

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

В.Н. Куприянов, Ф.Р. Седова

**Энергетический метод нормирования и расчета
инсоляции жилых помещений**

Учебно-методическое пособие для магистров по направлениям подготовки
07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство»

Казань
2016

УДК 721.012.22

ББК 38.113

К92

Куприянов В.Н., Седова Ф.Р.

К92 Энергетический метод нормирования и расчета инсоляции жилых помещений: Учебно-методическое пособие для магистров по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство» / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Седова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. – 38 с.

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

В данном пособии изложен авторский подход к формированию учебной литературы для магистров, заключающийся не в изложении некоторой суммы знаний, а в побуждении обучающихся к получению новых знаний как это и предписано в образовательных стандартах для магистров

На примере раздела строительной физики по инсоляции помещений представлены методологические приемы углубления исследований физических процессов, происходящих в помещениях жилых зданий при их взаимодействии с климатическими факторами.

В результате такого подхода возникают новые предложения по совершенствованию действующих методов и норм проектирования архитектурной среды.

Пособие предназначено для магистров и аспирантов, обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство».

Ил. 24; табл. 10; библиогр. 22 наименов.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры Проектирование зданий

И.Ш. Сафин

Кандидат архитектуры, профессор кафедры ТИПРА

И.Н. Агишева

УДК 721.012.22

ББК 38.113

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2016

© Куприянов В.Н., Седова Ф.Р.,
2016

Оглавление

Предисловие.....	4
Введение.....	5
1. Метод СанПиН по оценке инсоляции помещений.....	5
2. Неопределенности и неточности действующего метода СанПиН по оценке инсоляции.....	8
3. Пути совершенствования исходных параметров для расчета инсоляции.....	10
3.1. Установление и обоснование наиболее эффективного диапазона длин волн солнечного спектра.....	10
3.2. Установление видов микроорганизмов, наиболее распространенных в жилых помещениях.....	15
3.3. Установление требуемого (нормируемого) уровня бактерицидной эффективности (санации) УФ облучения жилых помещений.....	16
4. Прозрачность оконных стекол к УФ радиации.....	18
4.1. Прозрачность оконных стекол к характерным длинам волн УФ радиации.....	18
4.2. Прозрачность оконных стекол при различных углах падения солнечного луча.....	21
5. Энергетический метод расчета инсоляции жилых помещений.....	27
6. Пример расчета инсоляции помещения с использованием компьютерной программы «РаИн 2013».....	33
Список литературы.....	37

Предисловие

В настоящее время в преподавательском сообществе нет однозначного мнения в методологическом вопросе об уровне, методах и объемах учебной работы бакалавров и магистров. В каждом вузе эти проблемы решаются по-разному. В настоящей работе предлагается один из возможных путей решения обозначенной проблемы, который основан на анализе Федеральных образовательных стандартов, а именно: на анализе характеристик профессиональной деятельности, в результате которой:

- **бакалавры** изучают действующие расчетные программы, действующие методы проектирования и действующие нормативные документы: СНиП, СП, СанПиН, ГОСТ, СТО.

- **магистры** изучают современные методы исследования, нестандартные расчетные программы и методы проектирования, разрабатывают новые программы и методы, математические модели физических процессов в городской среде, в зданиях, в помещениях зданий и в ограждающих конструкциях, разрабатывают новые материалы и конструкции.

То есть бакалавры готовятся для практической деятельности как исполнители, они не ориентированы на создание новых знаний. Магистры готовятся для творческой деятельности, в их обучении должна присутствовать технология синтеза новых знаний.

Из этих предпосылок и должна формироваться как основная образовательная программа, так и учебная литература для магистров. Учебные материалы для магистров должны содержать не определенную сумму знаний, обязательную для освоения, а побуждать обучающегося к творческому поиску, содержать алгоритмы и примеры поиска неизвестных физических процессов, новых методов расчета, новых конструкций и т.д.

С учетом вышеизложенного, на примере раздела строительной физики по инсоляции помещений, представлены алгоритмы и приемы совершенствования действующих методов СанПиН и норм проектирования инсоляции жилых помещений, которые основаны на детальном анализе физических процессов, возникающих при взаимодействии климатических факторов с биологической средой помещений зданий.

Введение

Солнечный свет является важнейшим элементом в жизнедеятельности человека, в связи с чем нормы проектирования зданий предусматривают обязательное облучение помещений определенного назначения прямым солнечным светом. Проектирование и расчет инсоляции базируется на предписаниях Витрувия: «В жилищах, куда редко заглядывает солнце, часто бывает врач» и русского гигиениста Эрисмана: «Отсутствие солнечного света в жилищах действует весьма пагубно на здоровье человека».

1. Метод СанПиН по оценке инсоляции помещений

Инсоляция помещений обеспечивает в них безопасные санитарно-гигиенические условия, поскольку вызывает гибель болезнетворных бактерий и вредных микроорганизмов, а также оказывает положительное психофизиологическое воздействие на человека.

«Выполнение требований норм инсоляции достигается размещением и ориентацией зданий по сторонам горизонта, а также их объемно-планировочными решениями» (п. 2.2 СанПиН [21]).

Нормативными документами определен перечень зданий, помещений и территорий, где обеспечение требуемой продолжительности инсоляции является обязательным.

В жилых зданиях продолжительность инсоляции должна быть обеспечена не менее чем в одной комнате в 1–3-комнатных квартирах и не менее чем в двух комнатах в 4-комнатных (и более) квартирах.

В зданиях общежитий и лечебно-профилактических учреждениях должно инсолироваться не менее 60 % комнат или палат.

В общественных зданиях продолжительность инсоляции должна быть обеспечена в основных функциональных помещениях, к которым относятся: групповые, игровые, изоляторы, палаты, классы и учебные кабинеты.

В основу первых отечественных норм по инсоляции положены микробиологические исследования. Были исследованы культуры кишечной палочки и белого стафилококка, как наиболее распространенных микроорганизмов в жилых помещениях. В результате исследований было установлено, что исследованные культуры полностью стерилизуются после 3–4 часов облучения солнечной радиацией. Таким образом, в первых отечественных нормах по инсоляции 1963 года введена **непрерывная продолжительность инсоляции, равная 3 часам**.

Вместе с тем продолжительность инсоляции является фактором, который влияет на плотность застройки, особенно в крупных городах с высокой стоимостью земельных участков.

В связи с этим, сразу после утверждения первых отечественных норм по инсоляции, нормируемая продолжительность облучения прямым солнечным светом (3 часа) стала сокращаться в угоду инвесторам и застройщикам с целью уплотнения застройки, следовательно, снижалась нормативная продолжительность инсоляции. Со стороны инвесторов и застройщиков мотивация понятна – получение максимальной прибыли с квадратного метра городских территорий, особенно в центральных частях городов. Со стороны гигиенической науки и жителей эта тенденция – неправильная, вредная и приводит к тяжелым социальным последствиям.

За период времени с 1963 года по настоящее время исчезло требование непрерывного облучения, а его продолжительность снижена вдвое. Эта тенденция весьма опасна, она способствует появлению жилья низкого качества без обеспечения санитарно-гигиенических требований.

В СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 [21] нормативная продолжительность инсоляции устанавливается на следующие календарные периоды с учетом географической широты местности:

- для северной зоны (севернее 58° с.ш.) – с 22 апреля по 22 августа, не менее 2,5 часов в день;
- для центральной зоны (48° с.ш. – 58° с.ш.) – с 22 марта по 22 сентября, не менее 2,0 часов в день;
- для южной зоны (южнее 48° с.ш.) – с 22 февраля по 22 октября, не менее 1,5 часов в день.

Расчет продолжительности инсоляции проводится на день начала периода или день его окончания. В расчетах продолжительности инсоляции не учитывается первый час после восхода солнца и последний час перед заходом солнца для районов южнее 58° с.ш. и 1,5 часов – для районов севернее 58° с.ш.¹

Инструменты по проектированию и расчету инсоляции

В отечественной и зарубежной практике существует большое количество методов и инструментов по проектированию и расчету инсоляции. Наибольшее применение в отечественной практике получили следующие инструменты: солнечная карта, а также солнечные линейки, инсографик Дунаева и картограммы затеняющих объектов или светопроемов.

Наибольшее распространение получил инсографик Дунаева, который представляет собой объединение двух чертежей: часть солнечной карты с проекцией солнечных лучей на горизонтальную плоскость в каждый час суток (радиальные линии, сходящиеся в точке О) и система

¹ Некоторые авторы рекомендуют не учитывать инсоляцию при высоте стояния солнца менее $10-12^{\circ}$.

параллельных линий, представляющая собой масштабную шкалу теней (рис. 1).

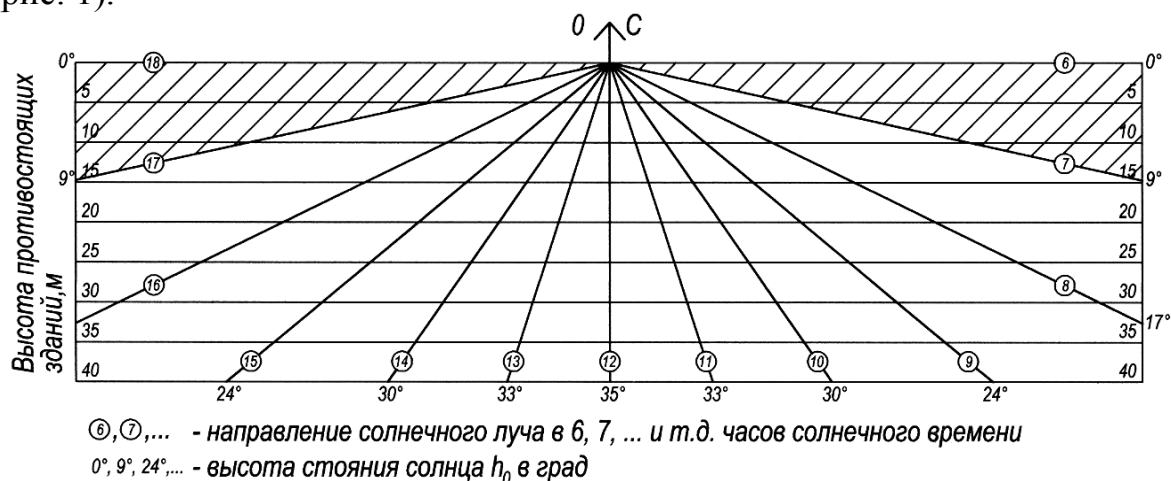


Рис. 1. Инсографик Дунаева

Для центральной зоны России ($48^0 - 58^0$ с.ш.) расчетной датой являются 22.03 или 22.09, то есть день весенне-осеннего равноденствия. В этот день солнечные лучи, приходящие к наблюдателю (или объекту) лежат в одной плоскости. Это означает, что в течение дня вершина тени от стержня, установленного в т. О., будет перемещаться строго по линии запад – восток, а направление тени от стержня в каждый час суток совпадает с линией проекции солнечного луча на горизонтальную плоскость в этот же час, при этом протяженность теней будет различной. Максимальное значение высоты стояния солнца h_0 будет в 12 часов солнечного времени, следовательно, тень от стержня в этот час будет минимальной протяженности.

Определение продолжительности инсоляции помещений с использованием инсографика Дунаева. Для этих целей на генплане участка застройки определяют положение расчетной точки у проектируемого здания. Нулевую точку инсографика (точка О) совмещают с расчетной точкой проектируемого здания, а ось инсографика ориентируют по направлению север – юг (рис. 2).

На рис. 2а представлена схема определения инсоляции помещения для отдельно стоящего здания, а на рис. 2б – для здания в застройке.

