эксплуатационные затраты на дополнительные устройства, обеспечивающие тепловой комфорт в помещении, учитывающие

реновационные отчисления (при $T_е = 8$ лет) и стоимость тепловой энергии, определяются по формуле

$$Э_н = P_н K_н + c_{т.э}\ 10^{-6}\ Z_{от}\ fd\ 1{,}45\ (t_н - t)^{4/3}\ S'_н/H, \qquad (83)$$

где $t_н$ — температура на поверхности нагревательных приборов.

7.21. Оптимальное соотношение площадей светопроемов и глухих частей стен, а также оптимальное сопротивление теплопередаче конструкции стены и количество слоев остекления, соответствующее минимальным приведенным затратам, находятся по уравнениям:

$$\frac{d\,П}{dR_{о\,ок}} = 0; \quad \frac{d\,П}{dR_{о\,гл}} = 0; \quad \frac{d\,П}{dH_{ок}} = 0. \qquad (84)$$

Для нахождения минимума приведенных затрат продифференцируем уравнение по $H_{ок}$. Приравнивая к нулю производную, приходим к уравнению

$$G_1\left(\frac{1}{R_{о\,ок}} - \frac{1}{R_{огл}}\right) + R_{о\,ок}\{G_2 - 0{,}74\ G_3 + 0{,}795\ D_2 G_1\} - G_4 + 0{,}96\ G_3 - 0{,}825\ D_2 C_1 = 0, \qquad (85)$$

где:

$$G_1 = A_1 - 1{,}3\ B_4 m_l\ (t_в^з - t_{н.от.п}) - 1{,}3\ B_5\ \frac{m_l\ Z_{от}\ (t_в^з - t_н^з)}{\gamma C (t_в^з - t_в^{зв})},$$

$$G_2 = (E_н - 0{,}00855)\, n C_{ок};$$

$$G_3 = B_5 B_6 K_1 K_2 Q_{ср}^в;$$

$$G_4 = (E_н + 0{,}0066)\,[C_и \lambda_и (R_{эгл} - \rho_{гл}) + C_\rho];$$

$$D_2 = 0{,}5 B_7 \sum_{j=1}^{N} Z_j \left[\int_{t_{03j}}^{t_{3j}} \varepsilon\, dt + \int_{t_{4j}}^{t_{04j}} \varepsilon\, dt\right];$$

если существуют корни уравнения $e_{ср}^{t_{04j}} \varepsilon(t) = E_{иск}$,

$$D_2 = 0{,}5 B_7 \sum_{j=1}^{N} Z_j \int_{t_{03j}}^{t_{04j}} \varepsilon\, dt;$$

при отсутствии корней уравнения $e_{ср}\ \varepsilon(t) = E_{иск}$;

$$A_1 = 1{,}3b(E_н + 0{,}0627)(t_в^з - t_н^з) + 1{,}3 B_3 [(t_в^з - t_{н.от.п})f +$$

$$+ (5 - t_{н.от.п})(24 - fd) - B_5 B_6 m_l (t_в^л - t_н^{л.в});$$

$$B_3 = (C_{т.э} + 30 C_{э.э})\, 10^{-6}\ Z_{от};$$

$$B_4 = C_{т.э}\ 10^{-6}\ Z_{от}\ fd;$$

$$B_5 = 0{,}7 C_{э.э}\ (N_{п.в} + N_{в.в})\, fd;$$

$$B_6 = \frac{(365 - Z_{от})\, m_l}{\gamma C (t_в^л - t_н^{н.в})};$$

$$B_7 = C_{э.э}\, fm';$$

$$R_{огл} = \sqrt{\frac{G_1}{G_5}}.$$

Коэффициент C_1 определяется:

для сплошной облачности

$$C_1 = \int_0^L \frac{d(r_1 q e_б)}{dH_{ок}} dl;$$

для безоблачного неба:

а) при отсутствии СЗУ

$$C_1 = \int_0^L \frac{d(r_1 e_б)}{dH_{ок}} dl;$$

б) при наличии СЗУ

$$C_1 = \int_0^L \frac{d(r_1 e_б)}{dH_{ок}} dl;$$

7.22. Технико-экономические расчеты окон в помещениях с применением совмещенного освещения рекомендуется выполнять с помощью ЭВМ.

7.23. Программа *SWSBD* по алгоритму, описанному в пп. 7.1—7.21, позволяет:

определить оптимальное соотношение площадей ленточного светового проема и глухой части конструкции ограждения;

осуществить выбор нагревательного прибора с наименьшим отопительным эффектом с целью создания требуемых комфортных условий в рабочей зоне помещения для световых проемов с различным количеством слоев остекления;

определить минимальные приведенные затраты в годовом исчислении.

Программа написана на языке ФОРТРАН-IV. Ввод исходных данных осуществляется с перфокарт. Объем требуемой оперативной памяти для программы составляет 52 Кб. Время счета одного варианта равно приблизительно 5 мин.

Необходимые для расчета исходные данные вводятся с перфокарт в такой последовательности.

1. Переменные *IL*, *IL*1, *IL*2, *N*1, *N*2 с одной перфокарты по формату *T*5:

IL — количество рассчитываемых вариантов:
*IL*1 для помещений с односторонним освещением равно 1, с двусторонним — 2;
*IL*2 равно 0, если требуется выдать на печать ход промежуточных вычислений; равно 1 при печати только результатов вычислений;

*N*1 — количество значений температур, принимаемых для поверхности нагревательного прибора;

*N*2 — количество различных типов нагревательных приборов.

Описанные ниже (пп. 2—6) одномерные массивы вводятся по формату *F*5.3, *F*6.1. На каждой перфокарте перфорируется по восемь чисел.

2. *TPR* — значение температур на поверхности нагревательного прибора, °С. Количество элементов массива *N*1. Данный набор значений температур один и тот же для каждого из принимаемых в расчет нагревательных приборов.

3. *DPR* — значения эффективных диаметров нагревательных приборов, м. Количество элементов массива равно *N*2.

4. *DDFH* — значения площадей нагревательных приборов, м². Количество элементов массива равно *N*2.

5. *HNG* — значения высот нагревательных приборов, м. Количество элементов массива равно *N*2.

6. *CHG* — значения стоимостей нагревательных приборов, руб. Количество элементов массива равно *N*2.

7. *ALB* — значения коэффициента теплоотдачи внутреннего воздуха, Вт/(м²·°С);

ALUCH — значение коэффициента теплоотдачи излучением воздушной прослойки, Вт/(м²·°С);

ALAM — значение коэффициента теплопроводности воздуха, Вт/м·°С;

BKOMF — ширина оконного проема, м.

Эти три величины вводятся с одной перфокарты по формату *F*10.0.

Восемь переменных *CUG*, *ALU*, *ZH*, *RGG*, *RTR*, *AK*1, *AK*2, *ROZ* вводятся с одной перфокарты по формату *F*8.3:

CUG — стоимость в «деле» 1 м³ теплоизоляции, руб.;

ALU — коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/(м·°С);

HZ — высота помещения, м;

RGG — сопротивление облицовочных слоев ограждения с учетом теплоотдачи внутренней и наружной поверхности для зимнего периода, м²·°С/Вт;

RTR — требуемое сопротивление теплопередаче ограждения согласно п. 2.2 СНиП II-3-79*, м²·°С/Вт;

*AK*1 — значение коэффициента, учитывающего снижение поступления тепла от солнечной радиации при затенении светового проема, отн. ед.;

*AK*2 — значение коэффициента, учитывающего снижение поступления тепла от солнечной радиации вследствие загрязнения светового проема, отн. ед.;

ROZ — сопротивление теплопередаче светового проема с одинарным остеклением, Вт/м²·°С.

9. Значение переменных *J*1, *JN*, *IN* вводятся с одной перфокарты по формату *I*10:

*J*1 — значение количества вариантов остекления светового проема (одинарное, двойное, тройное). Наибольшее значение 3;

JN — число световых сезонов;

IN — число временных шагов в течение суток (при шаге, равном 1 ч, — *IN*=24).

10. *ROO* — массив значений сопротивления теплопередаче светового проема с различным количеством слоев остекления, Вт/(м²·°С). Количество значений — *J*1. Ввводится с одной перфокарты по формату *F*8.3.

11. *AN* — массив значений, получаемых по формуле (см. п. 7.8), безразмерная величина. Количество значений элементов массива — *J*1.

12. *COK* — массив значений стоимости в «деле» 1 м² конструкции светового проема, руб. Количество значений — *J*1. Вводится с одной перфокарты по формату *F*8.3.

13. *E* — двумерный массив значений функции наружной естественной освещенности для средних суток в каждом световом сезоне, лк. Количество значений *IN*×*JN*. Вводится по 15 чисел с одной перфокарты по формату *F*5.0.

14. *ZJ* — массив значений количества суток в каждом световом сезоне. Наибольшее количество элементов массива равно *JN*. Вводится с одной перфокарты по формату *F*5.0.

15. *IZJ* — одномерный массив размерностью *JN*. Для каждого светового сезона элементов массива равен 0, если учитывается прямое попадание солнечной радиации в световой проем, 1 — если нет попадания. Вводится с одной перфокарты по формату *I*2.

16. Значения переменных, перечисленных в данном пункте, вводятся с одной перфокарты по формату *F*8.3:

DT — значение временного шага, ч;

*E*1 — нормированное значение КЕО при совмещенном освещении, отн ед.;

EIS — нормированное значение искусственной освещенности, лк.

17. Значения переменных, перечисленных в данном пункте, вводятся с одной перфокарты по формату *F*8.3:

TBZ — расчетная температура внутреннего воздуха в зимний период, °С;

TNZ — расчетная температура наружного воздуха в зимний период, °С;

TNL — расчетная температура наружного воздуха в летний период, °С;

TBL — расчетная температура внутреннего воздуха в летний период, °С;

TNLV — расчетная температура внутреннего воздуха в летний период, определяемая при проектировании системы вентиляции, °С;

TNZV — расчетная температура наружного воздуха в зимний период, определяемая при проектировании системы вентиляции, °С;

TOP — средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

ZOT — количество суток в отопительном периоде, сут;

F — коэффициент, учитывающий количество нерабочих дней за год (безразмерная величина);

D — продолжительность работы предприятий в течение суток, ч.

18. Значения переменных, перечисленных в данном пункте, вводятся с одной перфокарты по формату *F*8.3:

VQS — среднее значение интенсивности суммарной солнечной радиации за вентиляционный период на вертикальную поверхность, усредненное по различным направлениям с учетом действительной облачности, Вт/м²;

TBP — производственные избыточные тепловыделения, Вт/м³;

B — ширина помещения, м;

HGL — высота подоконной части ограждения, м;

HR — уровень условной рабочей поверхности, м;

VPN — удельный расход воздуха при устройстве приточной вентиляции, кВт·ч/м³;

VVN — удельный расход воздуха при устройстве вытяжной вентиляции, кВт·ч/м^3;

RMI — коэффициент, учитывающий долю тепла, попадающего в рабочую зону помещения и влияющую на температуру внутреннего воздуха, отн. ед.;

GC — объемная теплоемкость воздуха, Вт/(м^3·°С).

19. Значения переменных, перечисленных в данном пункте, вводятся с одной перфокарты по формату *F*8.3:

EN — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, отн. ед.;

BST — удельная стоимость устройства сантехнической системы, руб/Вт:

CTE — стоимость 1 Гкал тепла, руб.;

CEE — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

CRO — стоимость 1 м^2 облицовочных слоев глухой части ограждения, руб.

Перфорация значений величин, описанных в пп. 1, 7—9, 16—19, на перфокарте осуществляется в соответствии с последовательностью их описания в каждом из перечисленных выше пунктов.

7.24. Пример технико-экономического расчета окон промышленного здания с совмещенным освещением приведен в прил. 8.

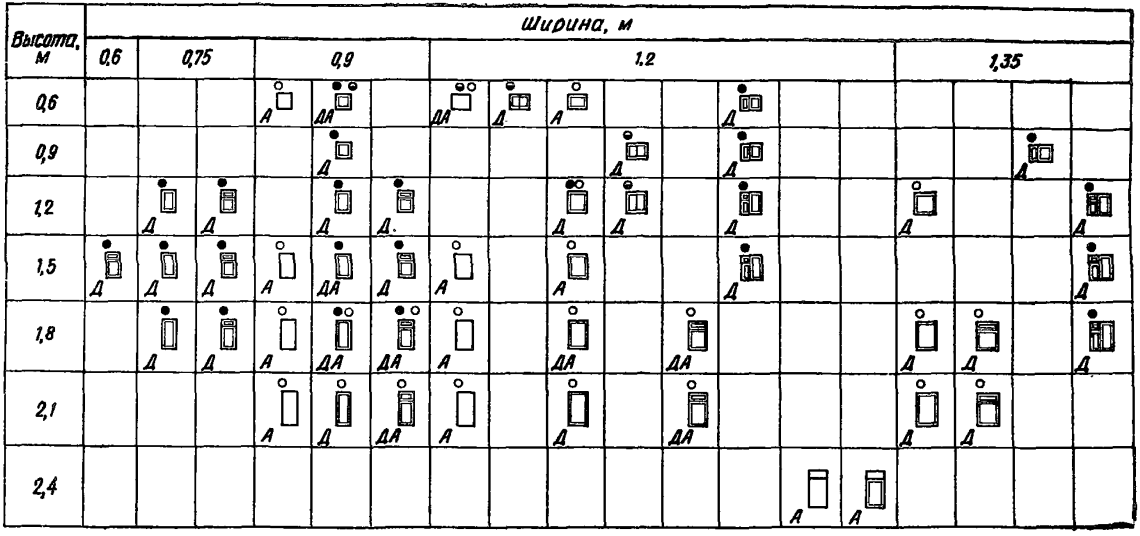
Приложение 1

ЕДИНАЯ НОМЕНКЛАТУРА ОКОН ДЛЯ ВСЕХ ВИДОВ ЗДАНИЙ

Высота, м	Ширина, м													
	3						4,8				6			
0,6	СА													
0,9														
1,2		ДСА	ДСА	Д			СА	СА			С	С		
1,5														
1,8		ДСА	ДСА	Д			СА	СА			С	С		
2,1														
2,4					СА	СА			СА	СА			С	С

Высота, м	Ширина, м															
	1,5						1,8									
0,6	А	А					СА	А								
0,9				Д							Д					
1,2				Д	Д				ДСА	Д	Д			СА		
1,5	А	А			Д							Д				
1,8	А	А	А	Д	Д	Д	А		ДСА	Д		Д	Д	СА		
2,1	А		А	Д		Д			А	Д			Д	А		
2,4															СА	СА

Высота, м	Ширина, м												
	2,1			2,4						2,7			
0,6				СА									
0,9													
1,2	Д			ДСА			ДСА						
1,5			Д										
1,8	Д	Д		ДСА	Д	Д	СА			Д	Д	Д	Д
2,1	Д	Д			Д	Д	А			Д	Д	Д	Д
2,4								СА	СА				


Высота, м
Ширина, м
0,6
0,75
0,9
1,2
1,35
0,6
0,9
1,2
1,5
1,8
2,1
2,4
А
ДА
Д
А
Д
Д
Д

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОН ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

$t_н = -26°$ С (Москва)

Помещение имеет размеры в плане 30×16 м и высоту 6,4 м. В помещении выполняются зрительные работы, относящиеся к IV разряду согласно главе СНиП по проектированию естественного и искусственного освещения. Нормируемое значение КЕО $e_н^{III} = 1{,}5\%$. Температура внутреннего воздуха $t = 20°$ С.

