

УДК 666.1.001.5

Куприянов В.Н. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuprivan@kgasu.ru

Халикова Ф.Р. – ассистент, инженер-архитектор

E-mail: khalikova_f@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Натурные исследования энергетических параметров инсоляции жилых помещений

Аннотация

Представлены результаты измерения интенсивности ультрафиолетовой радиации солнца на поверхностях светопрозрачных конструкций и на рабочих поверхностях 26 жилых помещений, ориентированных по 8 румбам. Предложена методика, позволяющая рассчитывать дозы ультрафиолетовой радиации в объеме помещений и на рабочих поверхностях (пол помещения). Предложен уровень бактерицидной эффективности для жилых помещений, что позволило определить дозы облучения и уровень санитарно-гигиенического благополучия исследованных жилых помещений.

Ключевые слова: ультрафиолетовая радиация, светопрозрачная конструкция, бактерицидная эффективность, энергетическая доза, ориентация.

В действующих нормативных документах количественной мерой инсоляции жилых помещений является продолжительность их облучения прямым солнечным светом. Например, для широты Казани нормируемая продолжительность инсоляции составляет 2 часа [1]. Все известные микробиологические исследования по выживаемости или гибели микроорганизмов при действии солнечного света заканчиваются оценкой продолжительности облучения до достижения той или иной степени гибели микроорганизмов [2-6], однако, известно, что эффективность saniрующего действия солнечного облучения связана не только с продолжительностью облучения, но и с величиной интенсивности этого облучения, а точнее, с энергетической дозой радиации (произведением интенсивности облучения на время облучения), которая приходит к тест-объектам микроорганизмов. К сожалению, в известных отечественных работах по инсоляции жилых помещений не обнаружено связи между степенью гибели микроорганизмов и получаемой ими энергетической дозой. Известно также, что эффективность saniрующего действия инсоляции определяется энергетической дозой ультрафиолетовой части солнечного спектра. Так, например, для стерилизации воздуха, в котором присутствуют микроорганизмы золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*), до уровней 90, 95 и 99 % требуются дозы ультрафиолетового облучения 130, 167 и 385 Дж/м³, соответственно [8]. То есть изменение уровня стерилизации от 90 до 99 % требует дозу облучения, увеличенную в 3 раза.

С этой точки зрения нормирование инсоляции жилых помещений только по продолжительности солнечного облучения несет большую неопределенность по уровню saniрующего действия инсоляции. Причина в том, что интенсивность солнечной радиации в течение дня не постоянная. Она изменяется от времени суток, месяца, ориентации фасадов зданий и других факторов.

На рис. 1 приведен график изменения интенсивности ультрафиолетовой солнечной радиации в течение суток для широты Казани и выделены двухчасовые участки продолжительности облучения в различные часы суток. Можно видеть, что при соблюдении нормативной двухчасовой продолжительности инсоляции дозы облучения будут различными. Дозы облучения утренних и околополуденных часов различаются более чем в 6 раз, что приведет к различному уровню санации помещений, хотя нормируемая двухчасовая продолжительность облучения обеспечена.