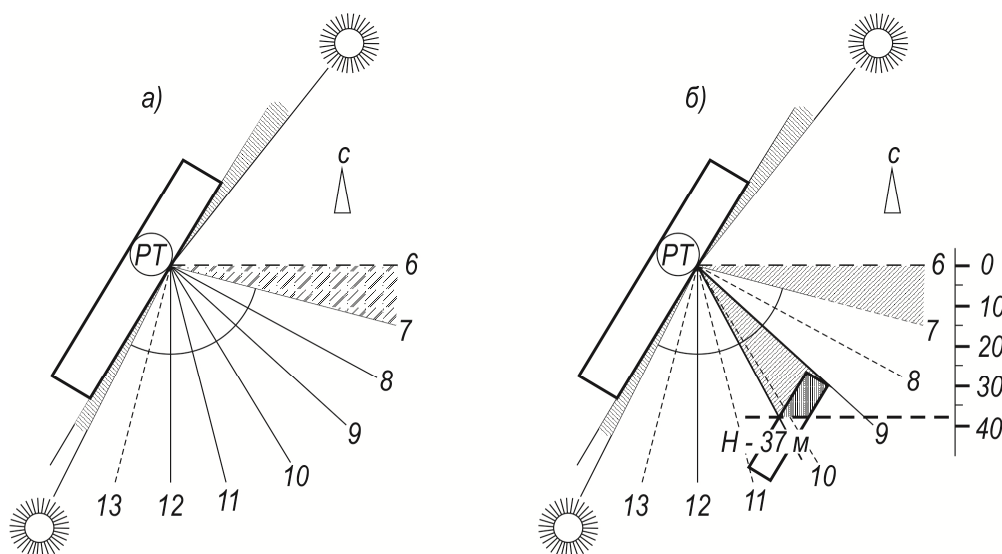


Рис. 2. Схемы определения продолжительности инсоляции помещений в проектируемых зданиях: а) – для отдельно стоящего здания, б) – для здания в застройке

В схеме рис. 2а облучение помещения протекает без ограничений в соответствии с горизонтальными инсоляционными углами, продолжительность инсоляции РТ составляет 6 час 30 мин. При наличии противостоящих зданий (рис. 2б) требуется учет вертикальных инсоляционных углов. Затенение РТ от противостоящих зданий зависит от высот этих зданий и их расстояния до проектируемого здания. На рис. 2б противостоящее здание имеет высоту $H = 37$ м, и в соответствии с масштабной шкалой теней (условным масштабом высот здания) точка на цоколе проектируемого здания, которая расположена ближе 37 м до проектируемого здания, будет затенена. Таким образом, по схеме рис. 2б инсоляция РТ будет прерывистой, а общая продолжительность составит 5 часов 15 мин.

2. Неопределенности и недостатки действующего метода СанПиН по оценке инсоляции

Снижение нормативной продолжительности инсоляции помещений и введение в нормы прерывистости облучения в угоду повышению плотности застройки стало возможным потому, что продолжительность облучения в часах не является однозначной количественной мерой. Анализ действующих методов по оценке инсоляции помещений позволил выявить ряд неопределенностей и недостатков:

1. Равная продолжительность облучения помещений в разные часы суток привнесет в них различную по величине солнечную энергию, следовательно, и разный уровень санации помещений. На рис. 3. представлен приход солнечной радиации по часам суток к фасадам различных ориентаций.

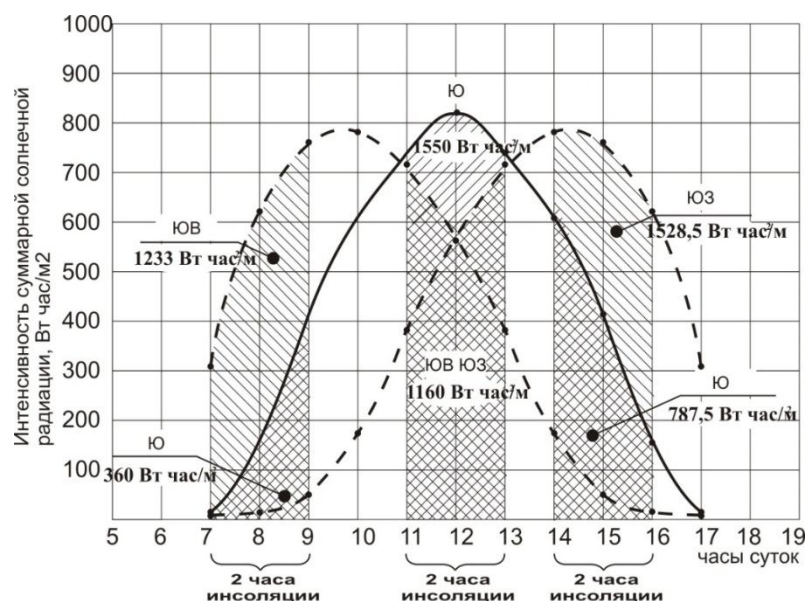


Рис. 3. Интенсивность суммарной солнечной радиации по часам суток 22.03, Вт·час /м² (56⁰ с.ш.)

Можно видеть, что количество солнечной энергии за два часа облучения (доза) различается в 1,5 ÷ 4.0 раза. Однако действующие нормы не оперируют понятием «доза облучения», что сделало бы норму инсоляции однозначной количественной мерой.

2. Продолжительность облучения помещений не привязана к уровню санации помещений.

3. Не установлен требуемый (нормируемый) уровень санации помещений.

4. В действующих нормах предполагается, что вся солнечная энергия, пришедшая в створ оконного проема, окажется в помещении. Это не так, поскольку любая прозрачная система, в соответствии с физическими законами отражает, поглощает и пропускает солнечные лучи. Особенно остро эта проблема проявилась в связи с использованием энергосберегающих окон, в которых применены специальные стекла с различными покрытиями. Действующие нормы не учитывают прозрачность стекол к солнечной радиации.

5. Действующие нормы не учитывают размер помещения, хотя очевидно, что одинаковая энергия облучения, распределенная по различным объемам и поверхностям помещения, приведет к различной удельной дозе облучения, а следовательно, к различному уровню их санации.

Устранение отмеченных неопределенностей и недостатков действующих нормативных документов позволит разработать рекомендации по совершенствованию нормирования и расчета инсоляции помещений.

3. Пути совершенствования исходных параметров для расчета инсоляции

В предыдущем разделе было показано, что продолжительность солнечного облучения помещений в часах не является однозначной количественной мерой, поскольку солнечная энергия, приходящая в помещения в разные часы суток, будет различной. Следовательно, saniрующие действия облучения также будут различными.

Если за период облучения обеспечить такую дозу солнечной энергии, которая приведет к требуемому уровню санации помещений, то можно говорить об однозначной количественной мере инсоляции.

Для определения дозы солнечной радиации необходимо определить ряд показателей:

1. Установить диапазон длин волн солнечного спектра, который вызывает гибель микроорганизмов, поскольку не все диапазоны солнечного спектра несут энергию, достаточную для санации микрофлоры.

2. Установить виды микроорганизмов, которые наиболее распространены в жилых помещениях, поскольку известно, что различные виды микроорганизмов погибают после получения различной энергетической дозы облучения.

3. Установить требуемый уровень бактерицидной эффективности облучения (санации) жилых помещений, поскольку в помещениях различного назначения требуется различный уровень бактерицидной эффективности. Под уровнем бактерицидной эффективности следует понимать снижение микробной обсемененности воздушной среды помещения и его поверхностей в результате облучения солнечной радиацией. Измеряется в процентах, как отношение числа погибших микроорганизмов к их начальному числу.

3.1. Установление и обоснование наиболее эффективного диапазона длин волн солнечного спектра

На рис. 3 приведен суточный ход интенсивности суммарной солнечной радиации. В этой энергии отражен вклад инфракрасного диапазона солнечного спектра ИК (длина волны более 780 нм), видимой части (400–780 нм) и ультрафиолетового диапазона, УФ (200–400 нм).

Известно, что ультрафиолетовый участок (УФ) солнечного спектра (200–420 нм) является наиболее губительным для микрофлоры, поскольку несет наибольшую энергию. Однако с точки зрения воздействия на микроорганизмы, УФ радиация также не является однозначной: диапазон УФ-А (320–420 нм) оказывает эритемное, загарное и общестимулирующее воздействие; УФ-В (280–320 нм) – небольшое бактерицидное и частично

эритемное; УФ-С (200–280 нм) – максимальное бактерицидное воздействие. В указанных диапазонах УФ радиации существуют характерные длины волн, которые имеют избирательное воздействие на микрофлору: 297 нм – эритемный и антирахитный эффект, 280 нм – на кишечную палочку, 254 нм – максимальное воздействие на большинство микроорганизмов. В связи с этим радиационная микробиология вводит понятие относительной бактерицидной эффективности различных длин волн УФ спектра, которая измеряется коэффициентом ОБактЭ.

Таблица 1

Коэффициенты относительной бактерицидной эффективности облучения (ОБактЭ)

Длина волны, нм	320	300	280	254	220	180	100
Коэффициент ОБактЭ	0,02	0,08	0,45	1,0	0,84	0,76	0,74

Из табл. 1 видно, что энергия волн 254 нм принята за 1,0, а при увеличении и уменьшении длины волны бактерицидная эффективность энергии снижается. При длине волны 320 нм (верхняя граница диапазона УФ –В) коэффициент ОБактЭ равен 0,02, то есть эта волна несет всего 2 % бактерицидной энергии УФ радиации. Таким образом, наиболее действенными являются диапазоны В и С УФ радиации, которые и следует учитывать при расчетах дозы облучения.

Доза облучения определяется произведением интенсивности УФ радиации (мВт/м^2) на продолжительность облучения (часы). Для оценки дозы облучения необходима информация по суточному ходу интенсивности УФ радиации диапазона (В+С) в различные месяцы года для различных городов и населенных пунктов страны.

В справочной актинометрической УФ радиация диапазона (В+С) не носит систематического характера, что затрудняет ее использование в расчетах инсоляции.

Во множестве работ по исследованию старения материалов при воздействии солнца отмечается, что УФ радиация солнца короче 300 нм не доходит до поверхности земли из-за поглощения ее озоном и кислородом в верхних слоях атмосферы. Из этого следует, что микроорганизмы не должны гибнуть при их облучении солнцем. Однако в микробиологических исследованиях Беликовой В.К., Данцига Н.М. и других приводятся результаты о гибели тест-микроорганизмов при облучении их солнцем даже через оконное стекло [2, 3, 7]. Исследование этого несоответствия позволило установить, что в городах, особенно крупных, загрязнение атмосферы промышленными выбросами, особенно фреоном, приводит к разрушению озона и утоньшению озонового слоя атмосферы. По этой причине к поверхности земли проникают более

короткие длины волн [19]. Это подтверждается данными рис. 4, на котором приведен спектр УФ радиации солнца в декабре месяце в 14⁰⁰ в Санкт-Петербурге, полученный на спектрорадиометре НТП «ТКА» сотрудниками научно-технического предприятия «ТКА». Можно видеть, что в УФ спектре солнца присутствуют длины волн 220 – 240 нм.

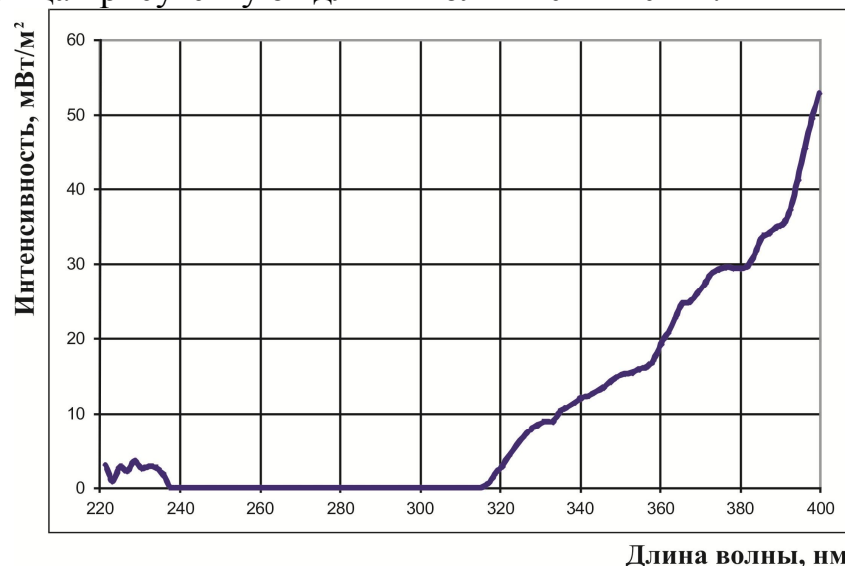


Рис. 4. Спектр УФ радиации солнца в Санкт-Петербурге, полученный на спектрорадиометре НТП «ТКА» 17.12.12 в 14⁰⁰

Получение подобных спектров по часам суток хотя бы в характерные дни года как это предписано нормами по инсоляции (для зоны южнее 48°с.ш. 22.02; для центральной зоны 48-58°с.ш. 22.03 и для зоны севернее 58°с.ш. 22.04), создаст базу для развития энергетического метода расчета инсоляции.