Требуется определить размеры световых проемов, количество слоев остекления и выбрать конструкцию окна при расположении рабочих мест на расстоянии 6 и 1 м от окна.

Расчет для случая расположения рабочих мест на расстоянии 6 м и более от окна

В качестве первого приближения принимаем заполнение световых проемов двухслойным остеклением. По табл. 7 среднее значение сопротивления теплопередаче при ширине воздушной прослойки, равной 20 мм, составляет $\overline{R^1}_0 = 0{,}32$ м²·°С/Вт.

Определяем общий коэффициент светопропускания окна по формуле (3):

$$\tau = 0{,}84^2 \cdot 0{,}8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}56.$$

Определяем приближенно размеры светового проема по формуле (1) без учета затенения окон противостоящим зданием ($k_{зд} = 1$)

$$\frac{S_0}{S_п} = \frac{0{,}01 \cdot 1{,}5 \cdot 14{,}5 \cdot 1{,}3}{0{,}56 \cdot 1{,}9} 1 = 0{,}263;$$

$S_0 = 126$ м². Принимаем ленточное окно высотой 4,2 и длиной 30 м.

Выполняем проверочный расчет КЕО по методу, изложенному в СНиП II-4-79. Расчетное значение КЕО $e^б_р = 1{,}35\%$ и на 10% отличается от $e_н^{III}$, что допускается по нормам.

Вычисляем коэффициент облученности $\varphi_{ч\text{-}ок}$ по рис. 1. Для ленточного окна принимаем $c = \infty$, тогда $c = \frac{c}{6} = \infty$.

Находим по рис. 11 φ' для значений $C = \infty$ и $B = \frac{b}{e} = \frac{0{,}6}{6} = 0{,}1$ и φ'' для значений $C = \infty$ и $B = \frac{3{,}6}{6} = 0{,}6$.

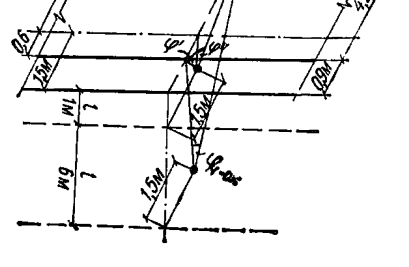


Рис. 11. К расчету коэффициента облученности φ

$\varphi' = 0{,}026$; $\varphi'' = 0{,}14$;

$\varphi_{ч\text{—}ок} = 2\varphi' + 2\varphi'' =$

$= 2 \cdot 0{,}026 + 2 \cdot 0{,}14 = 0{,}33$

Определяем допускаемую температуру на внутренней поверхности окна по формуле (8):

$$\tau_{в.доп} = 14 - \frac{3,5}{0,33} = 3,4^\circ\,С.$$

Вычисляем допустимое сопротивление теплопередаче окна по формуле (7):

$$R^{д}_{0} = \frac{20+25}{20-3,4}0,114 = 0,309 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт},$$

где $t_н = -25^\circ$ С — расчетная температура наружного воздуха в зимний период для условий Москвы.

Находим среднее значение сопротивления теплопередаче по формуле (12).

Предварительно вычисляем:

среднее значение сопротивления теплопередачи у внутренней поверхности окна $\overline{R}_в$ по формулам (13) и (15):

$$\overline{\alpha}_к = 1,68(20-4)^{1/3} = 4,20 \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)};$$

$$\tau'_в = 20 - \frac{20+25}{0,32\cdot 8,72} = 4^\circ\,С;$$

$$\overline{\alpha}_л = 5\,\frac{(2,93^4 - 2,77^4)}{16} = 4,63 \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)};$$

$$\overline{R}_в = \frac{1}{4,2+4,63} = 0,113 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

среднее термическое сопротивление воздушной прослойки по формулам (16)—(20):

$$\overline{R}_1 = \frac{0,004}{0,8} = 0,005 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

$$\overline{t}_1 = 20 - \frac{20+35}{0,32}(0,113+0,005) = 20 - 16,6 = 3,4^\circ\,С;$$

$\overline{R}'_{в.п} = 0,14$ м$^2\cdot{}^\circ$С/Вт — сопротивление теплопередаче воздушной прослойки шириной 20 мм;

$$\overline{t}_2 = 20 - \frac{20+25}{0,32}(0,113+0,005+0,14) = -16,3^\circ\,С;$$

$$\overline{\alpha}^{к}_{в.п} = 0,48\left(\frac{3,4+16,3}{0,02}\right)^{0,25} = 2,69 \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)};$$

$$\overline{\alpha}'^{л}_{в\,п} = 5\,\frac{(2,76^4 - 2,59^4)}{19,7} = 3,31 \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)};$$

$$\overline{R}_{в.п} = \frac{1}{2,69+3,31} = 0,167 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

$\overline{R}_н = 0,043$ м$^2\cdot{}^\circ$С/Вт — среднее значение сопротивления теплоотдачи у наружной поверхности окна;

$\overline{R}_0 = 0,113+0,167+2\cdot 0,005+0,043 = 0,333$ м$^2\cdot{}^\circ$С/Вт.

Полученное значение среднего сопротивления теплопередачи окна превышает допускаемое по санитарно-гигиеническим нормам.

$$\tau_в = 20 - \frac{20+25}{0{,}333} 0{,}113 = 4{,}7^\circ\,С;$$

$\tau_в > \tau_{в.доп}$. Для расчета достаточно одного приближения.

Вычисляем скорость ниспадающего потока воздуха вблизи окна $u_р$ с учетом инфильтрации воздуха по формулам (21)—(25).

По табл. 11 принимаем $B = 1{,}2$ м²·ч·Па$^{2/3}$/кг.

$$C = 3{,}7\sqrt{1{,}2} = 2{,}58;$$

$$b_0 = 0{,}011(20-4{,}7)^{-1/6}\,4{,}2^{1/2} = 0{,}014 \text{ м};$$

$$u_0 = 0{,}061(20-4{,}7)^{1/2}\,4{,}2^{1/2} = 0{,}489 \text{ м/с};$$

$$u_m^{ст} = 3{,}33 \cdot 0{,}489\left(\frac{0{,}014}{6}\right) = 0{,}08 \text{ м/с};$$

$$u_р = 2{,}58 \cdot 0{,}08 = 0{,}20 \text{ м/с}.$$

$u_р < u_н$ — условие п. 3.14 выполняется.

Выбираем конструкцию окна индивидуального решения с пакетным остеклением в деревянном переплете с алюминиевым штапиком, расположенным с внутренней стороны. Ширина воздушной прослойки стеклопакета в такой конструкции составляет: $h_{в.п} = 18$ мм. Для выбранной конструкции производим расчет температурных полей.

Расчет температурных полей для средней зоны остекления:

определяем термические сопротивления отдельных слоев остекления по формуле (19):

$$\overline{R}_{1,2} = \frac{0{,}004}{0{,}81} = 0{,}0049 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

в качестве первого приближения принимаем:

$\overline{R}_в = 0{,}114$ м²·°С/Вт; $\overline{R}_н = 0{,}043$ м²·°С/Вт; $\overline{R}_{в.п} = 0{,}16$ м²·°С/Вт и определяем $\overline{R}_0$ по формуле (12):

$$\overline{R}_0 = 0{,}114 + 0{,}0098 + 0{,}16 + 0{,}043 = 0{,}327 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

определяем средние значения температуры на различных поверхностях остекления по формулам (20):

$$\tau_в = 20 - \frac{20+25}{0{,}327} 0{,}114 = 4{,}3^\circ\,С;$$

$$\overline{t}_1 = 20 - \frac{20+25}{0{,}327}(0{,}114 + 0{,}0049) = 3{,}6^\circ\,С;$$

$$\overline{t}_2 = 20 - \frac{20+25}{0{,}327}(0{,}114 + 0{,}0049 + 0{,}16) = -18{,}4^\circ\,С;$$

$$\overline{\tau}_к = 20 - \frac{20+25}{0{,}327}(0{,}114 + 2\cdot 0{,}0049 + 0{,}16) = -19{,}1^\circ\,С;$$

разбираем среднюю зону остекления на четыре сечения (по высоте): $x_1=100$ мм; $x_2=1000$ мм; $x_3=3000$ мм; $x_4=4000$ мм;

определяем температуры в ядре воздушной прослойки для этих сечений по формуле (31):

$$t_m^{100}=3{,}6-(3{,}6+18{,}4)\left[0{,}83-0{,}6\left(\frac{0{,}1}{4{,}2}\right)\right]=-14{,}4^\circ\text{ C};$$

$$t_m^{1000}=3{,}6-(3{,}6+18{,}4)\left[0{,}83-0{,}6\left(\frac{1}{4{,}2}\right)\right]=-11{,}6^\circ\text{ C};$$

$$t_m^{3000}=3{,}6-(3{,}6+18{,}4)\left[0{,}83-0{,}6\left(\frac{3}{4{,}2}\right)\right]=-5{,}2^\circ\text{ C};$$

$$t_m^{4000}=3{,}6-(3{,}6+18{,}4)\left[0{,}83-0{,}6\left(\frac{4}{4{,}2}\right)\right]=-2{,}1^\circ\text{ C};$$

определяем локальные коэффициенты теплоотдачи конвекцией при $x=100$ мм:

$$\alpha_{1\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+14{,}4)^{0{,}3}/0{,}1^{0{,}1}=4{,}31\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

$$\alpha_{2\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(t_1-t_m)^{0{,}3}/(H-x)^{0{,}1}=1{,}3(3{,}6+14{,}4)^{0{,}3}/4{,}1^{0{,}1}=$$

$=2{,}96$ Вт/(м$^2\cdot$°C);

при $x=1000$ мм:

$$\alpha_{1\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+11{,}6)^{0{,}3}/1^{0{,}1}=3{,}22\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

$$\alpha_{2\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+11{,}6)^{0{,}3}/3{,}2^{0{,}1}=2{,}87\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

при $x=3000$ мм:

$$\alpha_{1\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+5{,}2)^{0{,}3}/3^{0{,}1}=2{,}39\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

$$\alpha_{2\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+5{,}2)^{0{,}3}/1{,}2^{0{,}1}=2{,}63\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

при $x=4000$ мм:

$$\alpha_{1\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+2{,}1)^{0{,}3}/4^{0{,}1}=2{,}02\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

$$\alpha_{2\text{в.п}}^{\text{к}}=1{,}3(3{,}6+2{,}1)^{0{,}3}/0{,}2^{0{,}1}=2{,}73\ \text{Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)};$$

определяем локальные коэффициенты теплоотдачи излучением:

$$\alpha_{\text{в.п}}^{\text{л}}=5\,\frac{\left[\left(\frac{273+3{,}6}{100}\right)^4-\left(\frac{273+18{,}4}{100}\right)^4\right]}{3{,}6+18{,}4}=$$

$=3{,}77$ Вт/(м$^2\cdot$°C);

находим локальные термические сопротивления по формуле (28):

$$R_{\text{в.п}}^{100}=$$

$$=\frac{3{,}6+18{,}4}{4{,}31(3{,}6+14{,}4)+2{,}96(-14{,}4+18{,}4)+3{,}77(3{,}6+18{,}4)}=$$

$=0{,}128$ м$^2\cdot$°C/Вт;

$$R_{в.п}^{1000} =$$

$$= \frac{3{,}6+18{,}4}{3{,}22(3{,}6+11{,}6)+2{,}87(-11{,}6+18{,}4)+3{,}77(3{,}6+18{,}4)} =$$

$=0{,}145$ м²·°С/Вт;

$$R_{в.п}^{3000} =$$

$$= \frac{3{,}6+18{,}4}{2{,}39(3{,}6+5{,}2)+2{,}63(-5{,}2+18{,}4)+3{,}77(3{,}6+18{,}4)} =$$

$=0{,}159$ м²·°С/Вт;

$$R_{в.п}^{4000} =$$

$$= \frac{3{,}6+18{,}4}{2{,}02(3{,}6+2{,}1)+2{,}73(-2{,}1+18{,}4)+3{,}77(3{,}6+18{,}4)} =$$

