

Получена: 31.08.2017 г.

Приета: 21.11.2017 г.

МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА БАЛАНСА МЕЖДУ СОЛАРНИ ТОПЛИННИ ПЕЧАЛБИ И ТОПЛИННИ ЗАГУБИ ОТ ТОПЛОПРЕМИНАВАНЕ ПРЕЗ ЗИМНИТЕ МЕСЕЦИ В ЕНЕРГИЙНО ЕФЕКТИВНИТЕ СГРАДИ

Ст. Иванова¹, Пл. Чобанов²

Ключови думи: слънчеви топлинни печалби, слънчева радиация, соларен фактор, пасивен слънчев дизайн

РЕЗЮМЕ

От ключово значение за всяка енергийноэффективна сграда е изборът на параметрите на сградното остъкляване. От него зависи как ще се осигури превес на соларните топлинни печалби през остъклените части на сградата над топлинните загуби от топлопреминаване през цялата сградна обвивка, което гарантира изпълнението на най-важния принцип на пасивния слънчев дизайн за зимния сезон. Целта на настоящата публикация е да оцени при какви количествени и качествени характеристики на остъкляването може да се реализира обобщеният баланс на топлинни печалби и загуби по месеци през зимния период. Очаквано най-критични за този баланс са най-студените зимни месеци, които са предмет на по-детайлен интерес и изследване. Разработката е базирана на референтните стойности на параметрите на елементите на сградната обвивка, посочени в Наредба № 7.

¹ Стоянка Иванова, доц. д-р арх., кат. „Автоматизация на инженерния труд“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: solarja@mail.bg

² Пламен Чобанов, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: chobanov_fce@uacg.bg

1. Въведение

От ключово значение за всяка енергийно ефективна сграда е изборът на параметрите на сградното остъкляване. От него зависи как ще се осигури превес на соларните топлинни печалби през остъклените части на сградата над топлинните загуби от топлопреминаване през цялата сградна обвивка, което гарантира целите на пасивния слънчев дизайн за зимния сезон.

Най-важните параметри, влияещи върху избора на стъкла за прозорците, са:

- Коефициентът на топлопреминаване на прозореца $U_{пр}$. По дефиниция [1] този коефициент [W/m^2K] показва какво количество топлина Q протича за единица време (обикновено секунда) на квадратен метър през един строителен елемент, ако температурната разлика между двете страни е равна на $1\text{ }^{\circ}C$ (или 1 Келвин).
- Коефициент на сумарна пропускливост на слънчева енергия през прозореца [2], наричан още соларен фактор g или Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) [3], [4]. Той се определя като съотношение между сумата от директно преминалата енергия и онази част от абсорбираната от стъклото енергия, която се излъчва от остъкляването към вътрешното пространство от една страна и падащата глобална слънчева радиация от друга страна. Соларният фактор се мери в проценти и се използва за определяне на соларните печалби през прозореца.
- Светлопропускливост – TL (visual transmittance VT) на прозорците [5]. Този параметър също се измерва в проценти и касае преминаването на видимата светлина. Обикновено неговата стойност има връзка със соларния фактор. Това е така, понеже светлината е видимата част от пълния слънчев спектър, преминаването на който през прозореца определя стойността на соларния фактор.

С развитието на науката и техниката се разработват все по-иновативни, от гледна точка на разглеждания аспект, стъкла. В зависимост от вида си, те контролирано управляват количеството и качеството (спектъра) на пропусканата от тях слънчева радиация.

Разработени са стъкла със специални покрития, които пропускат избирателно видимата светлина, като задържат избирателно само някои нежелани части от спектъра. Пример за такива разработки са стъклата с UV защита, в зависимост от степента на защита условно могат да се групират в три групи: предлагащи слаба защита; към втората група се отнасят цветното или отразяващо (рефлексно) стъкло, блокиращо от $55 \div 75\%$ от UV лъчите; и такива, блокиращи до 99% от UV спектъра [6].

Има проектирани и разработени стъкла, които задържат инфрачервеното излъчване IR. Те биха могли успешно да се използват при горещ климат, за да блокират проникването на топлината от външната среда вътре в помещенията [6].

Друг вариант е нискоемисионното стъкло Low-E (обикновено се изпълнява, като се нанася тънко покритие от сребърни окиси). Този подход дава възможност на слънчевата радиация да навлиза в сградата, като в същото време се блокира движението на топлината в обратна посока навън, това намалява значително топлинните загуби. Това стъкло има нисък коефициент на топлопреминаване U [4] и е подходящо за приложение при студен и умерен климат.