Усредненный график зависимости интенсивности УФ радиации (В+С) в характерные дни года позволяет создать математическую модель солнечного спектра на основе оцифрованного графика спектра в программе Grafula и Origin Pro. Математическая модель имеет вид:

$$f(x) = y_0 + \left(\frac{A_1}{w_1 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - xc_1}{w_1} \right)^2 \right) + \left(\frac{A_2}{w_2 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - xc_2}{w_2} \right)^2 \right) + \left(\frac{A_3}{w_3 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - xc_3}{w_3} \right)^2 \right) + \left(\frac{A_4}{w_4 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - xc_4}{w_4} \right)^2 \right) + \left(\frac{A_5}{w_5 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - xc_5}{w_5} \right)^2 \right) + \left(\frac{A_6}{w_6 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - xc_6}{w_6} \right)^2 \right) \quad (1)$$

где $f(x)$ – интенсивность солнечной радиации (Вт/м²) при длине волны, равной x (нм).

Таблица 2

Переменные функции $f(x)$ (1)

y0	-0,44167				
xc1	269,77093	xc3	377,69694	xc5	586,71875
w1	12,53976	w3	157,38127	w5	294,51633
A1	-5505,6969	A3	8007,35341	A5	9380,88075
xc2	269,90772	xc4	515,97423	xc6	933,99184
w2	12,55433	w4	82,78929	w6	476,87863
A2	5500,11838	A4	1273,36013	A6	10809,0148

Обработка графика интенсивности УФ радиации, представленного на рис. 5 по описанной методике, позволила получить новый график интенсивности (кривая 1, рис. 5) и количество солнечной энергии диапазона (B+C) за один час облучения (88 Вт/м²).

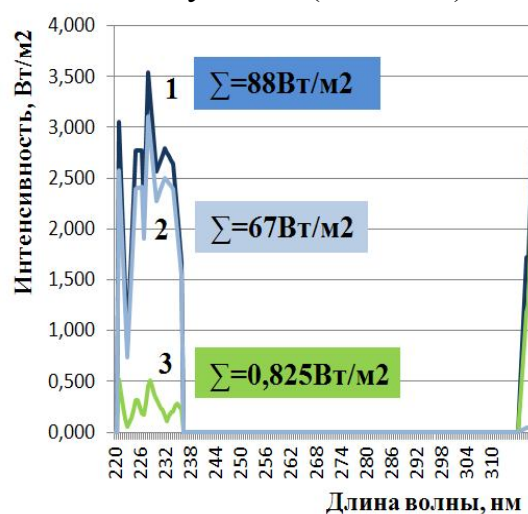


Рис. 5. Интенсивности солнечного спектра в диапазоне 220–320 нм (1), относительной бактерицидной эффективности солнечного спектра (2) и бактерицидная эффективность облучения, прошедшая через стекло (3)

Пересчетом этой интенсивности с учетом коэффициента ОБактЭ (табл. 2), то есть с учетом реального воздействия на микроорганизмы энергии различных длин волн получим кривую относительной бактерицидной эффективности этого участка спектра и величину энергии за один час (67 Вт/м²). Эта «бактерицидно-эффективная» энергия и требует учета при оценке доз УФ солнечной радиации.

Дальнейшее исследование (раздел 4.1) показали, что оконные стекла обладают различной прозрачностью для различных длин волн УФ спектра. Зная величину этой прозрачности по каждой длине волны с использованием описанной математической модели, можно оценить бактерицидную эффективность облучения, которое прошло через стекло Stopsol Classic Clear толщиной 4 мм (кривая 3 рис. 5). Энергия за один час в этом случае составляет 0,825 Вт/м².

Таким образом, разработан метод, позволяющий объективно оценить дозу УФ радиации в диапазоне (В+С), проходящей через стекло в помещение, которая и вызывает гибель бактерий и микроорганизмов.

Однако применение разработанного метода в настоящее время затруднительно в связи с отсутствием спектров УФ солнечной радиации диапазона (В+С) по городам и населенным пунктам страны.

В качестве альтернативы, до накопления указанных справочных данных, можно использовать таблицы по интенсивности УФ радиации, приведенные в [20]. В частности, табл. 7 этого пособия, где приведены данные по интенсивности УФ солнечной радиации с длиной волны менее 315 нм.

В качестве примера в табл. 3 приведен расчет по данным табл. 7 [20] для широты Казани (56°с.ш.), для дня весенне-осеннего равноденствия.

Таблица 3

Интенсивность УФ радиации солнца диапазона (В+С) для 56° с.ш.

Часы суток	Интенсивность радиации, мВт/м ²			
	Прямой на нормальную к лучам поверхность, J _{пр}		Рассеянной на горизонтальную поверхность, J _{рас}	
	март	сентябрь	март	сентябрь
12	126	224	302	648
11/13	100	194	282	612
10/14	62	140	214	496
9/15	16	66	112	342
8/16	0	18	46	170
7/17	0	0	0	45
6/18	0	0	0	0

Для методики СанПиН весеннее (22.03) и осеннее (22.09) равноденствие полностью аналогичные, так как азимуты (A₀) и высоты стояния солнца (h₀) в эти дни в каждый час суток совпадают. С точки зрения энергии УФ радиации в марте и сентябре, как следует из табл. 3, эти месяцы различаются существенно. Интенсивность прямой УФ радиации в сентябре в 2–7 раз превышает интенсивность в марте, следовательно, уровень санации помещений в сентябре будет значительно выше.

Следует отметить высокий уровень интенсивности рассеянной УФ радиации, который более чем в два раза превышает интенсивность прямой.

В работах [1, 4, 5, 18] показано, что не только прямая УФ радиация оказывает saniрующее действие на микроорганизмы, но также рассеянная и отраженная УФ радиация. Результаты этих работ указывают на необходимость учета как прямой, так и рассеянной УФ радиации при расчетах дозы облучения.

3.2. Установление видов микроорганизмов, наиболее распространенных в жилых помещениях

В воздухе и на поверхностях жилых помещений находится большое количество разнообразных микроорганизмов. Лукомская К.А. [16] отмечает, что в жилых помещениях находятся представители родов *Sarcina*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, а также споры плесневых грибов, актиномицетов и в редких случаях – патогенные бактерии. В [17] отмечается, что в жилых помещениях обнаруживается более 60 разновидностей микроорганизмов. В табл. 4 приведен перечень микроорганизмов находящихся в помещениях жилых и общественных зданий. Из той же таблицы следует, что доза УФ радиации будет различной как для обеззараживания воздуха помещений или его поверхностей, так и для различного уровня бактерицидной эффективности (санации) помещений. Указанные дозы УФ облучения резко различаются для различных микроорганизмов.

Большинство исследователей сходятся в том, что в жилых помещениях преобладают культуры кишечной палочки (*Escherichia Coli*), белого стафилококка (*Staphylococcus Albus*) и золотистого стафилококка (*Staphylococcus Aureus*) [4, 6, 8, 9]. Однако даже для этих микроорганизмов санирующие дозы УФ облучения будут различны (табл. 4). В связи с этим нормирование дозы УФ облучения целесообразно провести по максимальной энергии, при которой будет обеспечена гибель всех трех наиболее распространенных микроорганизмов – по энергии золотистого стафилококка.

Таблица 4

Дозы УФ облучения по объему помещений и его поверхностям для различного уровня бактерицидной эффективности

Вид микроорганизма	Н(s), Дж/м ²			Н(v), Дж/м ³		
	90%	95%	99,9%	90%	95%	99,9%
1	2	3	4	5	6	7
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	44	61	85	116	179	496
<i>Bacillus Anthracis</i>	45	63	87	118	185	507
<i>Bacillus Megatherium</i>	11	17	25	30	50	146
<i>Bacillus Megatherium</i> (spores)	273	357	520	718	1046	3032
<i>Bacillus Paratyphosus</i>	32	44	61	84	129	356
<i>Eberthella Typhosa</i>	21	29	41	55	85	239
<i>Escherichia Coli</i>	30	45	66	79	132	385
<i>Legionella bozemanii</i>	18	25	35	47	73	204
<i>Micrococcus Candidas</i>	60	86	123	158	252	717
<i>Micrococcus Pillionensis</i>	81	111	150	213	325	875
<i>Micrococcus Sphaeroides</i>	100	124	154	263	363	898

1	2	3	4	5	6	7
Mycobacterium Tuberculosis	54	74	100	142	217	583
Neisseria Catarrhalis	44	61	85	116	179	496
Salmonella	54	74	100	142	217	583
Salmonella Enteritidis	40	55	76	105	161	443
Salmonella paratyphi	23	38	61	60	111	356
Salmonella typhosa	22	37	60	58	108	356
Serratia Lutea	197	228	264	518	668	1539
Staphylococcus epidermidis	34	45	58	99	132	338
Staphylococcus Albus	33	44	57	87	129	332
Staphylococcus faecalis	54	74	100	168	217	583
Staphylococcus Aureus	49	57	66	130	167	385
Staphylococcus Hemolyticus	21	35	55	57	103	320
Streptococcus Viridans	20	28	38	53	82	222
Vibrio cholerae	35	48	65	92	141	378

3.3. Установление требуемого (нормируемого) уровня бактерицидной эффективности (санации) УФ облучения жилых помещений

В предыдущих разделах было показано, что продолжительность инсоляции, определенная по действующим нормам СанПиН, не привязана к уровню санации жилых помещений или, согласно терминам микробиологической науки, к уровню бактерицидной эффективности облучения.

В известных работах по инсоляции помещений и в исследованиях по влиянию солнечной радиации на микрофлору жилых помещений не обнаружено попыток по установлению уровня санации жилых помещений.

Для лечебно-профилактических учреждений такие работы известны. Существуют нормативные документы, в которых уровень бактерицидной эффективности установлен в зависимости от назначения помещений [19]. В табл. 5 приведена нижняя граница для патогенной микрофлоры – 70 %, то есть бактерицидная эффективность ниже 70 % (процент гибели микроорганизмов при облучении) является неэффективной.

Таблица 5

Уровень бактерицидной эффективности и объемной бактерицидной дозы для золотистого стафилококка в зависимости от категорий помещений ЛПУ

Кат.	Типы помещений	Бакт. эффек-ть, %, не менее	Объемная бакт. доза, Дж/м ³
1	2	3	4
I	Операционные, предоперационные, родильные, стерильные зоны, детские палаты роддомов	99,9	385
II	Палаты и отделения иммуноослабленных больных, палаты реанимационных отделений	99	256

1	2	3	4
III	Палаты, кабинеты и другие помещения ЛПУ (не включенные в I и II категории)	95	167
IV	Детские игровые комнаты, школьные классы, бытовые помещения промышленных и общественных зданий с большим скоплением людей при длительном пребывании	90	130
V	Курительные комнаты. Общественные туалеты и лестничные площадки помещений ЛПУ	85	105

Не имея других обоснований, в первом приближении предлагается отнести жилые помещения к VI категории, то есть принять в качестве нормируемого уровня нижнюю границу бактерицидной эффективности для патогенной микрофлоры – 70 %. Из табл. 5 следует, что этот уровень даже ниже, чем уровень для общественных туалетов и лестничных клеток лечебно-профилактических учреждений.

Нормативный уровень бактерицидной эффективности (70 %) позволяет оценить дозу УФ облучения, которая обеспечит этот уровень санации, на основании данных табл. 4. На рис. 6. приведена зависимость дозы УФ облучения от уровня бактерицидной эффективности. Сплошные линии построены по нормативным данным для лечебно-профилактических учреждений [19], а штриховые линии построены методом экстраполяции по эмпирическим расчетным формулам.