$=0{,}158$ м²·°С/Вт;

определяем термическое сопротивление у внутренней поверхности остекления, предварительно вычислив коэффициенты лучистой и конвективной теплоотдачи по формулам (14) и (15):

$$\bar{\alpha}_к = 1{,}68(20-4{,}3)^{1/3} = 4{,}21 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)};$$

$$\bar{\alpha}_л = 5\frac{\left[\left(\frac{273+t_в}{100}\right)^4-\left(\frac{273+\tau_в}{100}\right)^4\right]}{} =$$

$$= 5\frac{\left[\left(\frac{273+20}{100}\right)^4-\left(\frac{273+4{,}3}{100}\right)^4\right]}{20-4{,}3} = 4{,}65 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)};$$

$$\bar{R}_в = \frac{1}{4{,}65+4{,}21} = 0{,}113 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$

вычисляем локальные значения сопротивления теплопередаче:

$$R_0^{100} = 0{,}113+0{,}128+0{,}0098+0{,}043 = 0{,}294 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$
$$R_0^{1000} = 0{,}113+0{,}145+0{,}0098+0{,}043 = 0{,}311 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$
$$R_0^{3000} = 0{,}113+0{,}159+0{,}0098+0{,}043 = 0{,}325 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$
$$R_0^{4000} = 0{,}113+0{,}158+0{,}0098+0{,}043 = 0{,}324 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$

находим новые уточненные значения $\tau_в$, $\tau_н$ $\bar{t}_1$, $\bar{t}_2$, которые приведены в таблице.

x, мм	Температура, °С			
	$\tau_в$	$\bar{t}_1$	$\bar{t}_2$	$\tau_н$
100	2,7	1,9	—17,6	—18,4
1000	3,6	2,9	—18,1	—18,8
3000	4,4	3,7	—18,4	—19
4000	4,3	3,8	—18,4	—19,1

Повторять расчет нет необходимости, так как принятые в первом приближении значения $R_в = 0{,}114$ м²·°С/Вт и $R_{в.п} = 0{,}16$ м²·°С/Вт отличаются от второго приближения не более чем на 15%;

определяем с помощью ЭВМ (рис. 12) температурные поля переплетов, краевых зон остекления и участков примыкания к переплетам.

Расчет потерь тепла через окно:

определяем основные потери тепла $Q_о$, вычислив предварительно приведенное сопротивление теплопередаче окна по формуле (32).

Находим $F_{ср}$, $F_{кр}$, $F_{пер}$, $\tau_в^{кр}$, $\tau_в^{пер}$ по рис. 12:

$$F'_{пер} = 0{,}02 \cdot 2 = 0{,}04 \text{ м}^2;\ F''_{пер} = 0{,}015 \cdot 2 = 0{,}03 \text{ м}^2;\ F_{кр} = 0{,}04 \text{ м}^2;$$

$$F_{ср} = 4{,}2 - 2F_{кр} - F_{пер} = 4{,}05 \text{ м}^2;$$

$$\tau_в^{кр} = 1{,}3 \text{ °С};\ \tau_в^{'пер} = 2{,}5 \text{° С};\ \tau_в^{''пер} = 13 \text{° С}.$$

Определяем среднее значение сопротивления теплопередаче краевой зоны остекления и переплета по формулам:

$$\overline{R}_о^{кр} = \frac{20+25}{8{,}72(20-1{,}3)} = 0{,}275 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

$$\overline{R}_о^{'пер} = \frac{20+25}{8{,}72(20-2{,}5)} = 0{,}296 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

$$\overline{R}_о^{''пер} = \frac{20+25}{8{,}72(20-1{,}3)} = 0{,}74 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

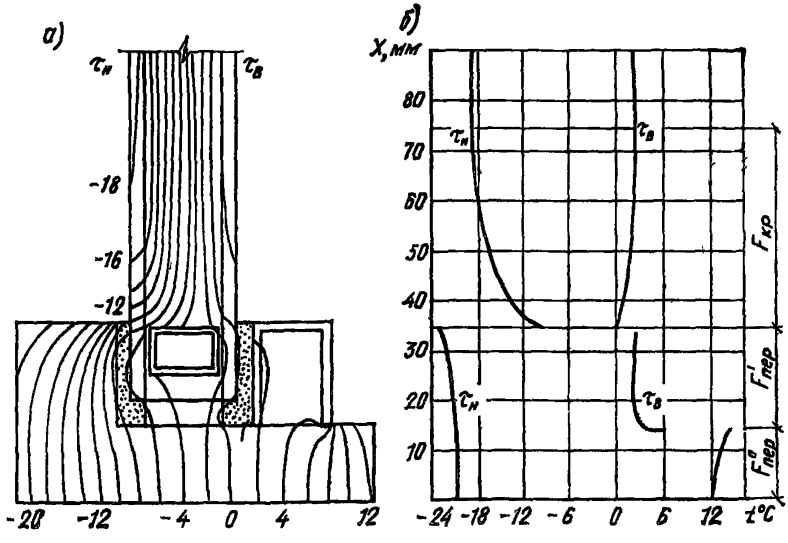


Рис. 12. Изотермическое температурное поле (*а*) и распределение температа (*б*)

$$\overline{R}_0^{пр} = \frac{4{,}05+0{,}04\cdot 2+0{,}07}{\frac{4{,}05}{0{,}326}+\frac{0{,}08}{0{,}275}+\frac{0{,}04}{0{,}296}+\frac{0{,}03}{0{,}74}} =$$

$$=0{,}326 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

Вычисляем основные теплопотери через окно:

$$Q_0 = \frac{4{,}2}{0{,}326}(20+25) = 579{,}8 \text{ Вт};$$

определяем дополнительные потери тепла на нагревание наружного воздуха, поступающего при инфильтрации через окно.

Находим количество воздуха, поступающего в помещение, по формуле (39), предварительно вычислив разность давления Δp:

$$\Delta p = 5{,}4\cdot 6{,}4\left[\left(\frac{353}{273+25}-\frac{353}{273+20}\right)\right]+$$

$$+0{,}29\left(\frac{353}{273-25}\right)4{,}1^2 = 14{,}47 \text{ Па};$$

$$G_0 = 1{,}2\cdot 14{,}47^{2/3} = 7{,}13 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{ч)}.$$

Дополнительные потери тепла $Q_д$ равны:

$$Q_д = 0{,}28\cdot 7{,}13\cdot 4{,}2(20+25) = 377{,}3 \text{ Вт}.$$

Суммарные потери тепла составляют:

$$Q = 579{,}8+377{,}3 = 957{,}1 \text{ Вт}.$$

Расчет для случая расположения рабочих мест на расстоянии 1 м и более от окна

1. Повторяем действия выполненного выше расчета. При этом принимаем $\overline{R}_0 = 0{,}32$ м$^2\cdot{}^\circ$С/Вт, $\tau = 0{,}56$ и $H_{ок} = 4{,}2$ м.

2. Находим по рис. 11 и 3 коэффициент облученности при расположении рабочих мест на расстоянии 1 м от окна:

$$B = \frac{0{,}6}{1} = 0{,}6 \text{ для вычисления } \varphi'; \quad B = \frac{3{,}6}{1} = 3{,}6$$

для вычисления φ''.

$$\varphi_{ч-ок} = 2\cdot 0{,}14+2\cdot 0{,}225 = 0{,}73.$$

3. Вычисляем допускаемую температуру на внутренней поверхности остекления по формуле (8):

$$\tau_{в.доп} = 14-\frac{3{,}5}{0{,}73} = 9{,}2^\circ\text{С}.$$

При этом имеем $\tau < \tau_{в.доп}$.

4. Определяем допускаемое сопротивление теплопередаче по формуле (7):

$$R_0^д = \frac{20+25}{20-9{,}2}0{,}113 = 0{,}471 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

$$\overline{R}_0 < R_0^д.$$

5. Вычисляем скорость потока воздуха вблизи окна по формуле (21):

$$c=2{,}58;\ b_0=0{,}014 \text{ м};\ u_0=0{,}489 \text{ м/с};$$

$$u_m^{ст} = 3{,}33 \cdot 0{,}489 \left(\frac{0{,}014}{1}\right)^{1/2} = 0{,}19 \text{ м/с};$$

$$u_р = 2{,}58 \cdot 0{,}19 = 0{,}49 \text{ м/с};$$

$$u_р > u_м.$$

Таким образом, установлено, что требования строительных и санитарных норм не выполняются, т. е.

$$\tau_в < \tau_{в.доп};\ \overline{R}_0 < R_0^д;\ u_р > 0{,}3 \text{ м/с}.$$

В этом случае необходимо устанавливать под окном нагревательные приборы. По таблицам теплотехнических характеристик окон при установке под ними нагревательных приборов, приведенным в прил. 4, выбираем параметры нагревательного прибора и температуру на его поверхности, позволяющие обеспечить санитарно-гигиенические требования при наименьшем отопительном эффекте.

При высоте окна, равной 4,2 м, наименьший отопительный эффект ($Э=1{,}21$) получен при установке под окном нагревательного прибора с поверхностью нагрева $F_н=0{,}57$ м², диаметром $d_э=0{,}18$ м и температурой $t_0=150°$ С. Длина нагревательного прибора равна 1 м. Конвективный тепловой поток от нагревателя составляет 481,3 Вт. Теплопотери окна без устройства нагревательного прибора 677,4 Вт, полные (конвективные и лучистые) теплопотери окна от действия теплой и холодной струй равны 82,19 Вт. Место встречи теплой и холодной струй находится на расстоянии $x_в^т=2{,}24$ м, средняя температура на внутренней поверхности окна в зоне действия теплой струи $\tau_в^т=14{,}1°$ С. Приведенное сопротивление теплопередаче окна $R_0^{пр}=0{,}245$ м²·°С/Вт.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕНИТНЫХ ФОНАРЕЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА $t_н=-18°$ С (ТАШКЕНТ)

Требуется определить суммарную площадь светопроемов зенитных фонарей размером 3×6 м, количество слоев остекления и теплопотери через фонари, установленные в покрытии одноэтажного здания высотой $L=16$ м и размерами в плане 156×108 м. В помещении выполняются зрительные работы, относящиеся к IV разряду по СНиП II-4-79. Нормируемое значение коэффициента естественной освещенности $e_н^{III}=4\%$. Температура внутреннего воздуха $t=18°$ С.

Теплотехнический расчет зенитных фонарей

Определяем температуру в подфонарном пространстве по формуле (11):

$$t_{пф} = 18+0{,}2(16-2) = 20{,}8° \text{ С}.$$

По данным натурных исследований температурный градиент в помещениях с незначительными технологическими тепловыделениями составляет 0,2° С/м.

Находим относительную влажность внутреннего воздуха в рабочей зоне по табл. 8, учитывая, что в рассматриваемом помещении влаговыделения незначительны и кратность воздухообмена составляет 1 об/ч. Относительная влажность $\varphi_в = 16\%$. Для дальнейших расчетов принимаем влажность воздуха в подфонарном пространстве $\varphi_в = 30\%$ (минимально допустимая величина влажности по санитарным нормам — см. табл. 2).

Для $\varphi_в = 30\%$ и $t_{пф} = 20{,}8°$ С определяем по табл. 7 температуру точки росы $\tau_р = 2{,}7°$ С.

По формулам (14) и (15) определяем средние коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением:

$$\alpha_к = 2{,}2(20{,}8-2{,}7)^{1/3} = 5{,}77 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)};$$

$$\overline{\alpha_л} = \frac{5\left[\left(\frac{273+18}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+27}{100}\right)^4\right]}{18-2{,}7} = 4{,}55 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)}.$$

Определяем значение термического сопротивления у внутренней поверхности остекления по формуле (13):

$$\overline{R}_в = \frac{1}{5{,}77+4{,}55} = 0{,}097 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Находим допускаемое значение сопротивления теплопередаче по формуле (10):

$$R_0^д = \frac{18+18}{20{,}8-2{,}7}0{,}097 = 0{,}193 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

По табл. 6 выбираем заполнение светопроемов двухслойными стеклопакетами $R_0 = 0{,}3$ м²·°С/Вт (первое приближение) и производим расчет по определению $\tau_в$ и уточнению R_0.