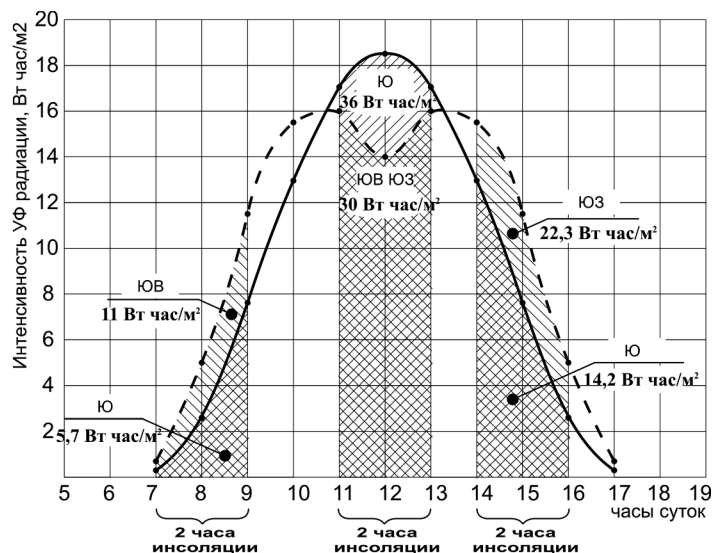


Рис. 1. Изменение интенсивности ультрафиолетовой солнечной радиации в течение суток на широте Казани в марте, по данным [9]: Ю – 5,7 Вт·час/м²; ЮВ – 11 Вт·час/м²; Ю – 14,2 Вт·час/м²; ЮЗ – 22,3 Вт·час/м²; ЮВ и ЮЗ – 30 Вт·час/м²; Ю – 36 Вт·час/м² – ориентация фасада и двухчасовые дозы ультрафиолетовой радиации в разное время суток (7-9, 11-13 и 14-16 часов)

Из вышеизложенного можно сделать единственный вывод: нормирование инсоляции помещений только по продолжительности солнечного облучения, без привязки к уровню санирующего действия, малоэффективно.

Информация о тепловой части солнечной радиации (прямой, рассеянной и суммарной) широко представлена в нормативной и научной литературе, которая используется для расчетов теплопоступлений в здания. Информация об ультрафиолетовой части солнечного облучения не носит систематического характера, что затрудняет ее использование для энергетических расчетов. Справочные таблицы по ультрафиолетовой облученности, приведенные в [9], не учитывают прозрачность атмосферы, особенно для крупных городов. Известно, что интенсивность ультрафиолетовой радиации весьма чувствительна к состоянию атмосферы. Аэрозоли, пыль, водяные пары могут понижать интенсивность ультрафиолетовой радиации на 50 и более процентов, что характерно для больших городов.

В связи с этим в настоящей работе представлены результаты натурных исследований по приходу ультрафиолетовой радиации к светопрозрачным конструкциям различных ориентаций в условиях города Казани. Исследованы 26 помещений, светопрозрачные конструкции которых ориентированы по 8 румбам (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ). Помещения располагались на различных этажах зданий, ряд помещений имели балконы или лоджии. Во время эксперимента фиксировался уровень облачности (от 0 – ясное небо до 10 – сплошная облачность).

Измерения ультрафиолетовой радиации проводились УФ-Радиометром «ТКА-ПКМ» (12) (№ 24248-09 в Госреестре средств измерений). Прибор позволяет фиксировать интенсивность ультрафиолетовой радиации (мВт/м²) в трех диапазонах: (200-280) нм – УФ-С; (280-315) нм – УФ-В и (315-400) нм – УФ-А. При измерении интенсивности солнечного облучения прибором «ТКА-ПКМ» получают завышенные данные за счет интенсивности радиации в диапазоне 650-730 нм, что заложено в конструкцию прибора. Для получения объективных результатов эта величина интенсивности должна вычитаться при измерениях в диапазонах А, В, С. Величина интенсивности в диапазоне 650-730 нм определяется при установке стеклянного желтого фильтра ЖС-11, который полностью отсекает ультрафиолетовую часть солнечного спектра (200-420 нм).

Определялась интенсивность ультрафиолетовой радиации, приходящая к светопрозрачной конструкции, проходящая через светопрозрачную конструкцию и приходящая к рабочей поверхности в помещении (уровень пола и уровень стола). Схемы расположения датчиков и расчетных точек на рабочей поверхности приведены на рис. 2.

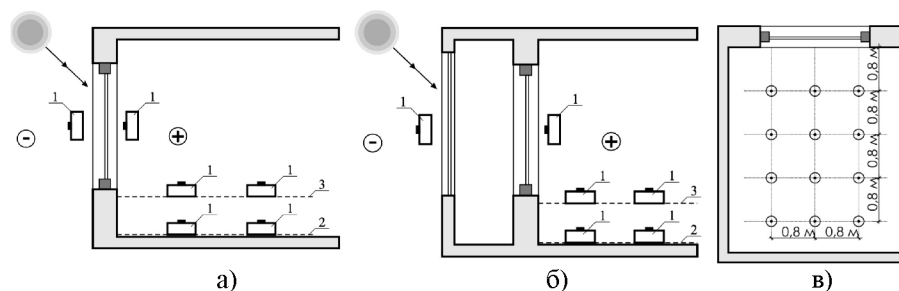


Рис. 2. Схемы расположения датчиков УФ-Радиометра (1): а) в помещении без балкона или лоджии; б) в помещении с балконом или лоджией; в) сетка расчетных точек на рабочих поверхностях; 2 – уровень пола; 3 – уровень стола