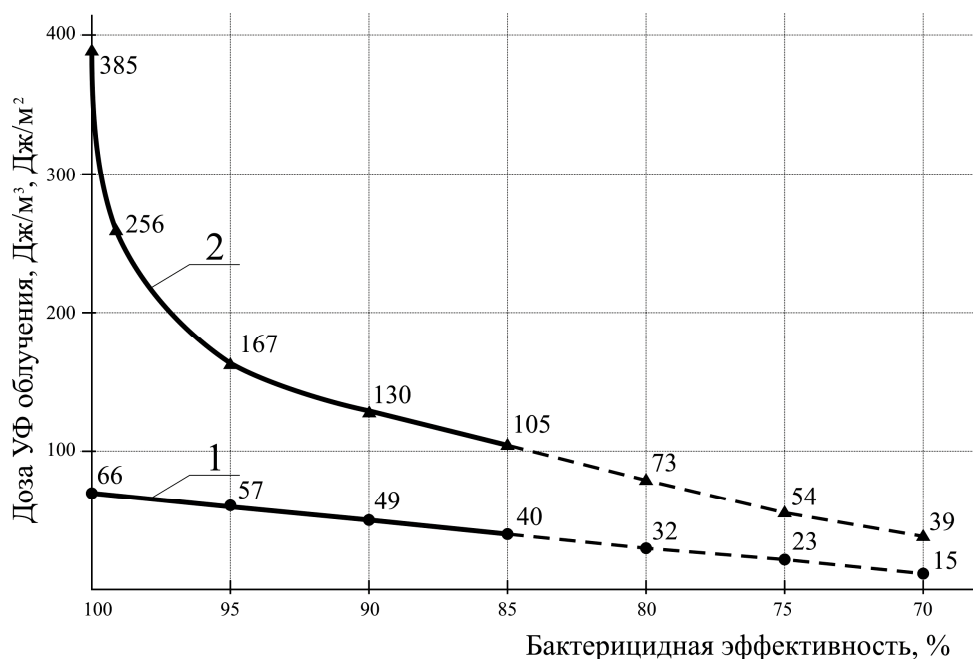


Рис. 6. Дозы УФ облучения для различных уровней бактерицидной эффективности для золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*): 1) – дозы на поверхностях помещения, Дж/м²; 2) – дозы в объеме воздуха помещения, Дж/м³

Таким образом, для обеспечения 70%-ного уровня бактерицидной эффективности при облучении жилых помещений УФ солнечной радиацией требуется обеспечить ее дозу в воздухе помещений – 39 Дж/м³ и на поверхностях помещения – 15 Дж/м².

4. Прозрачность оконных стекол к УФ радиации

Метод СанПиН полагает, что солнечная энергия, пришедшая к наружной поверхности окна, вся оказывается в помещении. Это не соответствует действительности, поскольку стекла, как прозрачные системы, отражают, поглощают и пропускают различное количество лучистой энергии. Эти факты не учитывают действующие методы СанПиН. При этом различные типы стекол имеют различную прозрачность к различным длинам волн солнечного спектра.

В связи с этим возникает ряд задач. Требуется оценить прозрачность стекол различных производителей к характерным длинам волн солнечного спектра для оценки относительной бактерицидной эффективности облучения, прошедшего через стекло, с использованием математической модели солнечного спектра.

Во второй задаче требуется оценить прозрачность различных типов стекол при различных углах падения солнечного луча на стекло, поскольку в зависимости от времени суток и ориентации окон по сторонам горизонта углы падения солнечного луча будут различными.

4.1. Прозрачность оконных стекол к характерным длинам волн УФ радиации

Для оценки бактерицидной эффективности облучения УФ радиации, прошедшей через оконные стекла в помещение, с использованием математической модели солнечного спектра (1) требуется информация о прозрачности современных стекол в различных длинах волн УФ радиации диапазона 200–320 нм (т.е. диапазона В+С).

Эта информация может быть получена на спектрофотометрах различных типов. В нашей работе использован волоконно-оптический спектрофотометр Stella Net Inc. EPP 2000 с дейтериевой и галогеновыми лампами, позволяющий оценить прозрачность стекол с шагом 1 нм. Общий вид спектрофотометра показан на рис. 7.

Спектрофотометр состоит из камеры-источника УФ радиации и камеры-приемника, между которыми располагается каретка с испытуемым образцом стекла 10×10 мм. При прохождении светового потока через стекло в камере-приемнике фиксируется значение прозрачности данного образца в процентах.



Рис. 7. Установка по измерению УФ радиации

Были испытаны оконные стекла компаний «AGC», «Автостройстекло» и Саратовского стекольного завода.

Результаты испытаний некоторых типов стекол представлены в табл. 6 [23].

Таблица 6

Прозрачность некоторых типов оконных стекол в характерных длинах волн, %

Маркировка стекла в эксперименте		Характерные длины волн, нм						
		200	220	254	280	297	315	320
EcoMatt Clear 5 глянец.к лампе мат.к лампе EcoMatt Arctic Blue 4 глянец.к лампе мат.к лампе EcoMatt Color Grey 4 глянец.к лампе мат.к лампе EcoMatt Extra Clear 4 глянец.к лампе мат.к лампе EcoMatt Color Bronze 4 глянец.к лампе мат.к лампе	ЗАО «АвтостройСтекло»	0,03 0,02	0 0	0,02 0,05	0,02 0,03	0,05 0,09	0 0,09	0 0,03
		0,06 0,14	0,02 0	0,01 0,06	0,01 0,03	0,06 0,09	0 0,08	0 0,03
		0,06 0,17	0 0	0 0,07	0,02 0,05	0,09 0,08	0 0,08	0 0,03
		0 0,12	0 0,04	0 0,08	0,01 0,07	0,07 0,12	0,08 0,26	0,34 0,54
		0 0,16	0 0,04	0 0,08	0 0,04	0,11 0,11	0,08 0,24	0,28 0,45
Stopsol Classic Clear 4	«AGC»	1,13	0,7	0,55	0,62	0,54	2,34	4,40
Stopsol Classic Clear 8		1,85	1,1	0,48	0,25	0,59	0,87	1,30
Stopsol Supersilver Clear 4		2,16	1	0,37	0,729	0,86	2,52	5,48
Stopsol Supersilver Clear 6		2,21	0,7	0,45	0,520	0,75	1,69	3,39
Stopsol Supersilver Clear 8		1,74	1	0,61	0,520	1,09	0,98	2,97
Sunergy Clear 4		1,97	1	0,55	0,541	0,68	3,09	7,58
Sunergy Clear 8		1,55	0,8	0,68	0,721	0,87	1,13	2,27
Саратовское силикатное стекло		0,39	0,34	0,13	0,315	0,32	3,59	9,90

Анализ результатов, приведенных в табл. 6, показывает, что прозрачность стекол к УФ радиации компании «AGC» на порядок выше, чем компании «АвтоСтройСтекло». Стекла компании «АвтоСтройСтекло» имели одну поверхность глянцевую, а противоположную – матовую. Оказалось, что результат испытаний зависит от расположения той или иной поверхности к источнику излучения. Можно видеть, что при расположении глянцевой поверхности стекла к источнику света во многих характерных длинах волн образцы имеют нулевую прозрачность. То есть весь поток облучения отражается от глянцевой поверхности стекла. Прозрачность этих стекол в случае облучения их со стороны матовой поверхности в несколько раз выше, но по абсолютным величинам они редко превышают 0,1 %. Эти результаты показывают, что не только тип стекла, но также его расположение в оконной конструкции будут влиять на приход солнечной энергии в помещение. Можно предположить, что использование зеркальных стекол в фасадах зданий затруднит (или полностью исключит) приход солнечной радиации в помещение.

Стекла компании «AGC» имеют прозрачность в характерных длинах волн УФ спектра на несколько порядков выше, чем стекла «АвтоСтройСтекло», следовательно, их применение в оконных конструкциях предпочтительнее. Однако даже эти стекла имеют большое различие в прозрачности в характерных длинах волн, что наглядно представлено на рис. 8.

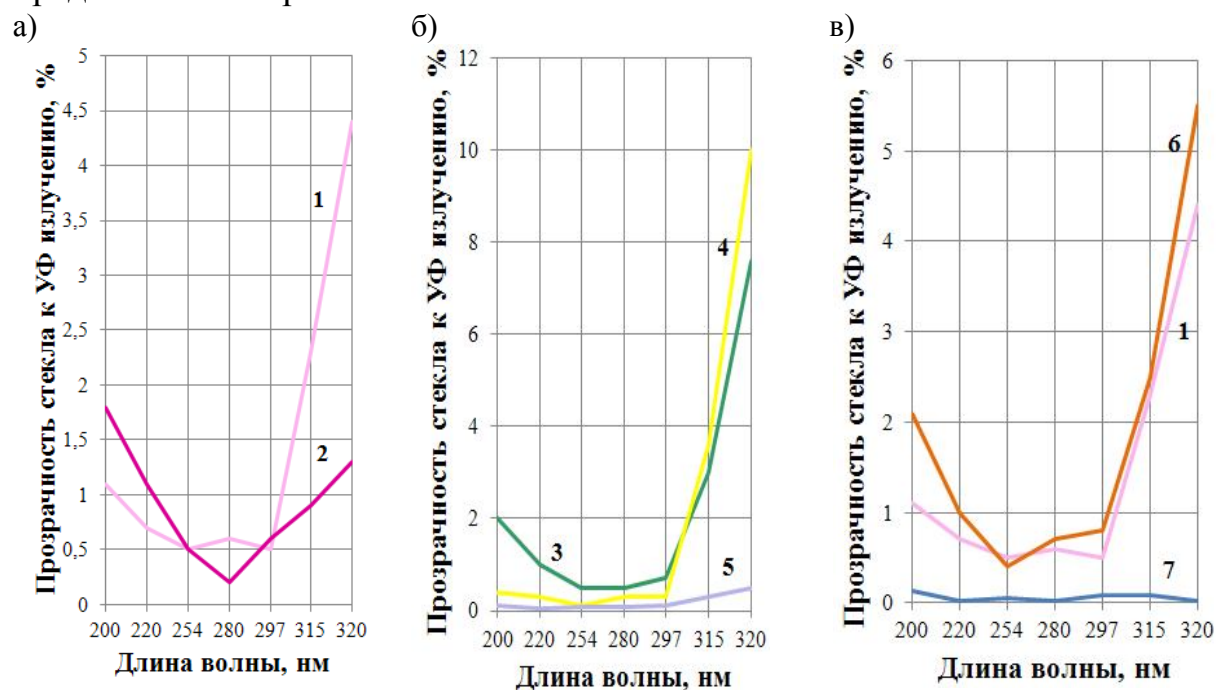


Рис. 8. Прозрачность стекол в характерных длинах волн:

а) один тип стекла, разная толщина; б) одна толщина, разный тип стекла; в) разные типы стекол; 1–Stopsol Classic Clear 4; 2–Stopsol Classic Clear 8; 3–Sunergy Clear 4; 4–Саратовское силикатное стекло 4; 5–Matelux ExtraClear 4; 6–Stopsol Supersilver Clear 4; 7–EcoMatt Color Arctic Blue 4

Данные о прозрачности стекол на рис. 8 сгруппированы следующим образом: для одного типа стекла разной толщины (рис. 8, а), для одной толщины – разные типы стекол (рис. 8, б) и разные типы стекол (рис. 8, в). Можно видеть влияние на прозрачность в характерных длинах волн, как толщины стекла, так и типа стекол, что повлияет на величину относительной бактерицидной эффективности облучения УФ радиации, прошедшей через стекло в помещение (табл. коэффициентов ОБактЭ).

4.2. Прозрачность оконных стекол при различных углах падения солнечного луча

В предыдущем разделе представлены результаты исследования прозрачности оконных стекол в характерных длинах волн УФ спектра. В настоящем разделе прозрачность оконных стекол изучается в биологически активном диапазоне УФ радиации (В+С), то есть определяется суммарная прозрачность в диапазоне 200–320 нм. Характеристика прозрачности оконных стекол в этом диапазоне солнечного спектра совместно с данными об интенсивности УФ радиации солнца в этом же диапазоне (табл. 3) создадут основу для разработки энергетического метода расчета инсоляции.

Исследованы оконные стекла тех же производителей: «AGC», «АвтоСтройСтекло» и Саратовского завода. Характеристика испытанных стекол представлена в табл. 7 [12].

Таблица 7

Характеристика испытанных образцов стекол

Тип стекла	Маркировка покрытия	Толщ., мм	Наименование
1	2	3	4
Солнцезащитное (Stopsol)	Classic	4, 8	Солнцезащитное стекло с повышенной зеркальностью. У покрытия Classic более темный и янтарный оттенок, чем у Supersilver и Phoenix (цвет от прозрачного до темно-серого)
	Supersilver	4, 6, 8	
	Phoenix	4, 6, 8	
Многофункциональное (Sunergy)	-	4, 6, 8	Многофункциональное стекло (энергосбережение+солнцезащита) пониженная зеркальность (цвет от прозрачного до темно-серого)
Базовое флоат-стекло (Planibel)	-	4, 8	Базовое флоат-стекло (цвет от прозрачного до темно-серого)
Матовое (Matelux, EcoMatt)	-	4, 5, 6	Матированное стекло (цвет от прозрачного до темно-серого)
<i>*Примечание. Пример маркировки стекла в эксперименте: Stopsol Classic Green 4 (Солнцезащитное стекло зеленого цвета толщиной 4 мм)</i>			

Исследования прозрачности оконных стекол выполнены на сконструированной и созданной экспериментальной установке, схема которой приведена на рис. 9.