Друга група са така наречените „адаптивни“ прозорци и стъкла [7]. Те притежават променлива пропускливост (т.е. променлив соларен фактор), който расте при ниски температури и/или ниски стойности на слънчевата радиация, за да е в състояние да

осигури нужните максимални соларни печалби. При високи температури и/или високи стойности на слънчевата радиация (характерни за летния период), соларният фактор намалява, което блокира проникването на топлина в сградата и следователно намалява разходите за климатизация.

Друга интересна група са „умните“ (smart) прозорци [8]. Те са близки до адаптивните, но постигат желаните ефекти по някой от следните начини: електрохроматичен, газохроматичен, електрофоретичен или с течни кристали. Това изисква сложни системи за управление, които отчитат и реагират на моментното състояние на слънчева радиация.

Целта на настоящата публикация е да оцени при какви количествени и качествени характеристики на остъкляването може да се реализира обобщеният баланс на топлинни печалби и загуби по месеци през зимния период. Очаквано най-критични за този баланс са най-студените зимни месеци, които са предмет на по-детайлен интерес и изследване. Разработката е базирана на референтните стойности на параметрите на елементите на сградната обвивка, посочени в Наредба № 7. В по-ранна публикация [9] авторите изследваха с подобна методика баланса на топлинните печалби и загуби през зимния сезон по обобщени показатели.

2. Методология и резултати

Нека първо разгледаме начините за изчисляване на топлинните печалби и загуби през различните части на сградната обвивка през зимния период.

2.1. Топлинни печалби и загуби през прозрачни и непрозрачни повърхности

Известно е, че през остъклените сградни повърхности преминава значителна част от слънчевата радиация. Тя е толкова по-голяма, колкото е по-висок соларният им фактор. Ниската му стойност означава, че прозорецът ще задържа проникването на слънчеви лъчи в по-голяма степен.

Топлинните печалби от слънцегреене през остъклени повърхности $Q_{\text{печалби}}$ за един зимен ден се изчисляват по формулата:

$$Q_{\text{печалби}} = g \cdot I \cdot A_{\text{см}}, \quad (1)$$

където g е соларен фактор на прозореца [%];

I – общата среднодневна глобална радиация върху повърхността на прозореца [Wh/m²/day];

$A_{\text{см}}$ – площ на остъклената част на прозореца [m²].

Топлинните загуби от топлопреминаване през остъклени повърхности $Q_{\text{загуби}}$ за едно денонощие от месец от отоплителния сезон се изчисляват по формулата:

$$Q_{\text{загуби}} = 24 \frac{DD}{Nd} A_{\text{np}} \cdot U_{\text{np}}, \quad (2)$$

където DD са отоплителни денградуси за съответния месец, по таблица в Наредба № 7 [2];

Nd – брой дни на месеца;

U_{np} – обобщен коефициент на топлопреминаване на прозореца [W/m²K];

A_{np} – площ на прозореца [m²].

По същия начин се изчисляват топлинните загуби от топлопреминаване и през плътните части на сградната обвивка. Топлинните печалби, предизвикани от слънчево греене върху плътните части на сградната обвивка са минимални през зимата при сравнително светъл цвят на стената и затова обикновено се игнорират.

2.2. Баланс на слънчеви печалби и топлинни загуби по месеци през остъклени повърхности

Нека разгледаме баланса на пасивните слънчеви печалби и топлинните загуби в рамките на едно зимно денонощие през отделен прозорец. За да се осигури такъв баланс и даже евентуално превес на печалбите над загубите, за тях трябва да е изпълнено условието $Q_{\text{печалби}} \geq Q_{\text{загуби}}$, представено в неравенство (3):

$$g \cdot I \cdot A_{cm} \geq \frac{24 \cdot A_{np} \cdot DD \cdot U_{np}}{Nd} \quad (3)$$

Ако приемем, че площта на прозореца A_{np} е приблизително равна на площта на остъклената му част A_{cm} , получаваме следната максимална стойност на съотношението между U_{np} и g на прозореца:

$$\frac{U_{np}}{g} \leq \frac{Nd}{24 \cdot DD} I \quad (4)$$

Всички променливи, участващи от дясната страна на неравенство (4) показват, че това съотношение зависи от географската ширина, специфичните климатични и географски особености на района, както и от изложението на прозореца. Нека приложим тази формула за гр. София. Месечните данни за средния интензитет на глобалната слънчева радиация по основните изложения под незасенчено небе през зимните месеци са дадени в табл. 1 в мерни единици [W/m^2] [2]. Тези стойности, умножени по 24 часа, дават среднодневната глобална радиация върху повърхността на прозореца, измерена в [$\text{Wh}/\text{m}^2/\text{day}$]. В табл. 2 са посочени данни за средномесечната температура в гр. София за зимните месеци [2] и изчислените на тази база денградуси DD при средна температура в сградата 19°C .