Таблица 1

**Приход ультрафиолетовой радиации к фасадам зданий
и ее поглощение светопрозрачными конструкциями**

№ пом.	Этаж	Светопрозрач. конструкция		Условия экспер.			Угол Θ^* , град	Интенсивность УФ-радиации, мВт/м ²		Поглощение УФ-радиации светопрозрач. констр., %
		окно	балкон	дата	время	облач.		перед светопрозрач. констр.	после светопрозрач. констр.	
север										
1	5	2 ^x -к/стекл.	-	22.06	12.20	8	-	2914	664	77
2	3	2 ^x -к/стекл.	-	12.05	17.10	5	-	2109	851	60
3	6	2 ^x -к/стекл.	1-к/стекл.	11.05	18.20	0	-	893	179	80
восток										
9	9	2 ^x -к/стекл.	-	21.05	12.45	0	-	3444	1488	57
10	5	1-к/стекл.	1-к/стекл.	21.05	13.30	0	-	1609	636	60
11	9	2 ^x -к/стекл.	1-к/стекл.	04.06	13.50	10	-	276	74	73
юг										
15	6	1-к/стекл.	1-к/стекл.	05.06	12.30	10	56	2202	572	74
16	3	1-к/стекл., внеш. стекло энергосб	1-к/стекл. обыч. закал. стекло	13.05	13.45	0	60	7393	325	96
17	1	2 ^x -к/стекл.	-	04.06	14.00	10	64	1177	688	42
18	3	2 ^x -к/стекл.	-	13.05	14.30	0	65	2210	888	60

*Угол Θ – угол между направлением солнечного луча и нормалью к поверхности светопрозрачной конструкции.

В табл. 1 приведены некоторые результаты натуральных экспериментов для помещений, светопрозрачные конструкции которых ориентированы на север, восток и юг. Следует обратить внимание на наличие ультрафиолетового облучения в помещениях, в которые не попадает прямой солнечный луч (в столбце «угол между направлением луча и нормалью к поверхности» не стоит величина угла). Это означает, что данные помещения облучаются не прямой, а только рассеянной ультрафиолетовой радиацией. Можно видеть, что величина интенсивности ультрафиолетового облучения этих помещений того же порядка, что и при суммарном облучении, когда солнечный луч проникает в помещение. Из этого следует важный вывод: рассеянное ультрафиолетовое облучение является значимой частью при санации помещений.

В результате исследования 26 жилых помещений установлено, что светопрозрачные конструкции, используемые в современном массовом жилищном строительстве, поглощают от 25 до 96 % проходящей к ним ультрафиолетовой радиации. Значительное поглощение ультрафиолетовой радиации отмечается в тех помещениях, перед которыми расположен застекленный балкон или лоджия. Наибольшее поглощение ультрафиолетовой радиации обнаружено у светопрозрачных конструкций с энергосберегающими и закаленными стеклами (помещение 16). Поглощение зависит от конструктивных особенностей светопрозрачных ограждений, их ориентации по сторонам горизонта, времени суток, даты и месяца года.

Таким образом, в исследованные жилые помещения проникает от 4 до 75 % ультрафиолетового облучения, и дальнейшими исследованиями предполагается оценить достаточность или недостаточность этой радиации для обеспечения необходимого уровня обеззараживания жилых помещений.

В процессе эксперимента определялся приход ультрафиолетовой радиации к светопрозрачной конструкции и ее поглощение этой конструкцией в диапазонах длин волн А, В и С. В табл. 2 приведены результаты этих измерений по некоторым помещениям. Условия эксперимента и описание светопрозрачных конструкций для исследованных помещений приведены в табл. 1.