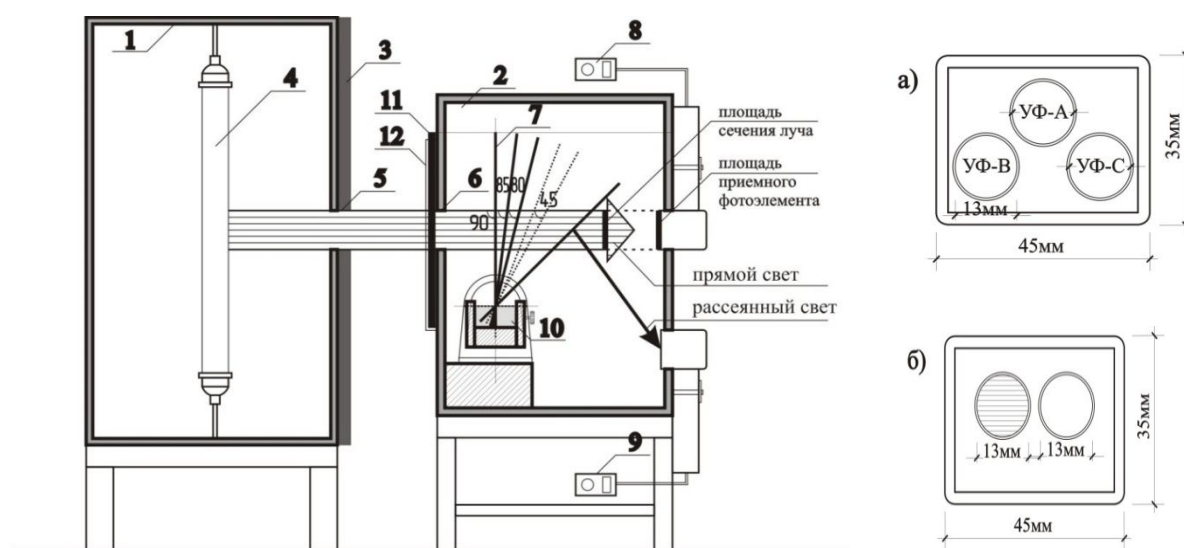


Рис. 9. Схема установки по измерению ультрафиолетовой радиации, прошедшей через стекла: 1 – камера-источник ультрафиолетового излучения; 2 – камера-приемник ультрафиолетового излучения; 3 – экран, ограничивающий пучок излучения; 4 – ксеноновая лампа; 5 – отверстие в экране; 6 – отверстие в камере-приемнике; 7 – образец стекла; 8, 9 – измерители освещенности; 10 – фиксаторы образца стекла под разными углами; 11 – фильтр-стекло 10 мм; 12 – держатель для фильтра; а), б) приемные фотоэлементы на измерителях УФ радиации

Установка состоит из камеры-источника УФ радиации (1) и камеры-приемника излучения (2), в которой располагаются испытываемые стекла (7). В качестве источника УФ радиации принята ксеноновая лампа с водяным охлаждением ДКСТВ – 6000, спектр которой близок к спектру солнца, рис. 10.

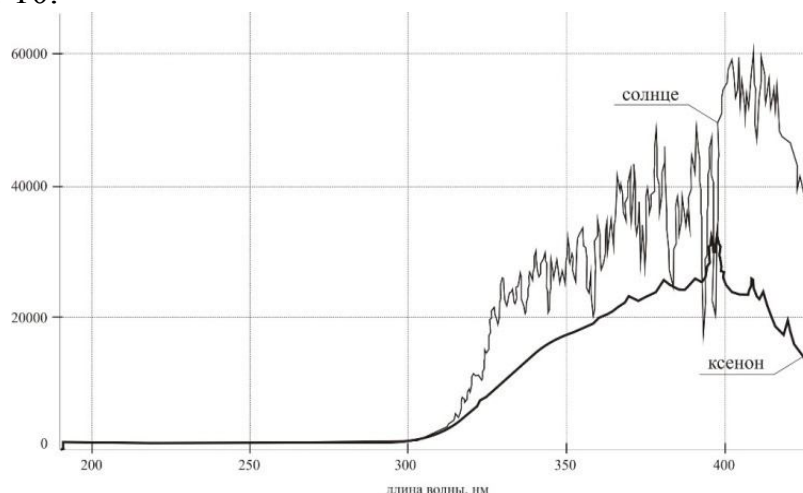


Рис. 10. Спектр солнца, совмещенный со спектром ксеноновой лампы

Камера-приемник (2) проклеена изнутри черным бархатом для исключения отраженного света и содержит устройство (10) для крепления стекла, которое позволяет изменять угол между направлением луча и плоскостью стекла.

Измерение прозрачности стекла происходит в последовательности: УФ радиометр устанавливают в отверстие (6) и измеряют падающий поток УФ радиации, задают угол между направлением солнечного луча и плоскостью стекла устройством (10), УФ радиометр переносят в позицию (8) и измеряют интенсивность УФ радиации, прошедшей через стекло. По разности показателей определяют процент (или доли единицы) радиации, прошедшей через образец стекла.

Интенсивность УФ радиации измеряется УФ-радиометром «ТКА-ПКМ» в трех диапазонах: УФ-С (200-280 нм) УФ-В (280 – 320 нм) и УФ-А (320 – 420 нм). Общий вид УФ-радиометра показан на рис. 11.



Рис. 11. УФ-Радиометр «ТКА-ПКМ»

Результаты исследований при нормальном падении луча на плоскости стекла (угол между направлением луча и нормалью к поверхности стекла (θ) равен нулю) представлены в табл. 8.

Из табл. 8 видно, что прозрачность стекол в диапазоне (В+С) изменяется в пределах 5–52 %. Максимальная прозрачность у Саратовского силикатного стекла – 52 %. У солнцезащитных и энергосберегающих стекол компании «AGC» – 40–45 %. Матовые стекла (как «AGC», так и «АвтоСтройСтекло») имеют наименьшую прозрачность 5–20 %. При увеличении толщины стекла с 4 до 8 мм его прозрачность снижается на 6–10 %. Введение цвета в образец снижает его прозрачность в диапазоне (В+С) в два раза. Так, стекло Stopsol Phoenix Clear 4 имеет прозрачность 45 %, в то время как прозрачность окрашенного стекла Stopsol Phoenix Creen 4 сократилась до 29 %.

Таблица 8

Прозрачность испытанных типов стекол при нормальном падении луча
на стекло (угол θ равен нулю)

Маркировка стекла	Прозрачность, %		
	УФ-В	УФ-С	Биологически активная УФ радиация (В+С)
Stopsol Classic Clear 4	11	32	18
Stopsol Supersilver Clear 4	20	46	36
Stopsol Phoenix Clear 4	22	58	45
Stopsol Phoenix Green 4	23	32	29
Stopsol Phoenix Grey 4	17	33	27
Stopsol Phoenix Bronze 4	16	32	26
Sunergy Clear 4	19	51	39
Planibel Grey 4	19	47	37
Planibel Bronze 4	19	47	37
Matelux Clear 4	10	27	20
EcoMatt Color Arctic Blue 4	0	9	5
EcoMatt Color Grey 4	5	9	8
EcoMatt Extra Clear 4	11	24	19
EcoMatt Color Bronze 4	5	9	8
Саратовское силикатное стекло	30	64	52
Stopsol Classic Green 6	5	8	7
Stopsol Classic Grey 6	5	9	7
Stopsol Supersilver Clear 6	19	44	35
Stopsol Phoenix Green 6	11	21	17
Stopsol Phoenix Grey 6	9	18	15
Sunergy Clear 6	21	49	39
Sunergy Azur 6	15	31	25
EcoMatt Clear 5	10	21	17
Matelux Stopsol Supersilver Clear 6	7	15	12
Matelux Double Sided 6	6	13	11
Stopsol Classic Clear 8	18	42	33
Stopsol Supersilver Clear 8	18	43	34
Stopsol Phoenix Clear 8	22	49	39
Stopsol Phoenix Green 8	9	15	13
Stopsol Phoenix Grey 8	7	12	10
Sunergy Clear 8	20	46	37
Planibel Bronze 8	9	15	13
Planibel Dark Blue 8	16	29	24
Planibel Green 10	10	16	14
Стеклопакет Stopsol Classic Clear 4 + силикатное стекло 4	8	20	15
Стеклопакет Stopsol Classic Clear 4 + Matelux Clear 4	3	7	6
Стеклопакет Stopsol Supersilver Clear 4 + силикатное стекло 4	15	32	26

На рис. 12–15 приведены данные по изменению прозрачности испытанных стекол при увеличении угла θ .



Рис. 12. Зависимость прозрачности стекол Stopsol Supersilver Clear в УФ (В+С) диапазоне от величины угла падения луча: 1–толщиной 4 мм; 2–толщиной 6 мм; 3–толщиной 8 мм

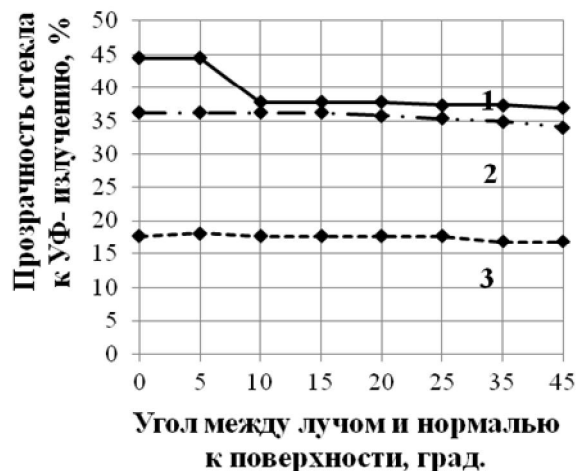


Рис. 13. Зависимость прозрачности стекол одинаковой толщины в УФ (В+С) диапазоне от величины угла падения луча: 1–Stopsol Phoenix Clear 4; 2–Stopsol Supersilver Clear 4; 3–Stopsol Classic Clear 4

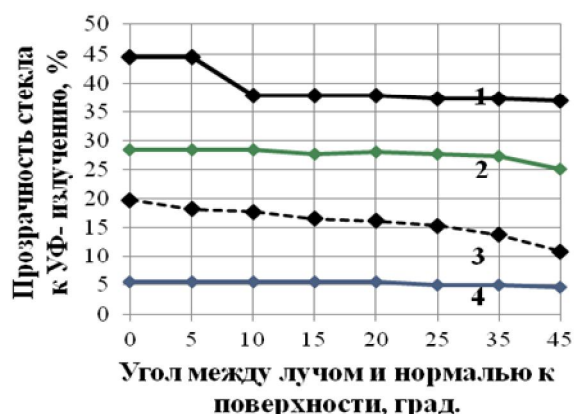


Рис. 14. Зависимость прозрачности стекол в УФ (В+С) диапазоне от величины угла падения луча: 1–Stopsol Phoenix Clear 4; 2–Stopsol Phoenix Green 4; 3–Matelux Clear 4; 4–EcoMatt Color Arctic Blue 4

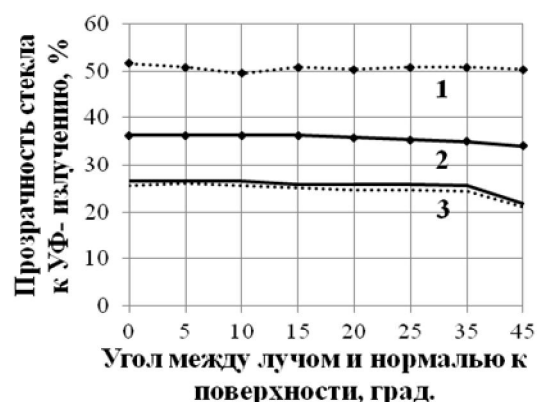


Рис. 15. Зависимость прозрачности стеклопакета и стекол его составляющих в УФ (В+С) от величины угла падения луча: 1–Саратовское силикатное стекло 4; 2–Stopsol Supersilver Clear 4; 3–стеклопакет (Саратовское силикатное стекло+Stopsol Supersilver Clear 4)

Из графиков рис. 12–15 следует, что с увеличением угла θ прозрачность оконных стекол к УФ радиации снижается, степень этого снижения для различных типов стекол различная. Исследования показали, что закон косинуса ($J_{\theta} = J_{\perp} \cdot \cos \theta$) неприменим при оценке прозрачности оконных стекол к УФ радиации, рис. 16. В связи с этим база данных о снижении прозрачности оконных стекол при изменении угла θ может быть получена только на основании экспериментальных исследований.