Таблица 1. Среден интензитет на глобалната слънчева радиация по зимни месеци и изложения (за гр. София) в [W/m^2] – по данни от Наредба № 7 [2]

Изложение	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
Юг	102.4	70.1	55	70.1	93.5	101.4
Изток/Запад	67.5	41	30.6	39.4	58.5	77.7
Север	41.2	25.1	18.5	22.9	35	51.1

Таблица 2. Данни за външна температура и денградуси по зимни месеци (за гр. София) при средна температура в сградата 19°C – по данни от Наредба № 7 [2]

	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
Брой дни	31	30	31	31	28	31
Средна $t^\circ\text{C}$	11.2	5.1	0.4	-0.4	0.2	4.6
Денградуси	241.8	417	576.6	601.4	526.4	446.4

При тези данни с помощта на формула (4) за София се получават следните максимално допустими стойности на пропорцията U_{np}/g (вж. табл. 3):

Таблица 3. Максимално допустими стойности на пропорцията U_{np}/g за гр. София

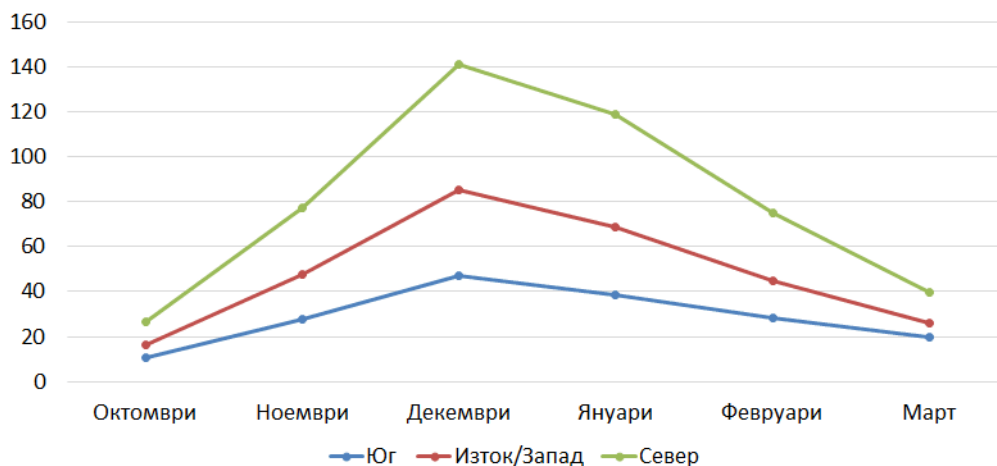
Изложение	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
Юг	13.128	5.043	2.957	3.613	4.973	7.042
Изток/Запад	8.654	2.950	1.645	2.031	3.112	5.396
Север	5.282	1.806	0.995	1.180	1.862	3.549

При текущата референтна стойност на $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ в Наредба № 7 получаваме следните минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти (вж. табл. 4). Данните са визуализирани във фиг. 1.

Таблица 4. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти за гр. София при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Изложение	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
Юг	10.7	27.8	47.3	38.7	28.1	19.9
Изток/Запад	16.2	47.5	85.1	68.9	45.0	25.9
Север	26.5	77.5	140.8	118.6	75.2	39.5

Минимални стойности на соларния фактор g при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$



Фиг. 1. Минимални стойности на соларния фактор g в проценти по изложения при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