Определяем по формуле (19) термическое сопротивление $\overline{R}$ при толщине стекла $\delta = 4$ мм:

$$\overline{R}_1 = \overline{R}_2 = \frac{0{,}004}{0{,}8} = 0{,}005 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Находим среднее термическое сопротивление воздушной прослойки по формуле

$$R_{в.п} = R_0 - R_в - 2R_1 - R_н = 0{,}3 - 0{,}097 - 2\cdot 0{,}005 - 0{,}043 = 0{,}15 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Вычисляем средние значения температуры на поверхностях остекления по формуле (20):

$$\tau'_в = 20{,}8 - \frac{20{,}8+18}{0{,}3}0{,}097 = 8{,}3°\text{ С};$$

$$\overline{t'_1} = 20{,}8 - \frac{20{,}8+18}{0{,}3}(0{,}097+0{,}005) = 7{,}6°\text{ С};$$

$$\overline{t'_2} = 20{,}8 - \frac{20{,}8+18}{0{,}3}(0{,}097+0{,}005+0{,}15) = -11{,}8°\text{ С}.$$

По формулам (14) и (15) определяем вновь $\overline{\alpha'}_к$ и $\overline{\alpha'}_л$:

$$\overline{\alpha'}_к = 2{,}2(20{,}8-8{,}3)^{1/3} = 5{,}1 \text{ Вт/(Т)м}^2\cdot°\text{С};$$

$$\overline{\alpha'}_л = \frac{5\left[\left(\frac{273+18}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+8{,}3}{100}\right)^4\right]}{18-8{,}3} = 4{,}69 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)}.$$

По формуле (13) определяем $\overline{R'}_в$:

$$\overline{R'}_в = \frac{1}{5{,}1+4{,}69} = 0{,}102 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Определяем среднее термическое сопротивление воздушной прослойки шириной 15 мм, предварительно вычислив коэффициенты $\overline{\alpha'}^к_{в.п}$ и $\overline{\alpha'}^л_{в.п}$ по формулам (17) и (18):

$$\overline{\alpha'}^к_{в.п} = 0{,}65\left(\frac{7{,}6+11{,}8}{0{,}015}\right)^{0{,}25} = 3{,}89 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)};$$

$$\overline{\alpha'}^л_{в.п} = \frac{5\left[\left(\frac{273+7{,}6}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+11{,}8}{100}\right)^4\right]}{7{,}6+11{,}8} = 40{,}7 \text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)}.$$

$\overline{R}_{в.п}$ определяем по формуле (16):

$$\overline{R}_{в.п} = \frac{1}{3{,}89+4{,}07} = 0{,}126 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Вычисляем среднее значение сопротивления теплопередаче фонаря по формуле (12):

$$\overline{R'}_0 = 0{,}102+2\cdot0{,}005+0{,}126+0{,}043 = 0{,}281 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Находим уточненное значение $\tau''_в$ по формуле (20):

$$\tau''_в = 20{,}8 - \frac{20{,}8+18}{0{,}281}0{,}102 = 6{,}7°\text{С}.$$

Таким образом, $\overline{R'}_0 > R_0^д$ и $\tau''_в > \tau_р$, т. е. $0{,}281 > 0{,}193$ и $6{,}7 > 2{,}7$. Выполняются требования строительных и санитарных норм, и для расчета достаточно одного приближения.

Согласно п. 2.12 настоящих Рекомендаций, выбираем зенитный фонарь серии 1.464-10 размером 3×6 м с заполнением стеклопакетами. Площадь светового проема при этом равна 14,4 м².

Светотехнический расчет зенитных фонарей

1. Определяем общий коэффициент светопропускания зенитного фонаря по формуле (3):

$$\tau_0 = 0{,}8\cdot0{,}9\cdot0{,}9\cdot0{,}65\cdot0{,}9 = 0{,}38,$$

где $\tau_1 = 0{,}8$; $\tau_2 = 0{,}9$; $\tau_3 = 0{,}9$; $\tau_4 = 0{,}65$; $\tau_5 = 0{,}9$.

2. Вычисляем нормированное значение КЕО для зданий, расположенных в Ташкенте (V световой пояс), по формуле (4):

$$e_н^V = 4\cdot0{,}8\cdot0{,}75 = 2{,}4,$$

где $m = 0{,}8$; $c = 0{,}75$ (принимаем по табл. 4 и 5 СНиП II-4-79).

3. Находим световую характеристику светового проема $\eta_ф$ в плоскости покрытия по табл. 32 СНиП II-4-79, предварительно определив индекс помещения i и отношение площади выходного отверстия S_2 к сумме площадей входного отверстия и боковой поверхности проема $S_б$:

$$i = \frac{l_п b}{H(l_п + b)},$$

где $l_п$ — длина помещения вдоль оси пролетов;
b — ширина помещения;
H — высота помещения над условной рабочей поверхностью.

$$i = \frac{10{,}8 \cdot 156}{18{,}4(108+156)} = 3{,}45;$$

$$\frac{S_2}{S_1+S_б} = \frac{14{,}4}{14{,}4+16{,}5} = 0{,}47;\ \eta_ф = 1{,}64.$$

4. По табл. 3 СНиП II-4-79 принимаем коэффициент запаса $k = 1{,}8$.

5. Находим коэффициент r_2, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения, по табл. 33 СНиП II-4-79.

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_1 S_1 + \rho_2 S_2 + \rho_3 S_3}{S_1+S_2+S_3} =$$

$$= \frac{0{,}6 \cdot 16860 + 0{,}4 \cdot 10120 + 0{,}2 \cdot 16860}{16860+10120+16860} = 0{,}4;$$

$$\frac{H_ф}{l_1} = \frac{19{,}2}{36} = 0{,}53;\ r_2 = 1{,}1.$$

6. Определяем коэффициент $k_ф$, учитывающий тип фонаря, по табл. 34 СНиП II-4-79:

$$k_ф = 1{,}1.$$

7. Определяем необходимую площадь световых проемов по формуле (2):

$$100\frac{S_ф}{S_п} = \frac{2{,}4 \cdot 1{,}64 \cdot 1{,}8}{0{,}38 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1} = 15{,}39;$$

$$S_ф = \frac{15{,}39 \cdot 156 \cdot 108}{100} = 2592{,}9 \text{ м}^2;$$

$$N_ф = \frac{2592{,}9}{14{,}4} = 180 \text{ шт.}$$

Определение теплопотерь через светопроемы в покрытии

Теплопотери через зенитные фонари определяем по формуле (37):

$$Q_о = \frac{1}{R_о}(t_{пф} - t_н) S_ф = \frac{1}{0{,}281} \times$$

$$\times (20{,}8+18)\,2592{,}9 = 358\,023 \text{ Вт.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Результаты расчета на ЭВМ окон при устройстве под ними нагревательных приборов

Теплотехнические характеристики окон при установке под ними нагревательных приборов

При сопротивлении теплопередаче окна $R_0 = 0{,}163$ м²·°С/Вт и расчетной температуре наружного воздуха $t_н = -15$° С

Средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи $\alpha_{ст}$, Вт/(м²·°С)	Средний температурный напор $(t_m - t_в)_{ср}$, °С	Температура воздуха внутри помещения $t_в$, °С	Температура на поверхности нагревательного прибора $t_о$, °С	Параметры нагревательного прибора: d, м	Параметры нагревательного прибора: $F_н$, м²	Высота окна $H_{ок}$, м	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: без нагревательного прибора	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: при устройстве прибора	Расстояние до места встречи теплой и холодной струй $x_в$, м	Конвективный тепловой поток от нагревателя $Q_н^к$, Вт	Теплопотери окна, Вт: без нагреват. прибора $Q_{ок}^x$	Теплопотери окна, Вт: при устройстве прибора $Q_{ок}$	Приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°С/Вт	Отопительный эффект Э
10,576	33,4	16	85	0,07	0,22	0,6	—5,9	5,3	0,201	90,3	114,1	160,6	0,116	1,41
10,576	33,4	16	85	0,39	1,27	3,0	—5,9	5,3	1,12	521,2	570,6	829,6	0,112	1,45
10,576	33,4	16	85	1	2,54	4,8	—5,9	5,3	2,873	1042,3	912,9	1577,2	0,094	1,73
8,722	34,1	16	95	0,05	0,16	0,6	—5,9	4,5	0,168	77,2	114,1	146,4	0,127	1,28
10,673	33,6	16	95	0,07	0,22	0,6	—5,9	5,4	0,247	108,1	114,1	172,2	0,108	1,51
10,673	33,6	16	95	0,18	0,57	1,8	—5,9	5,4	0,636	280,2	342,3	491,6	0,113	1,44
10,673	33,6	16	95	0,39	1,27	3,6	—5,9	5,4	1,378	624,2	684,7	1008,2	0,111	1,47
10,673	33,6	16	95	1	2,54	4,8	—5,9	5,4	3,532	1248,4	912,9	1742,3	0,085	1,91
10,77	34	16	110	0,1	0,31	1,2	—5,9	5,7	0,456	194,6	228,2	337,7	0,11	1,48
10,77	34	16	110	0,18	0,57	1,8	—5,9	5,7	0,822	353,2	342,3	539,5	0,103	1,58
10,77	34	16	110	0,39	1,27	4,2	—5,9	5,7	1,78	787,1	798,8	1225,9	0,106	1,53
10,77	34	16	110	0,39	1,27	4,8	—5,9	5,7	1,78	787,1	912,9	1340	0,111	1,47
10,86	34,5	16	150	0,10	0,31	1,2	—5,9	6	0,599	251,7	228,2	375,6	0,099	1,65
10,86	34,5	16	150	0,18	0,57	2,4	—5,9	6	1,079	456,9	456,4	721,7	0,103	1,58
8,624	35,3	16	150	0,03	0,09	0,6	—5,9	5,2	0,217	93,5	114,1	156	0,119	1,37
8,027	37,2	16	150	0,05	0,16	1,2	—5,9	4,6	0,313	156,1	228,2	295,5	0,126	1,29
10,93	35	16	150	0,07	0,22	1,2	—5,9	6,2	0,522	218,7	228,2	359,3	0,104	1,57
10,93	35	16	150	0,10	0,31	1,8	—5,9	6,2	0,746	312,2	342,3	529,5	0,105	1,55
10,93	35	16	150	0,18	0,57	3	—5,9	6,2	1,342	566,7	570,6	907,5	0,102	1,59
10,671	36,3	18	85	0,18	0,57	1,2	—5,3	6,5	0,453	224,9	242,9	354,4	0,112	1,46
10,671	36,3	18	85	0,39	1,27	3	—5,3	6,5	0,982	501,1	607,4	848,8	0,117	1,4
10,671	36,3	18	85	1	2,54	4,2	—5,3	6,5	2,518	1002,2	850,3	1469,3	0,094	1,73
10,671	36,3	18	85	1	2,54	4,8	—5,3	6,5	2,518	1002,2	971,8	1590,8	0,1	1,64
10,79	36,5	18	95	0,07	0,22	0,6	—5,3	6,7	0,219	603,2	121,5	176	0,112	1,45
10,79	36,5	18	95	0,39	1,27	3,6	—5,3	6,7	1,219	1206,5	728,8	1032,8	0,115	1,42
10,79	36,5	18	95	1	2,54	4,8	—5,3	6,7	3,125	104,5	971,8	1751,2	0,09	1,8
8,631	37,6	18	110	0,05	0,16	0,6	—5,3	5,8	0,191	94,5	121,5	160,8	0,123	1,32
10,903	36,8	18	110	0,18	0,57	1,8	—5,3	7	0,735	343,3	364,4	551,6	0,108	1,51
10,903	36,8	18	110	0,39	1,27	4,2	—5,3	7	1,593	764,8	850,3	1255,9	0,11	1,48
11,002	37,4	18	130	0,1	0,31	1,2	—5,3	7,3	0,542	245,8	242,9	384,4	0,103	1,58
11,002	37,4	18	130	0,18	0,57	2,4	—5,3	7,3	0,975	446,2	485,9	740,5	0,107	1,52
11,002	37,4	18	130	0,39	1,27	4,8	—5,3	7,3	2,113	994,2	971,8	1523,4	0,104	1,57
8,891	38,2	18	150	0,03	0,09	0,6	—5,3	6,5	0,198	91,5	121,5	162,8	0,122	1,34
11,075	37,9	18	150	0,18	0,57	2,4	—5,3	7,5	1,222	555,5	485,9	811,8	0,098	1,67
11,075	37,9	18	150	0,18	0,57	3,0	—5,3	7,5	1,222	555,5	607,4	933,3	0,106	1,54
10,742	39,2	20	85	0,1	0,31	0,6	—4,7	7,8	0,221	119	128,8	186,5	0,113	1,45
10,742	39,2	20	85	0,18	0,57	1,2	—4,7	7,8	0,398	216	257,7	361,4	0,116	1,4
10,742	39,2	20	85	1	2,54	4,2	—4,7	7,8	2,212	962,5	901,8	1478,1	0,099	1,64
10,742	39,2	20	85	1	2,54	4,8	—4,7	7,8	2,212	962,5	1030,7	1607	0,105	1,56
10,889	39,3	20	95	0,39	1,27	3	—4,7	8	1,08	582,4	644,2	929,4	0,113	1,44
10,889	39,3	20	95	1	2,54	4,8	—4,7	8	2,77	1164,9	1030,7	1762,1	0,095	1,71
8,904	40,3	20	110	0,05	0,16	0,6	—4,7	7,2	0,173	91,8	128,8	166,6	0,126	1,29
11,024	39,7	20	110	0,07	0,22	0,6	—4,7	8,3	0,256	128,7	128,8	197,9	0,106	1,54
11,024	39,7	20	110	0,18	0,57	1,8	—4,7	8,3	0,659	333,3	386,5	564	0,112	1,46
11,024	39,7	20	110	0,39	1,27	3,6	—4,7	8,3	1,427	742,7	773	1157,6	0,109	1,5
11,024	39,7	20	110	0,39	1,27	4,2	—4,7	8,3	1,427	742,7	901,8	1286,5	0,114	1,43
11,134	40,2	20	130	0,1	0,31	1,2	—4,7	8,6	0,491	240	257,7	393,3	0,107	1,53
11,134	40,2	20	130	0,39	1,27	4,8	—4,7	8,6	1,915	970,6	1030,7	1559,5	0,108	1,51
11,212	40,7	20	150	0,18	0,57	2,4	—4,7	8,9	1,116	544,3	515,3	830,2	0,101	1,61