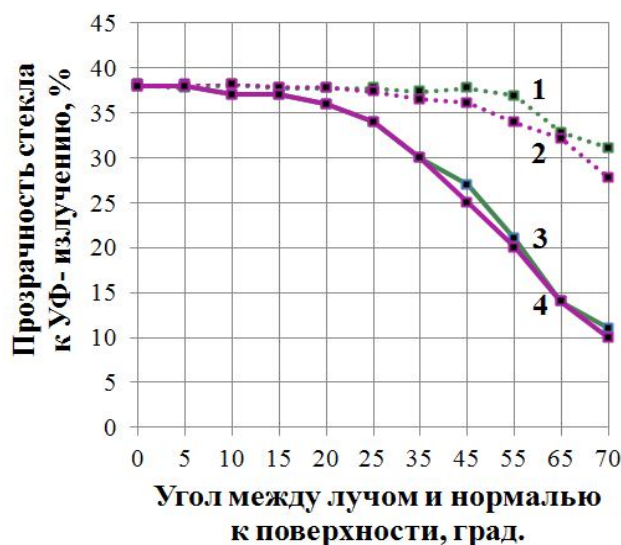


Рис. 16. Зависимость прозрачности стекол от угла падения луча в УФ (В+С) диапазоне: 1–Stopсол Supersilver Clear 4 мм; 2–Stopсол Supersilver Clear 6 мм; 3–Stopсол Supersilver Clear 4 мм по закону косинуса; 4– Stopсол Supersilver Clear 6 мм по закону косинуса

Для практических расчетов, как это будет показано в следующем разделе, прозрачность оконных стекол в зависимости от угла θ удобнее представлять в виде коэффициентов прозрачности, (табл. 9).

Таблица 9

Коэффициенты прозрачности некоторых типов стекол при различных углах падения луча на стекло

Обозначение типа стекла	Угол между лучом и нормалью к поверхности					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1	2	3	4	5	6	7
Stopсол Phoenix Clear 4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,36	0,31
Sunergy Clear 4	0,39	0,4	0,4	0,4	0,32	0,28
Planibel Grey 4	0,37	0,37	0,37	0,37	0,3	0,26
Matelux Clear 4	0,2	0,18	0,16	0,14	0,1	0,08
Саратовское силикатное стекло	0,52	0,52	0,52	0,52	0,4	0,36

Светопрозрачные части оконных конструкций состоят из нескольких стекол или стеклопакетов. Исследование стеклопакетов показало, что их светопрозрачность в УФ участке спектра на 30–60 % ниже значений прозрачности отдельных стекол (рис. 15 и последние строчки табл. 8).

С достаточной для практики точностью прозрачность стеклопакетов может быть описана формулой:

$$k_{СП} = k_{C1} \cdot k_{C2} \cdot \dots \cdot k_{СП}, \quad (2)$$

где $k_{СП}$ – коэффициент прозрачности стеклопакета;

$k_{C1} \dots k_{СП}$ – коэффициенты прозрачности отдельных стекол.

5. Энергетический метод расчета инсоляции жилых помещений

В предыдущих разделах установлены расчетные параметры, которые положены в основу энергетического метода расчета инсоляции путем учета интенсивности и дозы биологически активного диапазона УФ радиации (В+С).

Метод основан на определении такой дозы УФ солнечной радиации, прошедшей через окно в помещение здания, при которой гибнут болезнетворные бактерии и вредные микроорганизмы, чем обеспечивается нормируемый уровень бактерицидной эффективности (санации) как в воздухе жилых помещений, так и на его поверхностях [13, 14, 15].

С точки зрения энергии УФ облучения, приходящей в помещение, становится очевидной необходимость учета прозрачности оконных стекол, площади светопроема (чем больше его площадь, тем больше энергии проникает в помещение) и размера помещения (чем больше размер помещения, тем меньше будет удельная энергия, приходящая к единице объема воздуха помещения и единице его поверхностей). Эти параметры не учитывают действующие нормы по расчету инсоляции помещений.

С учетом вышеизложенного получил развитие энергетический метод по расчету инсоляции жилых помещений.

Исходные данные для расчета:

1. Актинометрические данные по интенсивности УФ солнечной радиации (диапазона < 320 нм, прямой $J_{пр}$ на нормальную к лучам поверхность и рассеянной $J_{рас}$ на горизонтальную поверхность по часам суток).
2. Ориентация светопроема по сторонам горизонта (азимут нормали к плоскости окна A_n).
3. Координаты солнца (h_0 и A_0) на период инсоляции.
4. Параметры светопроема («в свету»), ширина b и высота h , м.
5. Конструкция светопрозрачной части окон и типы стекол.
6. База данных о коэффициентах прозрачности современных стекол в диапазоне (В+С) УФ радиации при разных углах падения солнечного луча.
7. Параметры помещения, глубина L , ширина B и высота H , м.

Последовательность расчета:

1. Определение угла θ (тэта), угла падения солнечного луча на стекло.

Угол θ определяется по формулам сферической тригонометрии:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \gamma \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi,$$

где φ – географическая широта местности, град;

δ – склонение солнца, град;

γ – часовой угол, град.

Без большой ошибки можно использовать упрощенный метод определения угла θ с использованием схемы, представленной на рис. 17.

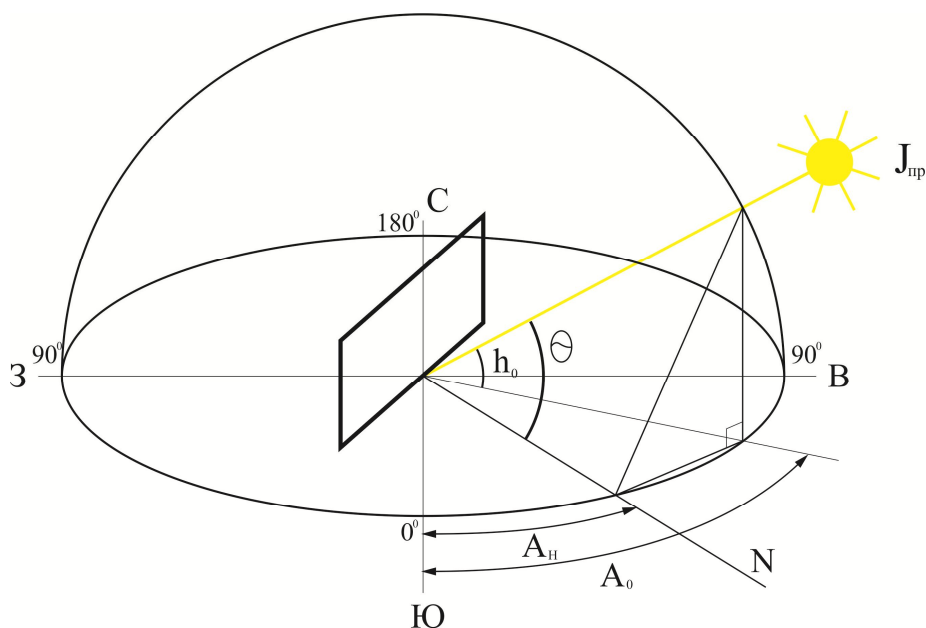


Рис. 17. Схема к определению угла θ (N – нормаль к плоскости окна)

Из рис. 17 видно, что по поверхности полусферы, расположенной над кругом горизонта, располагается прямоугольный треугольник. Катетами прямоугольного треугольника являются высота стояния солнца в данный час суток h_0 и разность азимутов проекции солнечного луча на горизонтальную плоскость A_0 и азимута нормали к плоскости окна A_n . Гипотенуза этого прямоугольного треугольника и будет равна углу θ . В связи с этим угол θ определится по известной теореме Пифагора:

$$\theta = \sqrt{h_0^2 + (A_0 - A_n)^2}. \quad (3)$$

В зависимости от ориентации окна (A_n) и времени суток (расположения солнца на небосвод, A_0) величина катета прямоугольного треугольника может определяться как разность ($A_0 - A_n$) или как разность ($A_n - A_0$).

2. Определение суммарной интенсивности ($J_{\text{сум}}$) УФ радиации, приходящей к фасаду здания, с учетом ориентации светопроема:

$$J_{\text{сум}} = J_{\text{пр}} + 0,5J_{\text{рас}} = J_{\perp} \cdot \cos\theta + 0,5J_{\text{рас}}, \text{ мВт/м}^2. \quad (4)$$

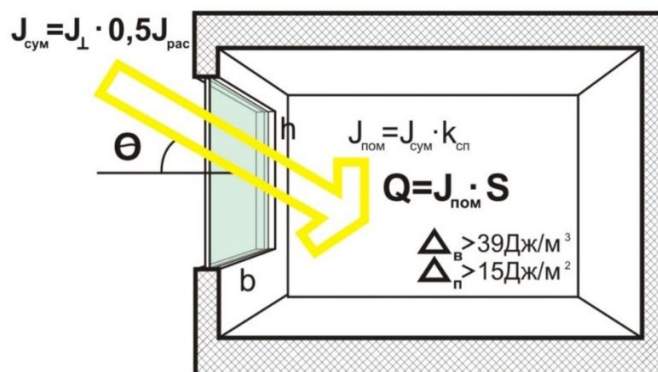


Рис. 18. Приход солнечной радиации к плоскости фасада

3. Определение суммарной интенсивности УФ радиации, прошедшей через оконную конструкцию в помещение ($J_{\text{пом}}$), с учетом поглощения УФ радиации в светопрозрачной конструкции.

$$J_{\text{пом}} = J_{\text{сум}} \cdot k_{\text{сп}}, \text{ мВт/м}^2, \quad (5)$$

где $k_{\text{сп}}$ – коэффициент прозрачности стеклопакета при угле θ (тэта).

4. Полное количество УФ энергии, прошедшей через площадь окна (S)

$$Q = J_{\text{пом}} \cdot S. \quad (6)$$

5. Доза УФ радиации в воздухе помещения (Δ_v (дельта)):

$$\Delta_v = 3,6 Q \cdot \tau / V, \text{ Дж/м}^3, \quad (7)$$

где V – объем помещения,

τ – продолжительность облучения, часы.

6. Доза УФ радиации по поверхностям помещения (Δ_n (дельта)):

$$\Delta_n = 3,6 Q \cdot \tau / F, \text{ Дж/м}^2, \quad (8)$$

где F – площадь всех поверхностей помещения за вычетом площади окна, м^2 ,

3,6 – коэффициент перевода размерности мВт·час в размерность Дж.

Пример расчета

Требуется оценить эффективность инсоляции жилого помещения восточной ориентации в Казани (56° с.ш.) при облучении в течение 2 часов (с 7^{00} до 9^{00}) 22 марта.

Исходные данные для расчета:

1. Параметры помещения (ширина $B = 3,0$ м; глубина $L = 4,2$ м; высота $H = 2,8$ м).

2. Параметры светопроема (ширина $l = 1,9$ м; высота $h = 1,65$ м).

3. Конструкция окна – однокамерный стеклопакет.

4. Тип стекла – силикатное стекло Саратовского завода.

Последовательность расчета:

1. По градостроительным параметрам застройки определяется азимут нормали к плоскости окна, $A_n = 90^0$ от направления на юг.

2. По времени облучения определяются координаты солнца середины периода облучения (на 8^{00}), $h_0 = 16,2^0$, $A_0 = 64,4^0$ (от направления на юг).

3. По параметрам A_n , h_0 и A_0 определяется угол между направлением солнечного луча и нормалью к плоскости окна (θ) (тэта) с использованием формул сферической тригонометрии.

4. По актинометрическим таблицам (например, табл. 7 Руководства по строительной климатологии, М.: СИ, 1977. – 328 с., НИИСФ) определяется интенсивность прямой УФ радиации диапазона < 320 нм на нормальную к лучам поверхность и рассеянной радиации того же диапазона на горизонтальную поверхность, как это представлено в табл. 4 для марта месяца, для широты 56^0 . В нашем случае на середину периода облучения (на 8^{00}): прямая $J_{\perp} = 5,3$ мВт/м² и рассеянная на вертикальную поверхность $0,5 \cdot J_{\text{рас}} = 27$ мВт/м².