Таблица 2

**Приход ультрафиолетовой радиации к фасадам зданий
и ее поглощение светопрозрачными конструкциями в диапазонах длин волн А, В, С**

№ пом.	Интенсивность УФ-радиации, мВт/м ²						Поглощение УФ-радиации светопрозрачной конструкцией, %		
	перед светопрозрачной конструкцией			после светопрозрачной конструкции			УФ-А	УФ-В	УФ-С
	УФ-А	УФ-В	УФ-С	УФ-А	УФ-В	УФ-С			
СЕВЕР									
1	2390	74	450	577	5	82	76	93	82
2	1832	37	240	747	5	99	60	87	59
3	737	8	148	159	0	20	78	100	87
ВОСТОК									
9	2788	82	574	1294	10	184	54	88	68
10	1344	38	227	587	4	45	56	90	80
11	239	4	33	67	0	7	72	100	80
ЮГ									
15	1851	44	307	532	4	36	71	91	88
16	5428	99	1866	302	3	20	94	97	99
17	927	28	222	577	2	109	38	93	51
18	1922	59	217	796	7	80	87	88	63

Анализ таблицы 2 показывает, что, вопреки сложившемуся мнению, диапазон бактерицидной радиации УФ-С (200-280 нм) присутствует в суммарном потоке ультрафиолетовой радиации и даже проходит через светопрозрачную конструкцию. В этом диапазоне существует длина волны 254 нм, которая обладает максимальным бактерицидным действием. Для этой длины волны в ряде работ [7, 8] приведены данные по необходимому уровню бактерицидной эффективности облучения помещений различного назначения и соответствующей этому уровню дозы облучения как для стерилизации воздуха в объеме помещения, так и для стерилизации облучаемой поверхности.

Нормы сформированы для различных помещений медицинских учреждений, для жилых помещений подобные нормы отсутствуют. Вместе с тем указано, что бактерицидная эффективность для патогенной микрофлоры не должна быть ниже 70 %. По-видимому, в первом приближении, до появления отечественных нормативов, бактерицидная эффективность облучения для жилых помещений может быть принята на уровне 70 %.

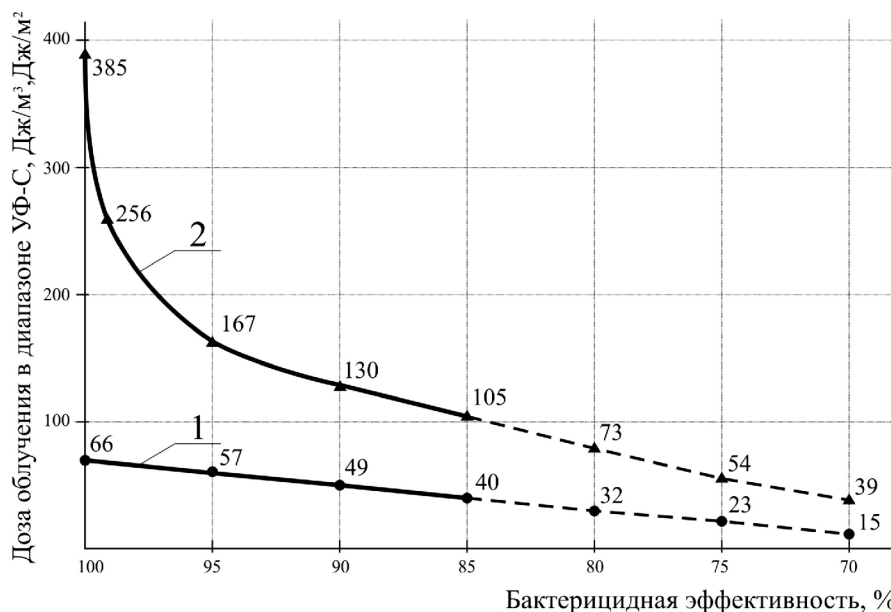


Рис. 3. Поверхностные (1), Дж/м² и объемные (2), Дж/м³ дозы облучения (диапазон УФ-С) для различных уровней бактерицидной эффективности (%) для золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*) и кишечной палочки (*Escherichia Coli*)

На рис. 3 приведена зависимость уровня бактерицидной эффективности от получаемой дозы ультрафиолетового облучения, составленная по данным [7]. Дозы облучения для уровней 99,9 %, 95 %, 90 % и 85 % взяты по данным [7], дозы для уровня 70 % получены методом экстраполяции кривых.