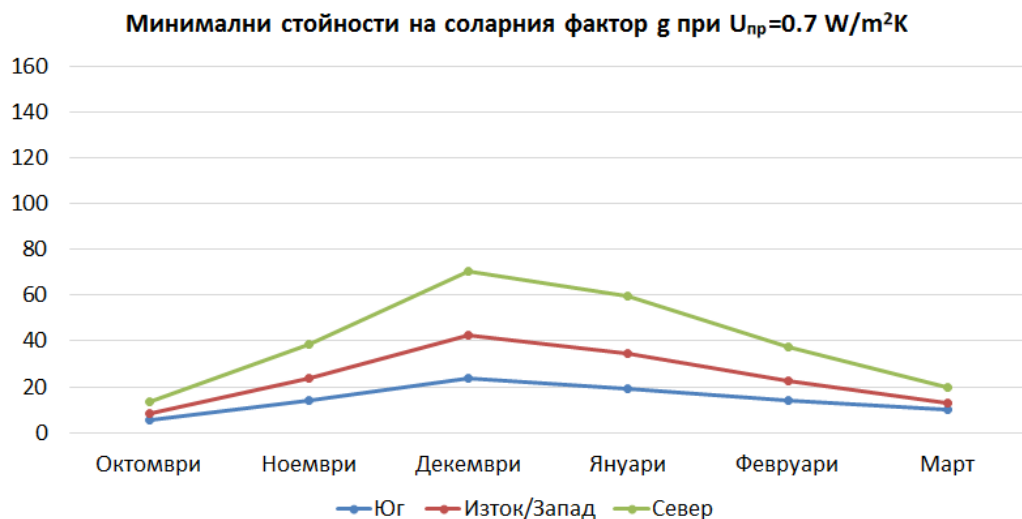
Графиката във фиг. 1 показва, че южен прозорец с $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ и соларен фактор под 50% лесно изпълнява условието за баланс на печалби от слънцегреене и топлинни загуби от топлопреминаване. При прозорци с източно или западно изложение проблемни са само месеците декември и януари, защото са нужни стъкла със соларен фактор съответно над 85% (за декември) и 69% (за януари), като е известно, че максималният възможен соларен фактор при единично стъкло е 85%. Северните прозорци се нуждаят от стъкла със соларен фактор, по-висок от 75% за месеците от ноември до февруари, като за месеците декември и януари g трябва да има непостижимите стойности от 141% и 119%.

Това означава, че при северните прозорци с $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ не може да има баланс на слънчеви печалби (дължащи се изцяло на дифузната слънчева радиация през зимата) и топлинни загуби, независимо от соларния им фактор. Следователно за северни прозорци трябва да се избират решения с по-ниска стойност на U_{np} или да се разчита на слънчева радиация и от други изложения. Може да се определи, че за соларен фактор 70% е нужен коефициент за топлопреминаване на северния прозорец $U_{np} \leq 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Повтаряме горните изчисления със стойност $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$. В този случай се получават следните минимални стойности на соларния фактор по изложения (вж. табл. 5 и фиг. 2):

Таблица 5. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти за гр. София при $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Изложение	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
Юг	5.3	13.9	23.7	19.4	14.1	9.9
Изток/Запад	8.1	23.7	42.5	34.5	22.5	13.0
Север	13.3	38.8	70.4	59.3	37.6	19.7



Фиг. 2. Минимални стойности на соларния фактор g в проценти по изложения при $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Изискването при северно изложение да се ползват прозорци със соларен фактор над 70% е възможно да се изпълни, тъй като съществуват прозорци с такъв соларен фактор – троен стъклопакет и нискоемисионно стъкло.

Трябва да се има предвид, че неравенство (3) предполага, че прозорецът губи топлина равномерно, т.е. с едно и също темпо през цялото зимно денонощие. Обаче, ако се приложат допълнителни мерки (щори, прегради и др.) за намаляване на топлинните загуби през прозорците през нощта, тогава би могъл да се ползва прозорец и с по-ниска стойност на соларния фактор g .

Замърсяването на прозорците, както и засенчването на небосвода от други обекти, намалява среднодневните стойности на глобална слънчева радиация. Това реципрочно завишава изискванията към соларния фактор g .

При увеличаване на топлопредаването по някакви причини (вятър и др.) загубата на топлина (от сградата навън) нараства. Това важи за цялата обвивка (ограждаща конструкция), както за плътните ѝ части, така и за остъклените [10]. Следователно в тези случаи ефективната стойност на U_{np} нараства и се завишават изискванията към g .

2.3. Баланс на слънчеви печалби и топлинни загуби през външна стена с плътни и остъклени части

Колкото повече соларният фактор на прозорците надвишава минималните изчислени по-горе стойности, толкова по-вероятно е проникващата през остъклените части на стената слънчева радиация да е в състояние да компенсира топлинните загуби и през плътните ѝ части, т.е. стената да работи енергийно сама за себе си. Нека видим при какви обстоятелства е възможно това.