Интенсивность прямой УФ радиации на вертикальные поверхности корректируется углом θ (тэта):

$$J_{\text{пр}} = J_{\perp} \cdot \cos\theta = 5,3 \cdot \cos 30,3 = 5,3 \cdot 0,863 = 4,6 \text{ мВт/м}^2.$$

Интенсивность суммарной УФ радиации перед фасадом восточной ориентации составит:

$$J_{\text{сум}} = J_{\text{пр}} + 0,5 \cdot J_{\text{рас}} = 4,6 + 27 = 31,6 \text{ мВт/м}^2.$$

5. Коэффициент прозрачности стеклопакета при θ (тэта) = $30,3^0$ (табл. 3):

$$k_{\text{сп}} = k_1 + k_2 = 0,52 \cdot 0,52 = 0,27.$$

6. Интенсивность УФ радиации в помещении после прохождения через стеклопакет:

$$J_{\text{пом}} = J_{\text{сум}} \cdot k_{\text{сп}} = 31,6 \cdot 0,27 = 8,5 \text{ мВт/м}^2.$$

7. Полное количество УФ энергии (Q), прошедшее через площадь окна ($S = h \cdot l$, м²) в помещение:

$$Q = J_{\text{пом}} \cdot S = 8,5 \cdot (1,65 \cdot 1,9) = 26,64, \text{ мВт}.$$

8. Доза УФ радиации при двухчасовом облучении (τ (тау) = 2 часа), полученная воздухом помещения (объем помещения $V = L \cdot B \cdot H$, м³):

$$\Delta_v \text{ (дельта)} = 3,6 Q \cdot \tau / V = 3,6 \cdot 26,64 \cdot 2 / (4,2 \cdot 3,0 \cdot 2,8) = 5,43 \text{ Дж/м}^3.$$

9. Доза УФ радиации при двухчасовом облучении (τ (тау) = 2 часа), полученная поверхностями помещения [$F = (2LB + 2LH + 2BH) \cdot S$]:

$$\Delta_n \text{ (дельта)} = 3,6 Q \cdot \tau / F = 3,6 \cdot 26,64 \cdot 2 / (2 \cdot 4,2 \cdot 3,0 + 2 \cdot 4,2 \cdot 2,8 + 2 \cdot 3,0 \cdot 2,8) - 3,13 = 3,07 \text{ Дж/м}^2.$$

Сопоставление полученных доз УФ радиации с нормативными дозами для воздуха помещений (39 Дж/м^3) и его поверхностей (15 Дж/м^2) показывает, что в рассматриваемом случае уровень бактерицидной

эффективности не обеспечен ни для воздуха помещения Δ_v (дельта) = **5,43** < **39 Дж/м³**, ни для его поверхностей Δ_n = **3,07** < **15 Дж/м²**.

Увеличение продолжительности инсоляции до 3 часов (с 7⁰⁰ до 10⁰⁰) также не дает необходимого уровня бактерицидной эффективности Δ_v (дельта) = **14,7** < **39 Дж/м³**, Δ_n = **8,3** < **15 Дж/м²**, потому что высокая интенсивность УФ радиации в 10⁰⁰ резко снижается за счет увеличения угла θ (тэта) и следовательно, снижения $J_{пр}$ за счет понижения $\cos \theta$ и снижения $J_{пом}$ за счет снижения $k_{сп}$ при увеличении θ .

Таким образом, восточную ориентацию светопроемов нельзя считать оптимальной.

Ориентация светопроемов на юго-восточное направление более предпочтительна. Если световой проем того же помещения ориентировать на юго-восток, $A_n = 45^0$, то уровень бактерицидной эффективности инсоляции будет зависеть от времени суток, в которое происходит облучение, и продолжительности облучения.

При двухчасовом облучении с 9⁰⁰ до 11⁰⁰ в воздухе помещения доза УФ радиации остается ниже нормы Δ_v (дельта) = **29** < **39 Дж/м³**, а поверхности помещения получают необходимую дозу облучения Δ_n = **16,5** > **15 Дж/м²**. При трехчасовом облучении с 9⁰⁰ до 12⁰⁰ воздух и поверхности помещения получают необходимую дозу облучения (Δ_v (дельта) = **44,2** > **39 Дж/м³**, Δ_n = **25** > **15 Дж/м²**).

Уровень бактерицидной эффективности рассматриваемого помещения при двухчасовом облучении будет обеспечен только при ориентации светопроема на юг (Δ_v (дельта) = **42,1** > **39 Дж/м³**, Δ_n = **23,8** > **15 Дж/м²**), юго-восток или юго-запад при малых азимутах нормали к плоскости окна (Δ_v (дельта) = **39,9** > **39 Дж/м³**, Δ_n = **22,6** > **15 Дж/м²**). Объяснение этому следует из табл. 4, из которой видно, что в первые часы после восхода солнца, а также и перед заходом солнца, интенсивность прямой радиации равна нулю вплоть, до 9 часов утра, а рассеянной – до 8 часов. Этот факт подтверждает проблемы санирования помещений в ранние часы суток при восточной ориентации светопроема и при больших азимутах нормали к плоскости окна для юго-восточного направления.

В табл. 10 приведены результаты расчета инсоляции жилых помещений энергетическим методом в сравнении с результатами расчета по методу СанПиН.

Данные табл. 10 наглядно показывают, что энергетический метод не всегда дает положительную оценку инсоляции при 2 и даже 3-часовом облучении, в то время как метод СанПиН во всех случаях дает положительную оценку инсоляции, если продолжительность солнечного облучения составляет два и более часа.

Таблица 10

Сопоставление результатов расчета инсоляции по энергетическому методу и методу СанПиН

Ориентация светопроема	Продолжит. инсоляции, часы	Энергетический метод			Метод СанПиН
		Доза в воздухе Δ_v , Дж/м ³	Доза на поверхности Δ_n , Дж/м ²	Соответств. нормам	
Восток $A_n = 90^\circ$	2 (7-9)	5,43<39	3,07<15	нет	да
	3(7-10)	14,7<39	8,3<15	нет	да
Юго-восток $A_n = 45^\circ$	2 (9-11)	29<39	16,5>15	нет	да
	3(9-12)	44,2>39	25>15	да	да
Юго-восток $A_n = 15^\circ$	2 (10-12)	39,9>39	22,6>15	да	да
Юг $A_n = 0^\circ$	2 (11-13)	42,1>39	23,8>15	да	да

Примечание: 1) A_n отсчитывается от направления на юг.
2) Санация помещений обеспечена, если доза УФ облучения превышает нормируемую дозу **одновременно** для воздуха и поверхностей помещений.

Предлагаемый метод расчета инсоляции, безусловно, сложнее метода, представленного в действующих нормативных документах, однако разработанная компьютерная программа расчета «РаиН 2013» [22] значительно упрощает расчет. Интерфейс программы приведен на рис. 19. Итогом расчета являются дозы УФ облучения в воздухе помещения и на его поверхностях. Если указанные дозы соответствуют установленным уровням бактерицидной эффективности, то величина уровня в соответствующем окне интерфейса появляется на зеленом фоне, если нет – то на красном.

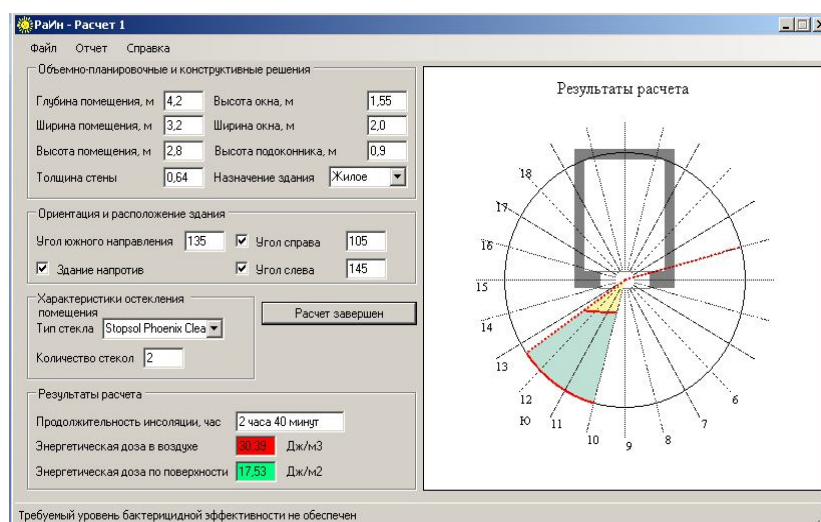


Рис. 19. Интерфейс программного комплекса «РаиН 2013»

Использование программы «РаиН 2013» позволяет учесть ряд значимых факторов, которые, безусловно, влияют на обеспечение требуемого уровня бактерицидной эффективности инсоляции. Это изменяющаяся в течение суток интенсивность УФ радиации, которая влияет на дозу облучения; угол падения солнечного луча на плоскость стекла (угол θ (тэта), от которого зависят как интенсивность облучения на плоскости стекла, так и светопрозрачность оконных конструкций; размер светопроема, от которого зависит полное количество УФ энергии (Q), прошедшее через окно в помещение; размеры помещения, объем (V) и площадь поверхности (F), значения которого влияют на величину удельной дозы УФ радиации в воздухе помещения и на его поверхностях (Δ_v (дельта) и Δ_n).

Изменяя указанные факторы в процессе проектирования здания и помещений, можно обеспечить заданный уровень бактерицидной эффективности жилых помещений.

6. Пример расчета инсоляции помещения с использованием компьютерной программы «РаИн 2013»

Требуется определить интенсивность и дозу УФ облучения жилого помещения и оценить ее бактерицидную эффективность помещения со следующими исходными данными:

1. Место строительства: г. Казань.
2. Ориентация: угол южного направления 135^0 .
3. Наличие лоджии / балкона: отсутствует.
4. Параметры помещения: ширина $B = 3,2$ м; глубина $L = 4,2$ м; высота $H = 2,8$ м. Толщина наружной стены – $0,64$ м.
5. Конструктивное решение светопроема: ПВХ профиль с распашными створками с двухкамерным стеклопакетом 4-12-4-12-4, в составе стеклопакета солнцезащитное стекло. Размеры светопрозрачной части конструкции: ширина $B = 2,0$ м; высота $H = 1,55$ м. Высота подоконника: $0,9$ м.
6. Период инсоляции: $10^{00} - 12^{40}$.

На рис. 20 представлен общий вид интерфейса с исходными данными помещения, картограммой затенения светопроема и результатами расчета. Можно видеть, что помещение юго-восточной ориентации, которое инсолируется 2 ч 40 минут в период с 10.00 до 12.40 при определенных параметрах помещения и размерах светового окна не получает необходимых доз УФ облучения по воздуху помещения, а следовательно требуемый уровень бактерицидной эффективности в этом помещении не обеспечен.

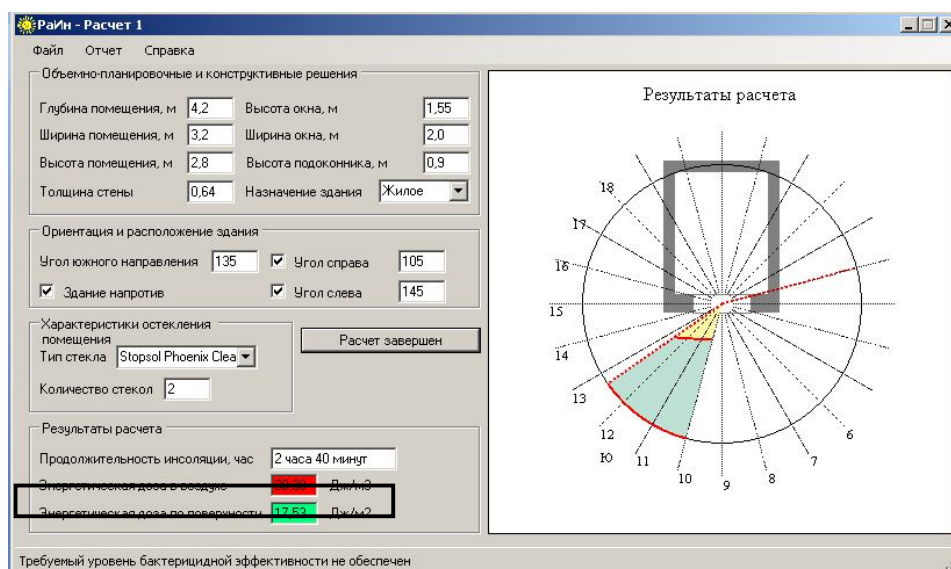


Рис. 20. Вычисление продолжительности инсоляции и уровня бактерицидной эффективности

Регулирование интенсивности и дозы УФ облучения:

1. Изменение продолжительности инсоляции (рис. 21). При увеличении продолжительности инсоляции на 40 минут (10.00-13.20) количество УФ энергии, поступающей в помещение, увеличилось на 30%. Продолжительность инсоляции составила 3 часа 20 минут.