Результаты натурального эксперимента позволяют перейти к расчету доз ультрафиолетового облучения помещений в диапазоне бактерицидной радиации УФ-С. Исходными данными для расчета служат: интенсивность ультрафиолетовой радиации после светопрозрачной конструкции (J_c , мВт/м²), параметры помещения (длина L , ширина B и высота H , в м) и параметры («в свету») светового проема (ширина b и высота h , в м). Полное количество энергии, прошедшее через площадь окна (Q , мВт), определится произведением часовой интенсивности (J , Вт/м²) на площадь светопрозрачной части проема ($b \cdot h$, м²):

$$Q = J \cdot b \cdot h, \text{ Вт} \quad (1)$$

Энергетическая доза в воздухе помещения определится как произведение Q на продолжительность облучения (τ , часы), отнесенную к объему помещения:

$$\Delta = Q \cdot \tau / (L \cdot B \cdot H), \text{ Дж/м}^3 \quad (2)$$

Величина τ принята равной нормируемой продолжительности инсоляции для Казани – 2 часа (7200 сек).

Результаты расчета доз ультрафиолетового облучения по некоторым помещениям представлены в табл. 3. Характеристика исследованных помещений и условия эксперимента представлены в табл. 1. В соответствии с рассчитанными дозами ультрафиолетового облучения в предпоследнем столбце таблицы приведены уровни бактерицидной эффективности, определенные по графикам рис. 3.

Таблица 3

Дозы ультрафиолетового облучения в объеме воздуха исследованных помещений

№	Помещения			окно $b \cdot h, \text{м}^2$	$J_{\text{с}},$ $\text{мВт}/\text{м}^2$	$Q,$ Вт	$\Delta,$ $\text{Дж}/\text{м}^3$	Бактериц. эффективность, %	Прим.
	Ориентация	$L, \text{м}$	$V, \text{м}^3$						
2	С	3,4	37	2,8	100	0,28	54	75	-
9	В	2,8	20,8	1,8	186	0,335	116	87	-
10	В	5,6	50,3	3,0	46	0,138	20	<70	балкон
12	ЮВ	3,4	38	3,3	342	1,129	214	97	2 окна
17	Ю	4,6	43	3,4	110	0,374	63	77	2 окна
18	Ю	4,0	33,6	1,65	81	0,134	29	<70	балкон
21	ЮЗ	4,5	38	2,7	118	0,319	60	76	-

Анализ табл. 3 показывает, что в летний период уровень бактерицидной эффективности, при двухчасовом облучении большинства помещений, превышает необходимые 70 % даже для помещений, ориентированных на север. Помещения с застекленными балконами или лоджиями не имеют необходимого уровня бактерицидной эффективности (пом. 10 и 18), несмотря на то, что измерения проводились при безоблачном небе.

Энергетическая доза на рабочих поверхностях помещения (уровень стола и уровень пола) определится как произведение интенсивности облучения этой поверхности в диапазоне длин волн УФ-С ($J_{\text{п}}, \text{мВт}/\text{м}^2$) на продолжительность облучения (τ , часы). Величина τ равна нормируемой продолжительности облучения – 2 часа (7200 сек.). Величина $J_{\text{п}}$ для исследованных помещений получена в результате измерения по схеме рис. 2. В качестве примера на рис. 4 приведены результаты измерения интенсивности ультрафиолетовой радиации в диапазоне УФ-С в расчетных точках на полу помещений 12, 18, 21 в $\text{мВт}/\text{м}^2$.