Продолжение прил. 4

8,076	25,8	18	85	0,07	0,22	1,2	5,8	14,1	0,708	86,8	127,7	153,9	0,257	1,2
8,159	26	18	85	0,1	0,31	1,8	5,8	14,1	0,968	123,9	191,6	233	0,255	1,22
8,159	26	18	85	0,18	0,57	3	5,8	14,1	1,742	224,9	319,4	393,9	0,251	1,23
8,189	26,1	18	95	0,18	0,57	3,6	5,8	14,2	2,092	270,7	383,2	473,9	0,251	1,24
5,726	27,7	18	110	0,05	0,16	1,8	5,8	13,4	0,577	94,5	191,6	213,7	0,278	1,12
8,210	26,2	18	110	0,07	0,22	1,8	5,8	14,3	1,032	132,5	191,6	235,8	0,252	1,23
8,226	26,2	18	110	0,1	0,31	2,4	5,8	14,3	1,463	189,1	255,5	319,8	0,248	1,25
8,226	26,2	18	110	0,18	0,57	4,8	5,8	14,3	2,633	343,3	511,0	626,7	0,253	1,23
5,491	28,2	18	130	0,05	0,16	2,4	5,8	13,4	0,717	122,9	255,5	283,6	0,279	1,11
8,231	26,3	18	130	0,07	0,22	2,4	5,8	14,4	1,337	172,2	255,5	312,1	0,254	1,22
8,263	26,4	18	130	0,1	0,31	3,6	5,8	14,5	1,88	245,8	383,2	467,0	0,254	1,22
5,762	27,8	18	150	0,03	0,09	1,8	5,8	13,7	0,569	91,6	191,6	211,7	0,281	1,1
5,29	28,5	18	150	0,05	0,16	3	5,8	13,5	0,861	153	319,4	353,3	0,28	1,11
8,237	26,3	18	150	0,07	0,22	3	5,8	14,5	1,662	214,4	319,4	388,2	0,255	1,22
8,289	26,5	18	150	0,1	0,31	4,2	5,8	14,5	2,315	306,0	447,1	551,3	0,251	1,23
8,187	28,1	20	85	0,07	0,22	1,2	7	15,8	0,632	83,4	135,5	160,7	0,261	1,19
8,26	28,3	20	85	0,18	0,57	3	7	15,8	1,564	216	338,7	409,5	0,256	1,21
6,133	29,7	20	95	0,05	0,16	1,2	7	15,1	0,427	72	135,5	152,9	0,275	1,13
8,193	28,2	20	95	0,07	0,22	1,2	7	15,9	0,775	100,9	135,5	165,4	0,254	1,22
8,292	28,5	20	95	0,1	0,31	1,8	7	16	1,051	144	203,2	251,4	0,251	1,24
8,292	28,5	20	95	0,18	0,57	3,6	7	16	1,892	261,4	406,5	493,1	0,256	1,21
8,319	28,6	20	110	0,07	0,22	1,8	7	16,1	0,939	128,7	203,2	246	0,256	1,21
8,332	28,6	20	110	0,1	0,31	2,4	7	16,1	1,333	183,6	271	333	0,252	1,23
8,332	28,6	20	110	0,18	0,57	4,2	7	16,1	2,399	333,3	474,2	585,8	0,251	1,24
6,185	30	20	130	0,03	0,09	1,2	7	15,4	0,432	71,8	135,5	152,6	0,275	1,13
8,371	28,8	20	130	0,1	0,31	3	7	16,2	1,724	240	338,7	420	0,25	1,24
8,4	28,9	20	150	0,1	0,31	3,6	7	16,3	2,131	299,8	406,5	508,1	0,248	1,25
8,4	28,9	20	150	0,1	0,31	4,2	7	16,3	2,131	299,8	474,2	575,8	0,255	1,21

При сопротивлении теплопередаче окна R_0=0,310 м²·°С/Вт и расчетной температуре наружного воздуха $t_н$=—15° С

Средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи $\alpha_{ст}$, Вт/(м²·°С)	Средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$, °С	Температура воздуха внутри помещения $t_в$, °С	Температура на поверхности нагревательного прибора $t_н$, °С	Параметры нагревательного прибора		Высота окна $H_{ок}$, м	Температура на внутренней поверхности остекления окна, $\tau_в$, °С		Расстояние до места встречи теплой и холодной струй $x_в$, м	Конвективный тепловой поток от нагревателя $Q_н^к$, Вт	Теплопотери окна, Вт		Приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°С/Вт	Отопительный эффект Э
				d, м	$F_н$, м²		без нагревательного прибора	при устройстве прибора			без нагреват. прибора $Q_{ок}^{х}$	при устройстве прибора $Q_{ок}$		
5,955	24,8	16	85	0,05	0,16	1,2	4,5	11,6	0,441	64,4	120	135,8	0,274	1,13
8,051	23,6	16	85	0,1	0,31	1,8	4,5	12,4	1,08	128,9	180	223,6	0,25	1,24
8,051	23,6	16	85	0,18	0,57	3,6	4,5	12,4	1,944	233,9	360	438,4	0,255	1,22
8,079	23,7	16	95	0,1	0,31	2,4	4,5	12,5	1,288	154,3	240	292,6	0,254	1,22
8,079	23,7	16	95	0,18	0,57	4,2	4,5	12,5	2,319	280,2	420	514,6	0,253	1,23
5,557	25,4	16	110	0,05	0,16	1,8	4,5	11,7	0,63	97,3	180	202,6	0,275	1,13
8,114	23,9	16	110	0,1	0,31	3	4,5	12,6	1,61	194,6	300	366,6	0,254	1,22
8,114	23,9	16	110	0,18	0,57	4,8	4,5	12,6	2,899	353,2	480	599,8	0,248	1,25
5,332	25,8	16	130	0,05	0,16	2,4	4,5	11,7	0,779	125,8	240	268,7	0,277	1,12
8,11	23,9	16	130	0,07	0,22	2,4	4,5	12,7	1,467	176,3	240	297,8	0,25	1,24
8,147	24	16	130	0,1	0,31	3,6	4,5	12,7	2,058	251,7	360	446,2	0,25	1,24
5,589	25,4	16	150	0,03	0,09	1,8	4,5	11,9	0,618	93,5	180	200,2	0,279	1,11
8,111	23,9	16	150	0,07	0,22	3	4,5	12,7	1,82	218,7	300	369,9	0,251	1,23
8,171	24,1	16	150	0,1	0,31	4,2	4,5	12,8	2,525	312,2	420	526,7	0,247	1,25
8,171	24,1	16	150	0,1	0,31	4,8	4,5	12,8	2,525	312,2	480	586,7	0,254	1,22

При сопротивлении теплопередаче окна R_o=0,310 м²·°С/Вт и расчетной температуре наружного воздуха $t_н$=—20° С

Средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи $\alpha_{ст}$, Вт/(м²·°С)	Средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$, °С	Температура воздуха внутри помещения $t_в$, °С	Температура на поверхности нагревательного прибора $t_н$, °С	Параметры нагревательного прибора: d, м	Параметры нагревательного прибора: $F_н$, м²	Высота окна $H_{ок}$, м	Температура на внутренней поверхности остекления окна, $\tau_в$, °С: без нагревательного прибора	Температура на внутренней поверхности остекления окна, $\tau_в$, °С: при устройстве прибора	Расстояние до места встречи теплой и холодной струй $x_в$, м	Конвективный тепловой поток от нагревателя $Q_н^к$, Вт	Теплопотери окна, Вт: без нагреват. прибора $Q_{ок}^х$	Теплопотери окна, Вт: при устройстве прибора $Q_{ок}$	Приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°С/Вт	Отопительный эффект Э
8,284	24,3	16	85	0,07	0,22	1,2	2,7	11,8	0,669	90,3	139,4	166,6	0,259	1,2
8,366	24,6	16	85	0,18	0,57	3	2,7	11,8	1,647	233,9	348,4	425,5	0,254	1,22
6,152	26	16	95	0,05	0,16	1,2	2,7	11	0,442	77,2	139,4	157,9	0,274	1,13
8,397	24,7	16	95	0,1	0,31	1,8	2,7	11,9	1,094	154,3	209	260,9	0,248	1,25
8,397	24,7	16	95	0,18	0,57	3,6	2,7	11,9	1,97	280,2	418,1	511,4	0,253	1,22
8,42	24,8	16	110	0,07	0,22	1,8	2,7	12	0,967	136,3	209	254,4	0,255	1,22
8,434	24,8	16	110	0,10	0,31	2,4	2,7	12	1,372	194,6	278,7	344,6	0,251	1,24
8,434	24,8	16	110	0,18	0,57	4,2	2,7	12	2,469	353,2	487,7	606,4	0,249	1,24
8,434	24,8	16	110	0,18	0,57	4,8	2,7	12	2,469	353,2	557,4	676,1	0,256	1,21
6,222	26,2	16	130	0,03	0,09	1,2	2,7	11,3	0,439	75,3	139,4	157,2	0,275	1,13
8,443	24,9	16	130	0,07	0,22	2,4	2,7	12,1	1,246	176,3	278,7	336,7	0,257	1,21
8,472	25	16	130	0,1	0,31	3	2,7	12,2	1,755	251,7	348,4	433,9	0,249	1,25
8,5	25,1	16	150	0,1	0,31	3,6	2,7	12,3	2,155	312,2	418,1	524,1	0,247	1,25
8,5	25,1	16	150	0,1	0,31	4,2	2,7	12,3	2,155	312,2	487,7	593,8	0,255	1,22
6,118	25,3	18	85	0,03	0,09	0,6	3,9	12,5	0,331	37,1	73,5	70,4	0,324	0,96
8,46	26,9	18	85	0,18	0,57	2,4	3,9	13,5	1,487	224,9	294,2	367,4	0,248	1,25
8,394	26,7	18	95	0,07	0,22	1,2	3,9	13,6	0,732	104,5	147,1	178,1	0,256	1,21
8,492	27	18	95	0,1	0,31	1,8	3,9	13,6	0,995	149,1	220,6	270,3	0,253	1,23
8,492	27	18	95	0,18	0,57	3	3,9	13,6	1,791	270,7	367,7	457,1	0,249	1,24
8,532	27,2	18	110	0,1	0,31	2,4	3,9	13,8	1,256	189,1	294,2	357,8	0,255	1,22
8,532	27,2	18	110	0,18	0,57	3,6	3,9	13,8	2,261	343,3	441,3	555,8	0,246	1,26
8,532	27,2	18	110	0,18	0,57	4,2	3,9	13,8	2,261	343,3	514,8	629,3	0,254	1,22
5,814	29,2	18	130	0,05	0,16	1,8	3,9	12,8	0,626	122,9	220,6	248,5	0,275	1,13
8,572	27,3	18	130	0,1	0,31	3	3,9	13,9	1,618	245,8	367,7	450,8	0,253	1,23
8,572	27,3	18	130	0,18	0,57	4,8	3,9	13,9	2,912	446,2	588,4	738	0,247	1,25
5,617	29,6	18	150	0,05	0,16	2,4	3,9	12,8	0,748	153	294,2	328,3	0,278	1,12
8,56	27,3	18	150	0,07	0,22	2,4	3,9	14	1,424	214,4	294,2	363,5	0,251	1,24
8,602	27,5	18	150	0,1	0,31	3,6	3,9	14	1,994	306	441,3	544,8	0,251	1,23
6,236	27,4	20	85	0,03	0,09	0,6	5,2	14,2	0,309	35,6	77,4	73,7	0,326	0,95
8,548	29,2	20	85	0,10	0,31	1,2	5,2	15,3	0,746	119	154,8	193,4	0,248	1,25
8,548	29,2	20	85	0,18	0,57	2,4	5,2	15,3	1,343	216	309,7	379,1	0,253	1,22
6,894	29,6	20	95	0,03	0,09	0,6	5,2	14,7	0,263	43,1	77,4	86	0,279	1,11
8,494	29,1	20	95	0,07	0,22	1,2	5,2	15,3	0,663	100,9	154,8	184,9	0,26	1,19
8,581	29,4	20	95	0,18	0,57	3	5,2	15,4	1,631	261,4	387,1	472,5	0,254	1,22
6,229	31,1	20	110	0,05	0,16	1,2	5,2	14,5	0,461	91,8	154,8	176,5	0,272	1,14
8,623	29,5	20	110	0,1	0,31	1,8	5,2	15,5	1,153	183,6	232,3	293,6	0,245	1,26
8,623	29,5	20	110	0,18	0,57	3,6	5,2	15,5	2,075	333,3	464,5	574,9	0,25	1,24
5,957	31,6	20	130	0,05	0,16	1,8	5,2	14,5	0,581	120	232,3	259,6	0,277	1,12
8,646	29,6	20	130	0,07	0,22	1,8	5,2	15,7	1,057	168,1	232,3	287,5	0,25	1,24
8,667	29,7	20	130	0,1	0,31	2,4	5,2	15,7	1,495	240	309,7	390,4	0,246	1,26
8,667	29,7	20	130	0,18	0,57	4,8	5,2	15,7	2,69	435,6	619,4	764,6	0,251	1,23
6,286	31,3	20	150	0,03	0,09	1,2	5,2	14,8	0,459	89,8	154,8	175,3	0,274	1,13
8,662	29,7	20	150	0,07	0,22	2,4	5,2	15,8	1,317	210,1	309,7	377,7	0,254	1,22
8,699	29,8	20	150	0,1	0,31	3	5,2	15,8	1,85	299,8	387,1	488,1	0,246	1,26

Продолжение прил. 4

При сопротивлении теплопередаче окна $R_s = 0{,}310$ м²·°С/Вт и расчетной температуре наружного воздуха $t_н = -30$° С

Средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи $\bar{\alpha}_{ст}$, Вт/(м²·°С)	Средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$, °С	Температура воздуха внутри помещения $t_в$, °С	Температура на поверхности нагревательного прибора $t_н$, °С	Параметры нагревательного прибора: d, м	Параметры нагревательного прибора: $F_н$, м²	Высота окна $H_{ок}$, м	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: без нагревательного прибора	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: при устройстве прибора	Расстояние до места встречи теплой и холодной струй, $x_в$, м	Конвективный тепловой поток от нагревателя $Q_н^к$, Вт	Теплопотери окна, Вт: без нагреват. прибора $Q_{ок}^x$	Теплопотери окна, Вт: при устройстве прибора $Q_{ок}$	Приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°С/Вт	Отопительный эффект Э
8,908	26,3	16	85	0,10	0,31	1,2	—1,1	10,6	0,691	128,9	178,1	219,4	0,252	1,23
8,908	26,3	16	85	0,18	0,57	2,4	—1,1	10,6	1,244	233,9	356,1	430,6	0,256	1,21
8,908	26,3	16	85	0,39	1,27	4,8	—1,1	10,6	2,696	521,2	712,3	873,6	0,253	1,23
8,941	26,4	16	95	0,18	0,57	2,4	—1,1	10,8	1,499	280,2	356,1	446,9	0,247	1,25
6,556	28,3	16	110	0,05	0,16	1,2	—1,1	9,8	0,42	97,3	178,1	201	0,275	1,13
8,859	26,2	16	110	0,07	0,22	1,2	—1,1	10,9	0,781	136,3	178,1	217,4	0,254	1,22
8,983	26,6	16	110	0,10	0,31	1,8	—1,1	10,9	1,051	194,6	267,1	331,7	0,25	1,24
8,983	26,6	16	110	0,18	0,57	3	—1,1	10,9	1,891	353,2	445,2	561,4	0,251	1,26
9,027	26,8	16	130	0,10	0,31	2,4	—1,1	11,1	1,351	251,7	356,1	440,4	0,246	1,24
9,027	26,8	16	130	0,18	0,57	4,2	—1,1	11,1	2,432	456,9	623,2	774,9	0,249	1,24
6,06	29,3	16	130	0,05	0,16	1,8	—1,1	9,8	0,633	156,1	267,1	301,5	0,275	1,13
9,062	27	16	150	0,1	0,31	3	—1,1	11,2	1,662	312,2	445,2	550	0,251	1,24
9,062	27	16	150	0,18	0,57	4,8	—1,1	11,2	2,992	566,7	712,3	901	0,245	1,26
8,98	28,6	18	85	0,1	0,31	1,2	0,2	12,3	0,630	123,9	185,8	225	0,256	1,21
8,98	28,6	18	85	0,39	1,27	4,2	0,2	12,3	2,456	501,1	650,3	803,2	0,251	1,24
8,98	28,6	18	85	0,39	1,27	4,8	0,2	12,3	2,456	501,1	743,2	896,1	0,257	1,21
9,015	28,7	18	95	0,10	0,31	1,2	0,2	12,5	0,765	149,1	185,8	234	0,246	1,26
9,015	28,7	18	95	0,18	0,57	2,4	0,2	12,5	1,377	270,7	371,6	458,4	0,251	1,23
7,086	29,2	18	110	0,03	0,09	0,6	0,2	11,7	0,281	56,6	92,9	103,4	0,278	1,11
8,945	28,5	18	110	0,07	0,22	1,2	0,2	12,6	0,719	132,5	185,8	224,2	0,257	1,21
9,058	28,9	18	110	0,1	0,31	1,8	0,2	12,7	0,973	189,1	278,7	341	0,253	1,22
9,058	28,9	18	110	0,18	0,57	3	0,2	12,7	1,751	343,3	464,5	576,6	0,250	1,24
9,105	29,2	18	130	0,18	0,57	3,6	0,2	12,9	2,267	446,2	557,4	704,7	0,245	1,26
9,105	29,2	18	130	0,18	0,57	4,2	0,2	12,9	2,267	446,2	650,3	797,6	0,253	1,23
6,182	31,7	18	150	0,05	0,16	1,8	0,2	11,6	0,596	153	278,7	312,6	0,276	1,12
8,918	28,5	18	150	0,07	0,22	1,8	0,2	12,9	1,206	214,4	278,7	333,7	0,259	1,20
9,141	29,3	18	150	0,1	0,31	2,4	0,2	13	1,556	306	371,6	473,9	0,243	1,28
9,141	29,3	18	150	0,18	0,57	4,8	0,2	13	2,801	555,5	743,2	927,4	0,248	1,25
7,128	31,5	20	85	0,05	0,16	0,6	1,5	13,1	0,262	59,5	96,8	108,5	0,276	1,12
9,047	30,9	20	85	0,18	0,57	1,8	1,5	14,1	1,032	216	290,3	357	0,252	1,23
9,047	30,9	20	85	0,39	1,27	4,2	1,5	14,1	2,237	481,3	677,4	821,9	0,256	1,21
9,085	31	20	95	0,1	0,31	1,2	1,5	14,2	0,702	144	193,5	239,5	0,250	1,24
9,085	31	20	95	0,18	0,57	2,4	1,5	14,2	1,264	261,4	387,1	469,8	0,255	1,21
9,085	31	20	95	0,39	1,27	4,8	1,5	14,2	2,739	582,4	774,2	953,5	0,252	1,23
7,258	31,6	20	110	0,03	0,09	0,6	1,5	13,5	0,260	55,0	96,8	107,4	0,279	1,11
9,027	30,9	20	110	0,07	0,22	1,2	1,5	14,4	0,663	128,7	193,5	231	0,26	1,19
9,13	31,3	20	110	0,18	0,57	3	1,5	14,4	1,622	333,3	483,9	591,7	0,253	1,22
6,539	33,5	20	130	0,05	0,16	1,2	1,5	13,3	0,463	120	193,5	221,1	0,271	1,14
9,179	31,5	20	130	0,1	0,31	1,8	1,5	14,6	1,175	240	290,3	369,7	0,243	1,27
9,179	31,5	20	130	0,18	0,57	3,6	1,5	14,6	2,115	435,6	580,6	723,6	0,249	1,25
9,192	31,6	20	150	0,07	0,22	1,8	1,5	14,8	1,033	210,1	290,3	358,5	0,251	1,23
9,217	31,7	20	150	0,1	0,31	2,4	1,5	14,8	1,459	299,8	387,1	486,9	0,246	1,26
9,217	31,7	20	150	0,18	0,57	4,2	1,5	14,8	0,626	544,3	677,4	857,0	0,245	1,27
9,217	31,7	20	150	0,18	0,57	4,8	1,5	14,8	2,626	544,3	774,2	953,8	0,252	1,23

Продолжение прил. 4

При сопротивлении теплопередаче окна $R_0 = 0{,}31$ м²·°С/Вт и расчетной температуре наружного воздуха $t_н = -40$° С

Средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи $\bar{\alpha}_{ст}$ Вт/(м²·°С)	Средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$, °С	Температура воздуха внутри помещения $t_в$, °С	Температура на поверхности нагревательного прибора $t_н$, °С	Параметры нагревательного прибора: d, м	Параметры нагревательного прибора: $F_н$, м²	Высота окна $H_{ок}$, м	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: без нагревательного прибора	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: при устройстве прибора	Расстояние до места встречи теплой и холодной струй $x_в$, м	Конвективный тепловой поток от нагревателя $Q_к$, Вт	Теплопотери окна, Вт: без нагревательного прибора $Q^ж_{ок}$	Теплопотери окна, Вт: при устройстве прибора $Q_{ок}$	Приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°С/Вт	Отопительный эффект Э
7.386	28,5	16	85	0,05	0,16	0,6	—4,8	8,4	0,249	64,4	108,4	121	0,278	1,12
9,364	27,9	16	85	0,18	0,57	1,8	—4,8	9,4	0,985	233,9	325,2	396,9	0,254	1,22
9,364	27,9	16	85	0,39	1,27	4,2	—4,8	9,4	2,134	521,2	758,7	914,2	0,257	1,26
9,401	28,1	16	95	0,10	0,31	1,2	—4,8	9,6	0,664	154,3	216,8	265,7	0,253	1,23
9,401	28,1	16	95	0,39	1,27	4,8	—4,8	9,6	2,589	624,2	867,1	1058	0,254	1,22
9,446	28,3	16	110	0,18	0,57	2,4	—4,8	9,8	1,519	353,2	433,5	547,3	0,246	1,26
6,818	30,7	16	130	0,05	0,16	1,2	—4,8	8,6	0,43	125,8	216,8	245,6	0,274	1,13
9,494	28,5	16	130	0,10	0,31	1,8	—4,8	10,1	1,092	251,7	325,2	408,2	0,247	1,26
9,494	28,5	16	130	0,18	0,57	3	—4,8	10,1	1,965	456,9	541,9	691,3	0,243	1,28
9,494	28,5	16	130	0,18	0,57	3,6	—4,8	10,1	1,965	312,2	650,3	799,7	0,252	1,23
9,533	28,7	16	150	0,10	0,31	2,4	—4,8	10,2	1,347	312,2	433,5	537,2	0,250	1,24
9,533	28,7	16	150	0,18	0,57	4,2	—4,8	10,2	2,425	566,7	758,7	945,3	0,249	1,25
9,371	30	18	85	0,07	0,22	0,6	—3,5	11,1	0,360	86,8	122,3	137	0,253	1,22
9,419	30	18	85	0,39	1,27	3,6	—3,5	11,2	1,995	501,1	673,5	820,6	0,254	1,22
9,459	30,3	18	95	0,18	0,57	1,8	—3,5	11,3	1,104	270,7	336,8	420,8	0,248	1,25
9,459	30,3	18	95	0,39	1,27	4,2	—3,5	11,3	2,392	603,2	785,8	968	0,252	1,23
9,459	30,3	18	95	0,39	1,27	4,8	—3,5	11,3	2,392	603,2	898,1	1080,2	0,258	1,2
9,506	30,6	18	110	0,10	0,31	1,2	—3,5	11,6	0,786	189,1	224,5	285,3	0,244	1,27
9,506	30,6	18	110	0,18	0,57	2,4	—3,5	11,6	1,416	343,3	449	558,5	0,249	1,24
9,415	30,3	18	130	0,07	0,22	1,2	—3,5	11,7	0,765	172,2	224,5	273,1	0,255	1,22
9,557	30,9	18	130	0,1	0,31	1,8	—3,5	11,8	1,025	245,8	336,8	417,3	0,250	1,24
9,557	30,9	18	130	0,18	0,57	3	—3,5	11,8	1,844	446,2	561,3	706,3	0,246	1,26
9,597	31,1	18	150	0,18	0,57	3,6	—3,5	12	2,287	555,5	673,5	855,5	0,244	1,27
9,595	31,1	18	150	0,18	0,57	4,2	—3,5	12	2,287	557,5	85,8	967,8	0,252	1,23
9,427	32,3	20	85	0,07	0,22	0,6	—2,2	12,9	0,329	83,4	116,1	140	0,259	1,21
9,471	32,4	20	85	0,39	1,27	3,6	—2,2	12,9	1,789	481	696,8	835,5	0,277	1,2
7,443	33,4	20	95	0,05	0,16	0,6	—2,2	11,9	0,256	72	116,1	130,1	0,252	1,12
9,515	32,6	20	95	0,18	0,57	1,8	—2,2	13,1	1,019	261,4	348,4	428,4	0,255	1,23
9,515	32,6	20	95	0,39	1,27	4,2	—2,2	13,1	2,208	582,4	812,9	986,4	0,248	1,21
9,565	32,9	20	110	0,1	0,31	1,2	—2,2	13,3	0,733	183,6	232,3	290,7	0,253	1,25
9,565	32,9	20	110	0,18	0,57	2,4	—2,2	13,3	1,319	333,3	464,5	589,8	0,249	1,23
9,565	32,9	20	110	0,39	1,27	4,8	—2,2	13,3	2,858	742,7	929	1157,1	0,279	1,25
7,445	33,6	20	130	0,03	0,09	0,6	—2,2	12,3	0,276	71,8	116,1	128,9	0,257	1,11
9,484	32	20	130	0,07	0,22	1,2	—2,2	13,5	0,715	168,1	232,3	279,9	0,25	1,21
9,616	33,2	20	130	0,18	0,57	3	—2,2	13,6	1,732	435,6	580,6	721,2	0,271	1,24
6,798	35,9	20	150	0,05	0,16	1,2	—2,2	12,1	0,466	149,9	232,3	265,8	0,247	1,14
9,658	33,4	20	150	0,18	0,57	3,6	—2,2	13,8	2,158	544,3	696,8	874,2		1,25

Продолжение прил. 4

При сопротивлении теплопередаче окна R_o=0,56 м²·°С/Вт и расчетной температуре наружного воздуха $t_н$=—40° С