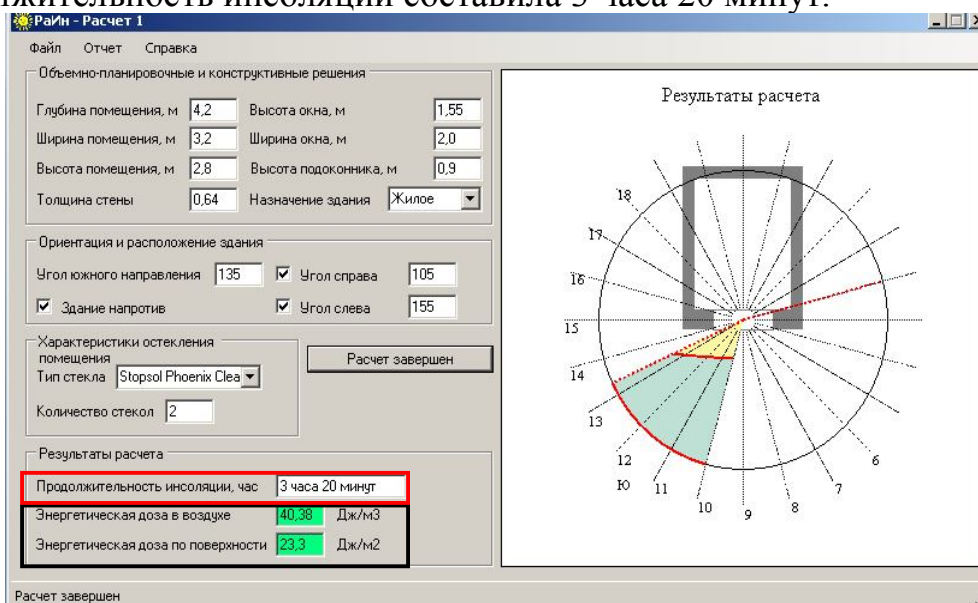


Рис. 21. Вычисление продолжительности инсоляции и уровня бактерицидной эффективности

2. Подбор типа стекол с большей величиной их прозрачности в диапазоне (B+C) УФ спектра (рис. 22).

При замене типа стекла с солнцезащитного Stopsol ($k_c=0,45$) на силикатное стекло ($k_c=0,52$), количество УФ энергии, поступающей в помещение, увеличилось на 25 %.

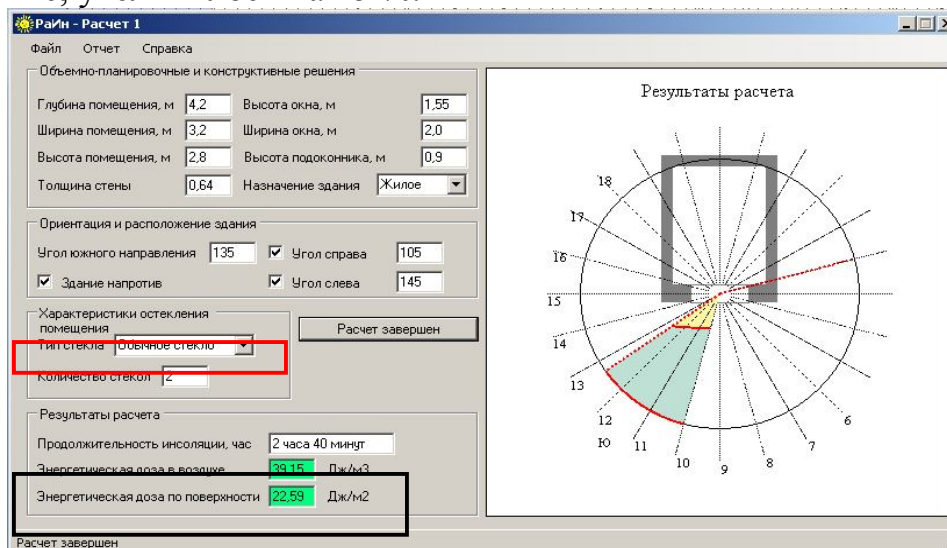


Рис. 22. Вычисление продолжительности инсоляции и уровня бактерицидной эффективности

3. Изменение размеров помещения и площади светового проема

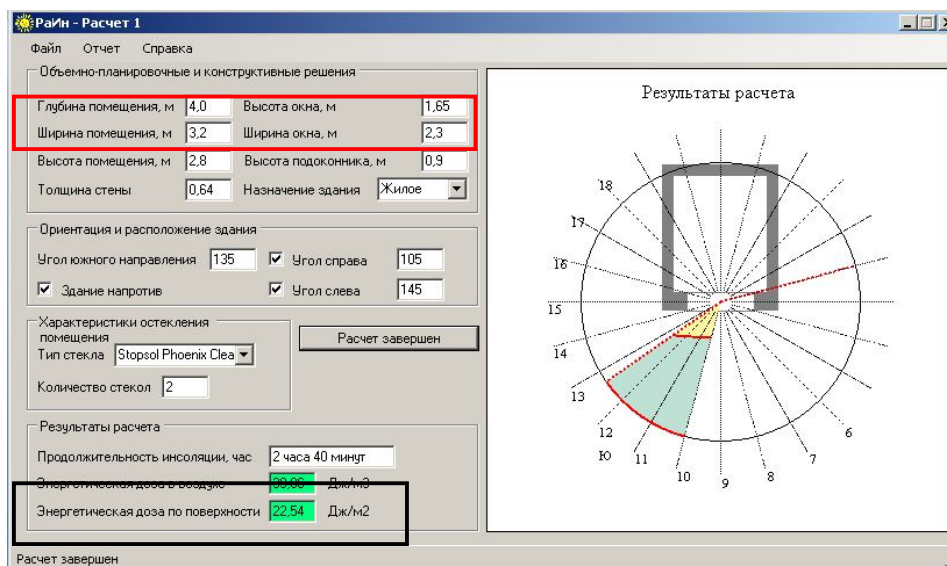


Рис. 23. Вычисление продолжительности инсоляции и уровня бактерицидной эффективности

При увеличении размеров светового проема и уменьшении глубины помещения на 25 % увеличилось количество УФ энергии, поступающей в помещение.

4. При изменении ориентации светопроема на 25 %, увеличилось количество УФ энергии, поступающей в помещение причем за более короткий промежуток времени (2 часа 40 минут).

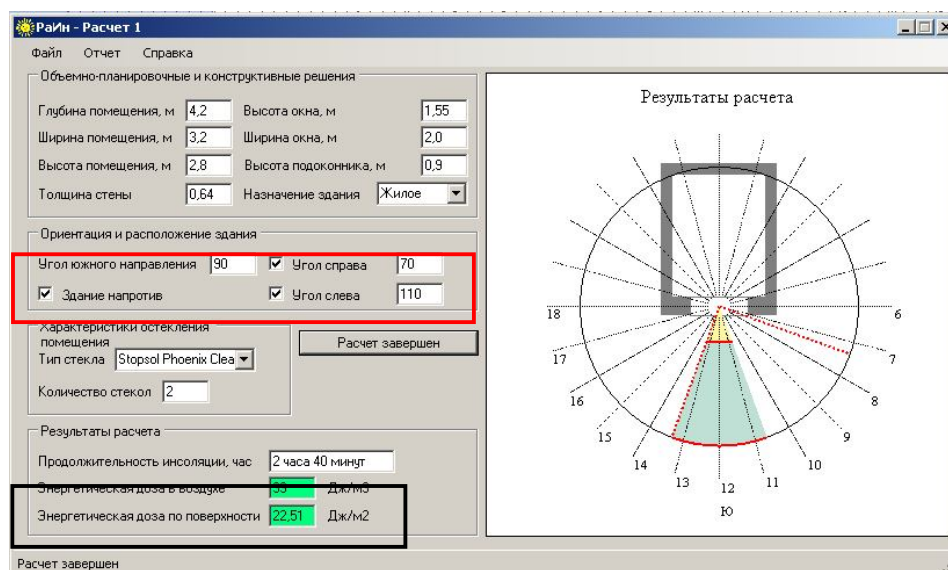


Рис. 24. Вычисление продолжительности инсоляции и уровня бактерицидной эффективности

Список литературы

1. Бахарев Д.В. Об учете отраженной составляющей в приближенных расчетах естественного освещения помещений // Светотехника. – 1995. № 3. – С. 14–20.
2. Беликова В.К. Бактерицидное значение излучения солнца, проникающего в помещение // Гигиена и санитария. – 1957. № 11. – С. 8–15.
3. Беликова В.К. Гигиеническая оценка опытных образцов оконного стекла // Ультрафиолетовое излучение. – 1964. – вып. 1. – С. 21–27.
4. Беликова В.К. Естественная ультрафиолетовая радиация и ее бактерицидное значение // Ультрафиолетовое излучение. – 1966. – вып. 4. – С. 322–326.
5. Галанин Н.Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. – Л.: Медицина, 1969. – 184 с.
6. Данциг Н.М. Развитие гигиены освещения в СССР // Гигиена и санитария. – 1967. № 10. – С. 21–25.
7. Данциг Н.М. Обоснование гигиенических требований к инсоляции помещений жилых и общественных зданий жилой застройки населенных мест // Гигиена и санитария. – 1968. № 5. – С. 18–22.
8. Данциг Н.М. Инсоляция зданий и территорий застройки городов как гигиеническая проблема / Н. М. Данциг // Ультрафиолетовое излучение. – М., 1971.
9. Данциг Н.М. Биологическое действие и гигиеническое значение света. Вестник АМН. 1972, № 1, с. 25–29.
10. Куприянов В.Н. К исследованию инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // ACADEMIA архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 477–482;
11. Куприянов В.Н. Современные проблемы инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // Светопрозрачные конструкции. – 2010. – № 4 (72). – С. 24–28.
12. Куприянов В.Н. Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // Жилищное строительство. – 2012. – № 7. – С. 64–65.
13. Куприянов В.Н. Натурные исследования энергетических параметров инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // Известия КазГАСУ. – 2012. – № 4 (22). – С. 139–147.
14. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. Новые предложения по нормированию и расчету инсоляции жилых помещений // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 50–53.
15. Лукомская К.А. Микробиология с основами вирусологии. – М.: Просвещение, 1987. – 288 с.
16. МУ 2.3.975-00. Применение ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений

организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами: утв. Глав. гос. сан. врачом РФ Г.Г. Онищенко от 19.05.00 и введ. 01.08.00.

17. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. – М.: Стройиздат, 1988. – 208 с.
18. Руководство Р 3.5.1904-04. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко от 04.04.2004 (дата введения 04.04.2004).
19. Руководство по строительной климатологии (Пособие по проектированию). – М.: Стройиздат, 1977. – 327 с.
20. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий: утв. Минздравом РФ от 19.10.01 и введ. 1.02.02.
21. Свидетельство о регистрации программного комплекса для ЭВМ № 2013660878 «РаИн 2013» дата госрегистрации 21.11.2013 (авторы В.Н. Куприянов, Ф.Р. Седова, А.Н. Седов).
22. Халикова Ф.Р. Экспериментальные исследования проникновения УФ радиации через оконные стекла / Ф.Р. Халикова, В.Н. Куприянов // Научно-технический журнал. Вестник МГСУ. – 2011. – № 3. – Т. 2. – С. 30–35.

**Куприянов Валерий Николаевич
Седова Фарида Рафаэлевна**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД НОРМИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА
ИНСОЛЯЦИИ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Учебно-методическое пособие для магистров
по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура»
и 08.03.01 «Строительство»

Дизайн обложки: Ф.Р. Седова