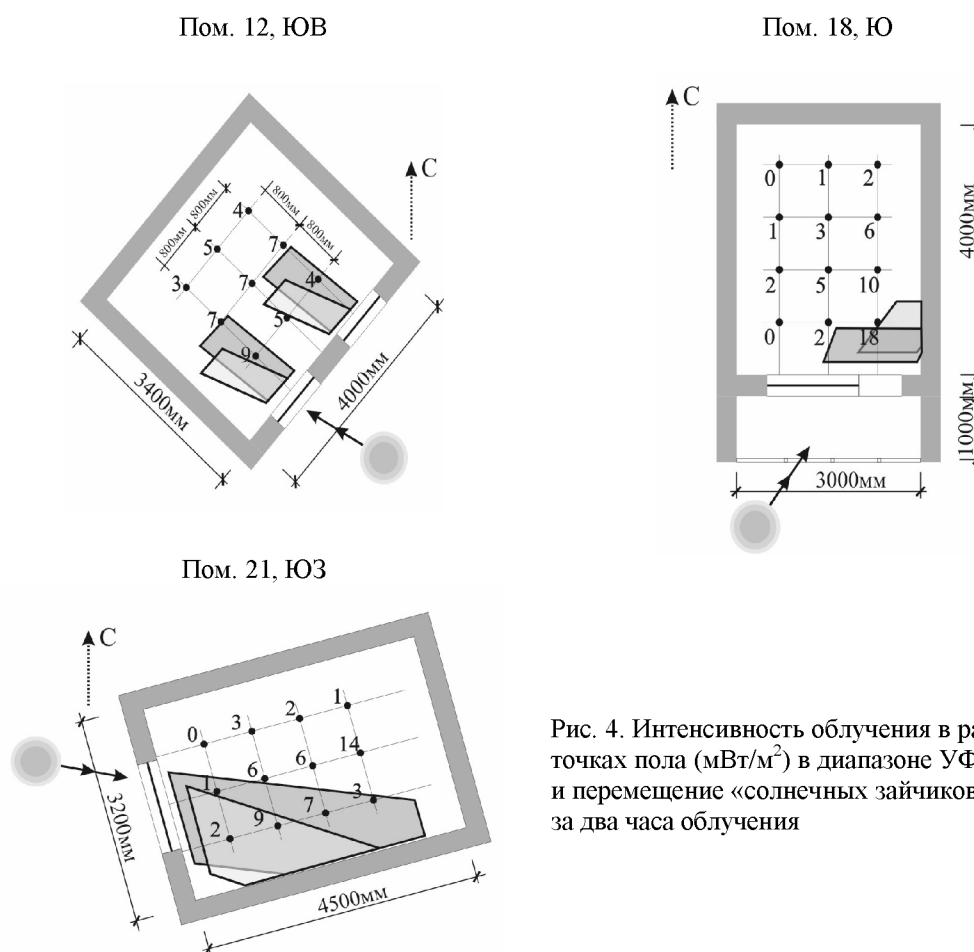


Рис. 4. Интенсивность облучения в расчетных точках пола ($\text{мВт}/\text{м}^2$) в диапазоне УФ-С и перемещение «солнечных зайчиков» от окон за два часа облучения