Средний коэффициент теплоотдачи гравитационной струи $\alpha_{ст}$, Вт/(м²·°С)	Средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$, °С	Температура воздуха внутри помещения $t_в$, °С	Температура на поверхности нагревательного прибора $t_н$, °С	Параметры нагревательного прибора: d, м	Параметры нагревательного прибора: $F_н$, м²	Высота окна $H_{ок}$, м	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: без нагревательного прибора	Температура на внутренней поверхности остекления окна $\tau_в$, °С: при устройстве прибора	Расстояние до места встречи теплой и холодной струй, $x_в$, м	Конвективный тепловой поток от нагревателя $Q_н^к$, Вт	Теплопотери окна, Вт: без нагреваельного прибора $Q_{ок}^{ж}$	Теплопотери окна, Вт: при устройстве прибора $Q_{ок}$	Приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°С/Вт	Отопительный эффект Э
7,714	22,7	16	85	0,18	0,57	3,6	4,5	12,9	2,33	233,9	360	404,1	0,499	1,12
7,714	22,7	16	85	0,18	0,57	4,2	4,5	12,9	2,33	233,9	420	464,1	0,507	1,1
7,496	22,2	16	95	0,07	0,22	1,8	4,5	12,8	1,23	108,1	180	186,8	0,540	1,04
7,737	22,8	16	95	0,1	0,31	2,4	4,5	13	1,543	154,3	240	269,5	0,499	1,12
7,737	22,8	16	95	0,18	0,57	4,2	4,5	13	2,778	280,2	420	473	0,497	1,13
7,737	22,8	16	95	0,18	0,57	4,8	4,5	13	2,778	280,2	480	533	0,504	1,11
5,625	23,7	16	110	0,03	0,09	1,2	4,5	12,3	0,497	58,3	120	125,4	0,536	1,04
7,670	22,7	16	110	0,07	0,22	2,4	4,5	13	1,418	136,3	240	259,8	0,517	1,08
7,763	22,9	16	110	0,10	0,31	3	4,5	13,1	1,929	194,6	300	337,2	0,498	1,12
7,633	22,6	16	130	0,07	0,22	3	4,5	13,1	1,87	176,3	300	320,3	0,525	1,07
7,786	23	16	130	0,1	0,31	4,2	4,5	13,2	2,468	251,7	420	468	0,503	1,11
4,806	25	16	150	0,05	0,16	3,6	4,5	12,3	1,086	156,1	360	378,8	0,532	1,05
7,578	22,5	16	150	0,07	0,31	3,6	4,5	13,1	2,381	218,7	360	377,3	0,534	1,05
7,799	23	16	150	0,1	0,22	4,8	4,5	13,2	3,037	312,2	480	538,9	0,499	1,12
5,682	26	18	85	0,05	0,16	1,2	6,1	14	0,484	61,9	124,3	132,2	0,527	1,06
7,764	24,9	18	85	0,1	0,31	1,8	6,1	14,8	1,197	123,9	186,4	209,8	0,498	1,13
7,764	24,9	18	85	0,18	0,57	3,6	6,1	14,8	2,155	224,9	372,9	415	0,503	1,11
7,74	24,9	18	95	0,07	0,22	1,8	6,1	14,8	1,031	104,5	186,4	203,8	0,512	1,09
7,788	25	18	95	0,1	0,31	2,4	6,1	14,9	1,435	149,1	248,6	276,9	0,503	1,11
7,788	25	18	95	0,18	0,57	4,2	6,1	14,9	2,584	270,7	435	486	0,501	1,12
5,743	25,9	18	110	0,03	0,09	1,2	6,1	14,2	0,465	56,6	124,3	129,8	0,536	1,04
5,281	26,5	18	110	0,05	0,16	1,8	6,1	14,1	0,699	94,5	186,4	197,5	0,529	1,06
7,816	25,1	18	110	0,1	0,31	3	6,1	15	1,805	189,1	310,7	346,7	0,502	1,12
5,071	26,9	18	130	0,05	0,16	2,4	6,1	14,1	0,863	122,9	248,6	263,4	0,528	1,06
7,703	24,8	18	130	0,07	0,22	3	6,1	15	1,745	172,2	310,7	331,8	0,524	1,07
7,842	25,2	18	130	0,1	0,31	3,6	6,1	15,1	2,321	245,8	372,9	419,6	0,498	1,13
7,842	25,2	18	130	0,1	0,31	4,2	6,1	15,1	2,321	245,8	435	481,8	0,506	1,11
7,653	24,7	18	150	0,07	0,22	3,6	6,1	15	2,226	214,4	372,9	391,9	0,533	1,05
7,859	25,2	18	150	0,1	0,31	4,8	6,1	15,1	2,863	306	497,1	535,1	0,502	1,12
4,286	24	20	85	0,03	0,09	1,2	7,7	14,6	0,743	35,6	128,6	85	0,847	0,66
5,796	28,1	20	85	0,05	0,16	1,2	7,7	15,9	0,45	59,5	128,6	136,2	0,529	1,06
7,812	27,1	20	85	0,1	0,31	1,8	7,7	16,7	1,107	119	192,9	215,2	0,502	1,12
7,812	27,1	20	85	0,18	0,57	3	7,7	16,7	1,992	216	321,4	361,6	0,498	1,12
7,812	27,1	20	85	0,18	0,57	3,6	7,7	16,7	1,992	216	385,7	425,9	0,507	1,1
7,837	27,2	20	95	0,18	0,57	4,2	7,7	16,8	2,403	261,4	450	499	0,505	1,11
5,379	28,7	20	110	0,05	0,16	1,8	7,7	16	0,658	91,8	192,9	203,7	0,53	1,06
7,867	27,3	20	110	0,1	0,31	3	7,7	16,9	1,69	183,6	321,4	356,3	0,505	1,11
7,867	27,3	20	110	0,18	0,57	4,8	7,7	16,9	3,042	333,3	514,3	577	0,499	1,12
5,161	29,1	20	130	0,05	0,16	2,4	7,7	16	0,817	120	257,1	271,7	0,53	1,06
7,896	27,4	20	130	0,1	0,31	3,6	7,7	17	2,185	240	385,7	431,2	0,501	1,12
5,268	28,4	20	150	0,03	0,09	1,8	7,7	16	0,69	89,8	192,9	197,8	0,546	1,03
4,971	29,4	20	150	0,05	0,16	3	7,7	16	0,981	149,9	321,4	339,4	0,53	1,06
7,724	26,9	20	150	0,07	0,22	3,6	7,7	16	2,084	210,1	385,7	406,1	0,532	1,05
7,912	27,4	20	150	0,1	0,31	4,2	7,7	17	2,706	299,8	450	506,5	0,498	1,13
7,914	27,4	20	150	0,1	0,31	4,8	7,7	17	2,705	299,8	514,3	571	0,504	1,11

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕНИТНОГО ФОНАРЯ ПРИ ОБОГРЕВЕ ПОДФОНАРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Требуется проверить возможность образования конденсата при зимних условиях эксплуатации на внутренней поверхности зенитного фонаря, установленного в покрытии производственного здания, расположенного в Москве, и при необходимости предусмотреть меры для устранения конденсата. Размер светового проема фонаря 1,2×1,4 м. Светопропускающее заполнение выполнено из двухслойного стеклопакета. Высота помещения $L=6$ м; градиент повышения температуры по высоте помещения $\Delta t=0{,}5°$ С/м. Относительная влажность внутреннего воздуха в помещении $\varphi_в=50\%$; температура в рабочей зоне помещения $t_в=18°$ С; теплопередача у внутренней поверхности остекления $\alpha_в=9{,}88$ Вт/(м²·°С).

Согласно главе СНиП II-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика», средняя температура наиболее холодной пятидневки для Москвы составляет $t_н=-25°$С. По формуле (11) определяем температуру в подфонарном пространстве: $t_{пф}=18+0{,}5(6-2)=20°$ С.

По формуле (20) определяем температуру на внутренней поверхности остекления зенитного фонаря. При этом значение $R_o=0{,}29$ м²·°С/Вт принимаем по табл. 10.

$$\tau_в=t_{пф}-\frac{t_{пф}-t_н}{\alpha_в R_o}=20-\frac{20+25}{9{,}88\cdot 0{,}29}=4{,}3°\text{ С}.$$

Для $t_в=18°$ С и $\varphi_в=50\%$ по табл. 7 определяем температуру точки росы, которая составляет $\tau_р=7{,}4°$ С.

Температура на внутренней поверхности зенитного фонаря ниже точки росы, что указывает на возможность образования на ней конденсата. Для его устранения необходимо устройство дополнительного обогрева подфонарного пространства, который выполняется с помощью трубчатых нагревателей, размещаемых по нижнему периметру опорного контура фонаря.

Общая длина нагревателей составляет 5 м. По графику (см. рис. 8) для $\varphi_в=50\%$ и $t_н=-25°$ С определяем дополнительный расход тепла на 1 м² светового проема:

$$q_{доп}=442\text{ Вт/м}^2.$$

По формуле (44) находим дополнительный расход тепла на один фонарь:

$$Q_{доп}=442\cdot 1{,}2\cdot 1{,}4=742{,}6\text{ Вт}.$$

По формуле определяем температуру в подфонарном пространстве (см. п. 4.17):

$$t_{пф}=18+0{,}5(6-2)+0{,}33\sqrt{442}=26{,}9°\text{ С}.$$

Принимаем температуру нагревателей 80° С и по формулам (43) и (47) определяем коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением:

$$\overline{\alpha_и}=1{,}68(80-18)^{1/3}=6{,}7\text{ Вт/(м}^2\cdot°\text{С)};$$

$$\overline{\alpha}_{л}=5\,\frac{\left(\frac{273+80}{100}\right)^4-\left(\frac{273+18}{100}\right)^4}{80-18}=6{,}3\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

Площадь теплоотдающей поверхности нагревателей определяем по формуле (45):

$$S_0=\frac{742{,}6}{(6{,}7+6{,}3)\,(80-26{,}9)}=1{,}07\ \text{м}^2.$$

Требуемый диаметр нагревателей определяем по формуле (46):

$$d_0=\frac{1{,}07}{3{,}14\cdot 5}=0{,}067\ \text{м}=6{,}7\ \text{см}.$$

Принимаем диаметр трубчатых нагревателей $d_0=7$ см.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОН ПРИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЕ ПОВЕРХНОСТИ ОСТЕКЛЕНИЯ СТРУЯМИ ВОЗДУХА

Пример 1. Требуется с помощью изотермической полуограниченной струи не допустить проникания холодных потоков воздуха в рабочую зону помещения и рассчитать оптимальные параметры струи и теплопотери через окно. Строительство здания намечено в Москве. Светопрозрачное ограждение состоит из двойного сплошного остекления высотой 10 м и воздушной прослойки шириной 0,3 м. Коэффициент теплопроводности стекла $\lambda=0{,}8$ Вт/(м·°С); толщина стекла 0,01 м. Расчет ведем при ширине витража $L=1$ м. Температура внутреннего воздуха $t_{в}=20°$ С.

По СНиП II-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика» выбираем для Москвы температуру наружного воздуха:

$t_{н}=-25°$ С (температуру наиболее холодной пятидневки).

По табл. 7 $R_0=0{,}39$ м²·°С/Вт.

По формуле (48) определяем $t_{в}-\tau_{в}$ ($R_{в}=0{,}114$ м²·°С/Вт принято по СНиП II-9-79 «Строительная теплотехника»):

$$t_{в}-\tau_{в}=0{,}114(20+25)/0{,}39=13{,}1°\ \text{С}.$$

Находим место встречи теплой и холодной струй по формуле (49):

$$x_{в}=1{,}2\cdot 13{,}1^{1/3}\,[(1+1{,}67\cdot 13{,}1^{1/3}\cdot 10)^{1/2}-1]=2{,}2\ \text{м}.$$

Выбираем ширину щели сопла $b_0=50$ мм и находим оптимальное значение скорости:

$$u_0=0{,}155\cdot 13{,}1^{1/3}\cdot 2{,}2^{1/2}/0{,}05^{1/3}=2{,}4\ \text{м/с}.$$

Определяем место отрыва струи от остекления по формуле (51):

$$x_{о.с}=27\cdot 2{,}4^2\cdot 0{,}05/13{,}1^{2/3}=1{,}4\ \text{м}.$$

По формуле (52) определяем $\overline{\alpha}_{с}^{к}$:

$$\bar{\alpha}_c^к = \frac{172(2,4\cdot 0,05)^{0,87}}{1,4}\left(\frac{0,12\cdot 1,4^{1/2}}{0,05^{1/2}}+1\right) = 29,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

По формуле (53) находим $\alpha_л$:

$$\alpha_л = \frac{1}{13,1}\left[\left(\frac{273+20}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+6,9}{100}\right)^4\right] = 4,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

Определяем $R_с$ по формуле (55):

$$R_с = 1/(29,4+4,7) = 0,029 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}.$$

Определяем $(t_п - \tau_в)_с$ по формуле (54):

$$(t_в - \tau_в)_с = \frac{0,029(20+28)}{0,39 - 0,114 + 0,029} = 4,5° \text{ С}.$$

Определяем теплопотери $Q_с$ по формуле (56):

$$Q_с = (29,4+4,7)4,5\cdot 1,4\cdot 1 = 218 \text{ Вт}.$$

Находим $x_{о.к}$ по формуле (57):

$$x_{о.к} = 58\cdot 2,4^2\cdot 0,05/13,1^{2/3} = 3 \text{ м}.$$

Находим $(t_в - \tau_в)_{в.о}$:

$$(t_в - \tau_в)_{в.о} = 13,1/2+4,5/2 = 8,8° \text{ С}.$$

По формулам (58) и (59) находим $\bar{\alpha}^к_{о.с}$ и $\bar{\alpha}^к_{о.к}$:

$$\bar{\alpha}^к_{о.с} = 0,9\cdot 8,8^{1/3}\,(2,4\cdot 0,05)^{-0,13}\,[1+27,8(2,4\cdot 0,05)^{0,83}] = 8,2 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)};$$

$$\bar{\alpha}^к_{о.к} = 32,2\cdot 8,8^{1/3}\,(2,4\cdot 0,05)^{0,7}\,[1+0,013(2,4\cdot 0,05)^{-0,7}] =$$
$$= 8 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

По формуле (60) находим теплопотери $Q_{в.о}$:

$$Q_{в.о} = [(8,2+4,7)(2,2-1,4)+(8+4,7)(3-2,2)]8,8\cdot 1 = 183 \text{ Вт}.$$

Определяем теплопотери $Q_к$ по формуле (61), предварительно определив $\bar{\alpha}_к$:

$$\bar{\alpha}_к = 1,68\cdot 13,1^{1/3} = 3,9 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)};$$
$$Q_к = (3,9+4,7)13,1(10-3)1 = 788 \text{ Вт}.$$

Определяем общие теплопотери окна по формуле (62):

$$Q = 218+163+788 = 1189 \text{ Вт}.$$

Пример 2. С помощью струи воздуха требуется защитить внутреннюю поверхность однослойного окна от выпадения конденсата. Высота окна 3 м; толщина стекла 10 мм; $\lambda = 0,8$ Вт/(м·°С); $t_н = -20°$ С; $t_в = 20°$ С; кратность воздухообмена в помещении составляет 1 об/ч; влаговыделения малые (8 г/м³).