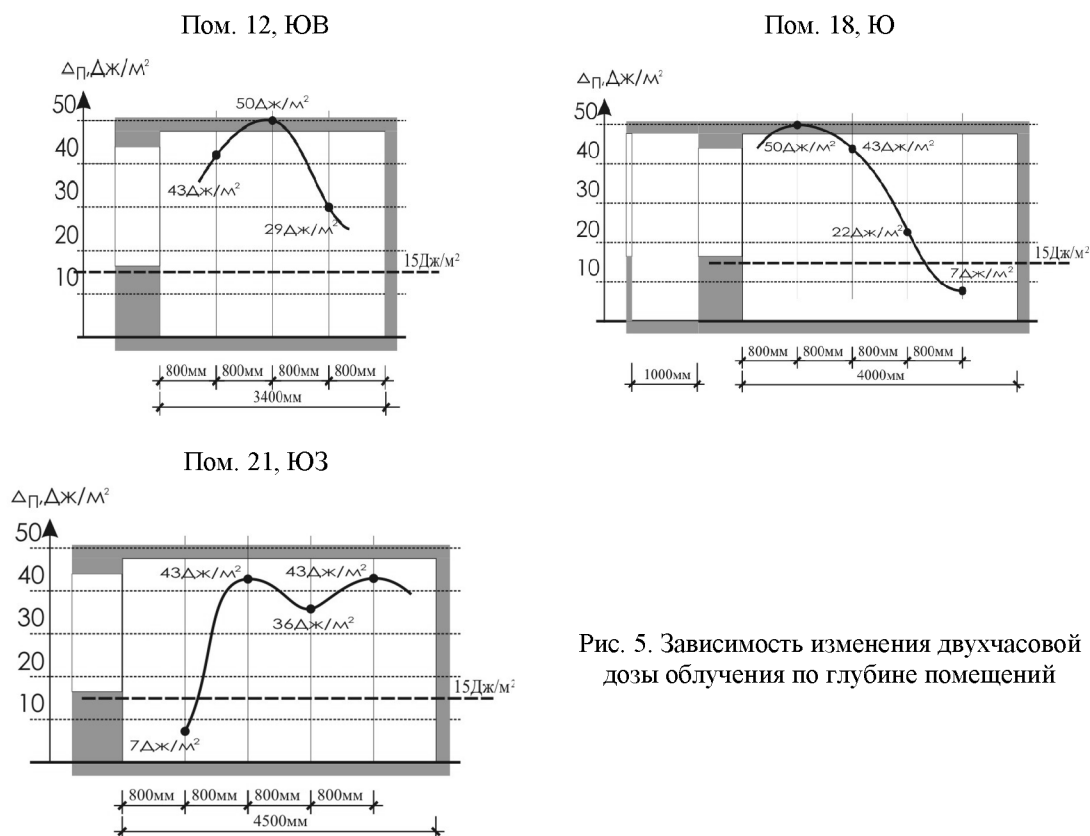


Рис. 5. Зависимость изменения двухчасовой дозы облучения по глубине помещений

На этих же рисунках показано перемещение «солнечных зайчиков» от окон за расчетную продолжительность два часа. Показатели интенсивности облучения в расчетных точках усреднялись по ширине помещений (по линиям, параллельным окну). В результате получены зависимости изменения интенсивности облучения по глубине помещения. По усредненным значениям интенсивности облучения по глубине помещения рассчитаны дозы радиации (Δ_p , Дж/м²) за 2^х часовой период облучения. Изменения доз радиации по глубине помещения приведены на разрезах помещений на рис. 5 в сравнении с величиной дозы 15 Дж/м², при которой обеспечивается минимально допустимая бактерицидная эффективность для поверхности – 70 %.

Заключение

Натурные измерения интенсивности ультрафиолетовой радиации, приходящей к фасадам зданий различных ориентаций, показали, что величина этой интенсивности в несколько раз ниже значений, приводимых в справочных таблицах пособия [9]. Причиной этого, по нашему мнению, является реальная «замутненность» атмосферы крупного города, которая поглощает ультрафиолетовую радиацию.

Исследования показали, что, вопреки общепринятому мнению, в суммарном потоке ультрафиолетовой радиации значительную часть составляет радиация диапазона УФ-С (200-280нм), которая не только приходит к фасадам зданий, но и проникает в помещение через светопрозрачную конструкцию.

Измерения ультрафиолетовой радиации, приходящей в помещения через светопрозрачные конструкции, показали, что величина рассеянной ультрафиолетовой радиации одного порядка с прямой, а для некоторых помещений даже превышает прямую. Этот факт корректирует наши представления о принципах инсоляции помещений.

По методике, предложенной в работе, были рассчитаны дозы ультрафиолетовой радиации (в том числе в диапазоне УФ-С) в объеме помещений и на рабочих поверхностях (пол помещения). Получено, что в летние месяцы дозы радиации, полученные за нормируемую продолжительность облучения 2 часа, обеспечивают необходимый уровень

бактерицидной эффективности 70 % не только помещений, облучаемых солнцем, но также помещений северной ориентации, куда не попадают прямые солнечные лучи.