По табл. 10 определяем относительную влажность внутреннего воздуха: $\varphi_в = 53\%$. По табл. 9 определяем температуру точки росы: $\tau_р = 10°$ С.

Принимаем ширину щели сопла $b_0 = 10$ мм и находим скорость истечения струи из сопла:

$$u_0 = 0{,}58/0{,}01^{1/2} = 5{,}8 \text{ м/с}.$$

По формуле (51) определяем место отрыва струи от стенки:

$$x_{0.c} = 27 \cdot 5{,}8^2 \cdot 0{,}01/10^{2/3} = 1{,}95 \text{м}.$$

По формуле (63) находим:

$$4{,}7(t_m - \tau_в) + 1{,}56(5{,}8 \cdot 0{,}01)^{-0{,}13} \times (t_m - \tau_в)^{4/3} = \frac{10+20}{0{,}01/4{,}8+0{,}043};$$

$$(t_m - \tau_в) = 16^\circ \text{ C}.$$

По формуле (64) вычисляем температуру в устье струи:

$$t_0 = 10 + 0{,}28 \cdot 16 \left(\frac{1{,}95}{0{,}01}\right)^{1/2} = 62^\circ \text{ C}.$$

Средние коэффициенты конвективного теплообмена:

$$\bar{\alpha}_c^к = 172 \frac{(5{,}8 \cdot 0{,}01)^{0{,}87}}{1{,}95}\left[0{,}12\left(\frac{1{,}95}{0{,}01}\right)^{0{,}5} + 1\right] =$$

$$= 20{,}1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)};$$

$$\bar{\alpha}_{0.c}^к = 0{,}9(20-10)^{1/3} (5{,}8 \cdot 0{,}01)^{-0{,}13} [1 + 27{,}8(5{,}8 \cdot 0{,}01)^{0{,}83}] =$$

$$= 10{,}5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Находим средний температурный напор $(t_m - \tau_в)_{ср}$:

$$(t_m - \tau_в)_{ср} = \frac{(62+10)}{195}[1 + 7{,}2(195^{1/2} - 3{,}6)] = 20{,}3^\circ \text{ C}.$$

Общие теплопотери равны:

$$Q_{общ} = [(47 + 20{,}3 \cdot 1{,}93 + (47 + 10{,}5)10(3 - 1{,}95)]1 = 1200 \text{ Вт}.$$

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКОН ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Техническая документация	Тип окна и его краткая характеристика	Количество		Приведенное термическое сопротивление, м²·°С/Вт	Значение коэффициента B	Коэффициент светопропускания, %	Средняя звукоизолирующая способность	Приведенные затраты на окно 12-этажного здания, руб/(м²·год)
		стекол	уплотняющих прокладок				снижение шума, дБА	
ГОСТ 11214—65	Со спаренными переплетами, широкой и узкой створками на боковом подвесе	2	1	0,18	1,2	69	22/18	5,57
Альбом РМ 1018—03 (МНИИТЭП)	Со спаренными переплетами, створками на боковом подвесе, клапан горизонтальный на нижнем подвесе, по периметру межстекольной полости специальная звукопоглощающая прокладка	3	2	0,23	2	54	33/29	6,9
Альбом РМ 1018-04 (МНИИТЭП)	Со спаренными переплетами, створки и вертикальный разрезной клапан на боковом подвесе, по периметру межстекольной полости специальная звукопоглощающая обкладка, стеклопакет из двух стекол	3	2	0,25	2	53	32/28	7,7
Альбом РМ 1018-00 (МНИИТЭП)	Со спаренными переплетами, широкой и узкой створками на боковом подвесе	2	2	0,19	1,75	63	34/31	8,8
Альбом ИД-61 (МНИИТЭП)	С одинарными переплетами равной ширины со стеклопакетами из двух стекол	2	1	0,2	1,2	67	30/25	6
Альбом ИД-63 (МНИИТЭП)	С раздельно-спаренными переплетами: в широкой створке три переплета, в узкой — два переплета	3	1	0,17	1,4	71	20/16	8,5
Альбом РМ 1018—08 (МНИИТЭП)	Деревоалюминиевые окна со спаренными переплетами (внутренний — деревянный, наружный — алюминиевый)	3	1	0,24	1,4	50	29/26	8,8

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОКОН ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Требуется определить оптимальное соотношение площади световых проемов и глухой части наружных стен, а также количество слоев остекления окон и оптимальное сопротивление теплопередаче глухих частей стен со светопроемами при минимальных приведенных затратах.

Многоэтажное здание с высотой этажа 6,4 м расположено в Москве. Наружные стены из керамзитобетонных панелей ($\gamma = 1800$ кг/м^3), офактуренных цементно-песчаным раствором толщиной по 2 см с каждой стороны. Рассматриваемое помещение имеет боковое одностороннее освещение, световые проемы ориентированы на запад. Размер помещения в плане 30×16 м. В помещении выполняются зрительные работы IV разряда, нормированное значение КЕО при совмещенном освещении $e_н^{III} = 0{,}9\%$ и $E_и = 200$ лк при искусственном освещении согласно СНиП II-4-79, табл.1.

Температура воздуха в помещении в зимний период $t_в^з = 20°$ С, в летний — $t_з^л = 25°$ С. Расчетные избытки тепла от производственных процессов составляют $q_{пр} = 0{,}6$ Вт/м^3. Режим работы производства двухсменный, $d = 16$ ч. Коэффициент, учитывающий количество нерабочих дней в течение года, $f = 0{,}7$.

Стоимость 1 м^3 слоя керамзитобетона и 1 м^2 фактурных слоев определена по прейскуранту 06-08 (п. 1.34) и составила соответственно $С_{игл} = 50$ руб/м^3, $С_р = 0{,}8$ руб/м^2. Коэффициент теплопроводности керамзитобетона равен: $\lambda_и = 0{,}45$ Вт/(м·°С), термическое сопротивление фактурных слоев $\rho_{гл} = 0{,}043$ м^2·°С/Вт.

В качестве заполнения световых проемов использованы стальные окна серии 1.436-4. Стоимость 1 м^2 оконного блока для конструкций с однослойным остеклением составляет 6,46 руб/м^2, двухслойным — 16,14 руб/м^2, трехслойным — 22,36 руб/м^2. Сопротивление теплопередаче окна с одним слоем остекления $R_{о.ок} = 0{,}163$ м^2·°С/Вт, с двумя слоями — $R_{о.ок} = 320$ м^2·°С/Вт и тремя слоями — 0,465 м^2·°С/Вт. Коэффициент n для этих конструкций окон равен соответственно 6,13, 3,13 и 2,15.

Для отопления помещения в зимний и вентиляции в летний периоды предусмотрена система воздушного отопления, совмещенная с вентиляцией. Удельная стоимость устройства этой системы $b = 0{,}005$ руб/Вт. Температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_н^в = -25°$С, вентиляции $t_н^{л.в} = 22{,}3°$ С, $t_н^{з.в} = -14°$ С по СНиП II-33-75. Продолжительность отопительного периода $Z_{от} = 205$ сут, средняя температура отопительного периода $t_{н.от.п} = -3{,}2°$ С согласно СНиП II-А.6-72. Удельный расход воздуха на приточную вентиляцию $N_{п.в} = 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ кВт·ч/^{3}, вытяжную — $N_{в.в} = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ кВт·ч/м^3.

Среднее значение интенсивности суммарной солнечной радиации за вентиляционный период ($t_н \geqslant 20°$ С) на вертикальную поверхность, усредненное по различным направлениям с учетом действительной облачности: $Q_{ср}^в = 119{,}8$ Вт/м^2. По СНиП II-33-75,

Таблица 1

Часы суток	Наружная естественная освещенность e, лк											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	800	200	1600	1200	800	0	0	0	0
6	0	0	0	1400	2100	2800	2100	1400	600	0	0	0
7	0	500	1000	2650	3500	4300	3500	2650	1700	1000	500	0
8	0	900	1800	3700	4650	5600	4650	3700	3000	1800	900	0
9	600	1900	3200	5000	5900	6800	5900	5000	4200	3200	1900	600
10	1200	2650	4100	5850	6750	7600	6750	5850	5100	4100	2650	1200
11	1500	3000	4500	6300	7200	8100	7200	6300	5700	4500	3000	1500
12	1600	3250	4900	6600	7450	8300	7450	6600	5800	4900	3250	1600
13	1500	3200	4900	6500	7300	8100	7300	6500	5600	4900	3200	1500
14	1200	2750	4300	6000	6850	7700	6850	6000	4900	4300	2750	1200
15	400	2000	3600	5250	6000	6800	6000	5250	4100	3600	2000	400
16	0	1100	2200	3900	4750	5600	4750	3900	2600	2200	1100	0
17	0	700	1400	2350	3300	4300	3300	2350	1500	1400	700	0
18	0	0	0	1300	1950	2600	1950	1300	100	0	0	0
19	0	0	0	800	1200	1600	1200	800	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

табл. 4 и 5, прил. 12, коэффициенты k_1 и k_2 соответственно равны 0,72 и 0,9. Коэффициент m_l, учитывающий влияние теплоизбытков на температуру воздуха в рабочей зоне, равен 0,5.

Расчет естественной освещенности для условий Москвы производился по облачному небу. Значения среднемесячной естественной освещенности в зависимости от часа суток приведены в табл. 1. Стоимости тепловой и электрической энергии для условий Москвы соответственно равны: $C_{т.э}$ =0,013 руб/кВт·ч и $C_{э.э}$ =0,03 руб/кВт·ч. Обобщенная характеристика для установок с люминесцентными лампами, принятыми для освещения в рассматриваемом помещении, $m'=0{,}021\cdot10^{-3}$ кВт·ч с учетом потерь в ПРА и сети.

В результате расчета по программе для ЭВМ М-4030, приведенной выше, получены значения приведенных затрат при устройстве окон с одно-, двух- и трехслойным остеклением для рассматриваемого здания. В табл. 2 указаны значения приведенных затрат при различной высоте (площади) световых проемов.

На основании данных расчета оптимальная высота окна, соответствующая минимальным приведенным затратам, находится в интервале от 0,6 до 2 м при применении окон с трехслойным остеклением и от 0,6 до 1,4 — с двухслойным остеклением. В условиях Москвы устройство окон с двух- и трехслойным остеклением для рассматриваемого здания является равноэкономным по приведенным затратам (расхождение в пределах 1%). Учитывая в перспективе изменение тарифов на тепловую и электрическую энергию, це-

Таблица 2

$H_{ок}$, м	Приведенные затраты П руб/(м²·год), при устройстве окон с остеклением		
	однослойным	двухслойным	трехслойным
5	8,94	7,34	7,07
3,8	8,23	7,05	6,84
2	7,22	6,63	6,57
1,4	6,93	6,56	6,55
0,6	6,69	6,54	6,54

лесообразно применять при устройстве окон трехслойное остекление. Таким образом, для рассматриваемого здания оптимальная площадь световых проемов составляет 10—30% площади наружных стен, при этом сопротивление теплопередаче окна $R_{о\,ок}$ =0,465 м²·°С/Вт и сопротивление теплопередаче глухих участков стен $R_{о.ст} = R^{тр}_{о\,ст}$ =0,716 м²·°С/Вт.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 3

1. Общие положения 4
2. Конструкции светопрозрачных ограждений и требования, предъявляемые к ним и внутреннему микроклимату помещений 4
3. Светотехнический и теплотехнический расчет светопрозрачных конструкций 14
4. Расчет светопрозрачных конструкций при установке под ними нагревательных приборов 28
5. Расчет светопрозрачных конструкций при тепловой защите внутренней поверхности остекления струями воздуха . . 34
6. Расчет звукоизоляции окон 37
7. Технико-экономическая оценка эффективности применения светопрозрачных конструкций 39

Приложение 1. Единая номенклатура окон для всех видов зданий 51

Приложение 2 Светотехнический и теплотехнический расчет окон при температуре наружного воздуха $t = -26°$ С (Москва) 55

Приложение 3. Светотехнический и теплотехнический расчет зенитных фонарей при температуре наружного воздуха $t_н = -18°$ С (Ташкент) 62

Приложение 4. Результаты расчета на ЭВМ окон при устройстве под ними нагревательных приборов 66

Приложение 5. Теплотехнический расчет зенитного фонаря при обогреве подфонарного пространства 78

Приложение 6. Теплотехнический расчет окон при тепловой защите поверхности остекления струями воздуха 79

Приложение 7. Технико-экономические характеристики окон жилых зданий 82

Приложение 8. Результаты расчета на ЭВМ эффективности применения окон промышленных зданий при совмещенном освещении 84

Нормативно-производственное издание

НИИСФ ГОССТРОЯ СССР

Рекомендации
по расчету светопрозрачных конструкций зданий с учетом светотехнических, теплотехнических, звукоизоляционных качеств и технико-экономических показателей

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л. Г. Бальян
Редактор Е. А. Волкова
Мл. редактор Л. Н. Козлова
Внешнее оформление художника
Художественный редактор
Технический редактор М. В. Павлова
Корректор А. В Федина
Н/К

Сдано в набор 18.02.86 Подписано в печать 16.06.86.
Формат 60×90¹/₁₆ Бумага тип. № 2 Гарнитура «Литературная»
Печать офсетная Усл. печ. л. 5,5 Усл. кр.-отт. 4,83
Уч.-изд. л. 5,27 Тираж 15 000 экз. Изд. № XII-58 Зак. 368 Цена 25 коп.

Фабрика «Картолитография», Москва, 2525200, ул. Зорге, 15
Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а
Перепечатано в отделе полиграфии
Информэлектро. Зак. 3081

gost.e-ecolog.ru