Исследованиями установлено также, что наличие застекленного балкона или лоджии перед помещением не обеспечивает необходимого уровня бактерицидной эффективности в воздухе жилых помещений.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.2.2645-10. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий: Нормы проектирования. – утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 10.06.10 № 64 и введ. 15.08.10.
2. Беликова В.К. Естественная ультрафиолетовая радиация и ее бактерицидное значение // Гигиена и санитария, 1966, № 4. – С. 5-14.
3. Беликова В.К. Бактерицидное значение излучения солнца, проникающего в помещение // Гигиена и санитария, 1957, № 11. – С. 8-15.
4. Беликова В.К. Гигиеническая оценка опытных образцов оконного стекла // Гигиена и санитария, 1964, № 1. – С. 21-27.
5. Галанин Н.Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. – Л.: Медицина, 1969. – 184 с.
6. Данциг Н.М. Обоснование гигиенических требований к инсоляции помещений жилых и общественных зданий и жилой застройки населенных мест // Гигиена и санитария, 1968, № 5. – С. 18-22.
7. 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).
8. Дозы облучения необходимые для обеззараживания. [Электронный ресурс] / Научно-производственное объединение «ЛИТ». URL: <http://www.npo.lit.ru> (дата обращения: 09.04.2010).
9. Руководство по строительной климатологии (Пособие по проектированию). – М.: Стройиздат, 1977. – 327 с.

Kupriyanov V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kupriyan@kgasu.ru

Khalikova F.R. – assistant, engineer and architect

E-mail: khalikova_f@mail.ru

Kazan State university of Architecture and Engineering

Address of the organization: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Field investigation of the energy parameters of insolation of residential premises

Resume

In existing regulations quantitative measure of insolation of accommodation is the duration of their exposure to direct sunlight. However, it is known that the effectiveness of the sanitizing sunlight is linked not only to the duration of exposure, but also with the magnitude of the intensity of the exposure, but rather with energy radiation dose (product of the intensity of radiation at the time of exposure), which comes to a test object of microorganisms. The results of measuring the intensity of the ultraviolet radiation of the sun on the surfaces of translucent structures and the working surfaces 26 residential buildings oriented to 8 points off. The technique, which allows to calculate the dose of ultraviolet radiation (including the range of UV-C) in the amount of space and on work surfaces (floor space). Proposed level of bactericidal efficiency for homes, which allowed to determine the level of hygiene being investigated premises. It is found that in the summer the radiation dose received during the duration of exposure normative 2 hours, provide the required level of 70 % bactericidal efficiency is not

only sun exposed areas, but also areas of northern orientation, which is not directly exposed to sun rays. Room with glazed balconies or loggias have the necessary level of bactericidal efficacy, despite the fact that the measurements were carried out at the cloudless sky.

Key words: ultraviolet radiation, translucent design, bactericidal efficiency, energy dose, orientation.

References

1. SanPiN 2.1.2.2645-10. Hygienic requirements for insolation and sun protection residential and public buildings and areas: Standards design. – approved. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 10.06.10 № 64 and enter. 15.08.10.
2. Belikova V.K. Natural ultraviolet radiation and its bactericidal value // Hygiene and sanitation, 1966, № 4. – P. 5-14.
3. Belikova V.K. Bactericidal value of solar radiation that enters the room // Hygiene and sanitation, 1957, № 11. – P. 8-15.
4. Belikova V.K. Hygienic evaluation of prototypes of window glass // Hygiene and sanitation, 1964, № 1. – P. 21-27.
5. Galanin N.F. Radiant energy and its hygienic value. – L.: Medicine, 1969. – 184 p.
6. Danzig N.M. Justification hygiene to insolation residential and public buildings and residential areas populated areas // Hygiene and sanitation, 1968, № 5. – P. 18-22.
7. Leaders R 3.5.1904-04. The use of ultraviolet germicidal radiation disinfection indoor air: approved. Chief Medical Officer of the Russian Federation of 04.04.2004 G.G. Onischenko. (date of implementation 04.04.2004).
8. The radiation dose required for disinfection. [Electronic resource] / Scientific-Production Association «LIT». URL: <http://www.npo.lit.ru> (reference date: 09.04.2010).
9. Guide to Building Climatology (Benefit design). – M.: Stroizdat, 1977. – 327 p.