Да разгледаме външни плътни стени, разположени по основните географски посоки, върху които са разположени прозорци, които са проценти (променят се от 10% до 100% при стъпка 10%) от площта на всяка плътна стена. Целта е да установим по какъв начин частта на остъкляването P и коефициентът на топлопреминаване U_{cm} на стената влияе на отношението на U_{np} към g и оттам на минималната стойност g_{min} при фиксирана стойност на U_{np} . В този случай тръгваме от неравенството:

$$g.I.P \geq \frac{24.DD.U_{np}}{Nd} . P + \frac{24.DD.U_{cm}}{Nd} . (1 - P) . \quad (5)$$

Както и преди обяснихме, в изчисленията ни не са включени топлинните печалби, предизвикани от слънчево греене върху плътните части на стената, понеже са минимални през зимата. Така след преобразуването се получава:

$$g_{min} = \frac{24.DD}{Nd.I} \cdot \left[U_{np} + U_{cm} \cdot \frac{1 - P}{P} \right] . \quad (6)$$

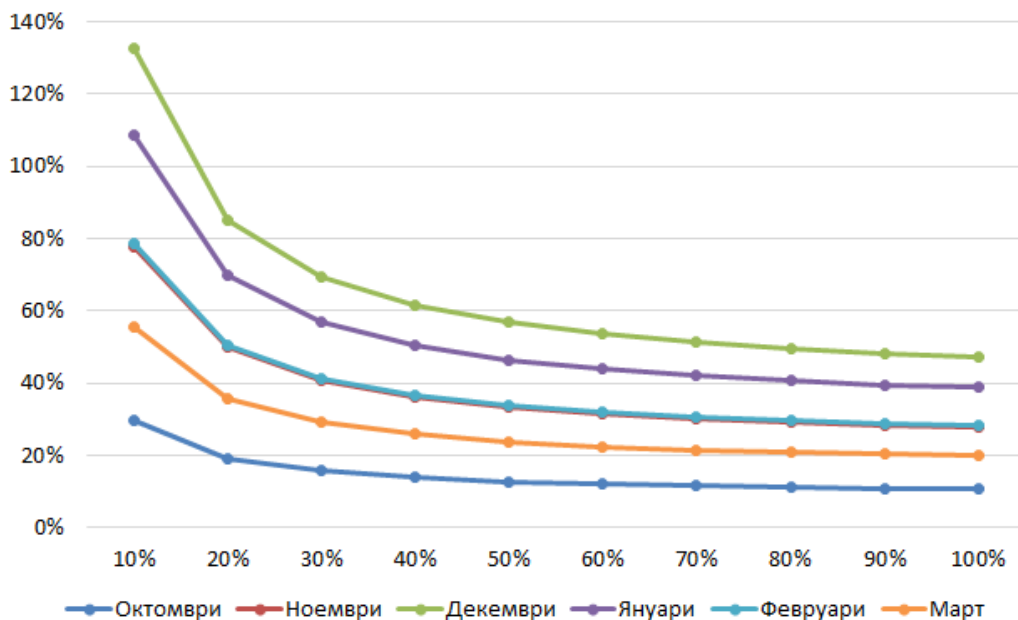
Нека приложим формула (6) към параметрите на прозорците и изложенията, които използвахме по-горе, като добавим към тях коефициент на топлопреминаване на стената $U_{cm} = 0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

В табл. 6, 7 и 8 и съответно на фиг. 3, 4 и 5 са показани резултатите за минималните стойности на соларния фактор g за различните изложения при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Вижда се, че с увеличаване на процента на остъкляване P намаляват изискванията към соларния фактор g , като зависимостта между тях не е линейна. При нарастване на процента остъкляване от 10% на 100% изискванията към g намаляват с 64.3% при всички изложения, а при нарастване на процента остъкляване от 50% на 100% – минималният соларен фактор намалява със 7.14%. От друга страна, дори 100% остъкляване на северната стена през декември дава невъзможно висока стойност на g_{min} (140%). Това означава, че при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ топлинните загуби през северната стена задължително трябва да бъдат компенсирани чрез соларни печалби и от другите фасади за най-студените месеци декември и януари.

Таблица 6. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти в зависимост от процента остъкляване при южно изложение за гр. София при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Остъкляване	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
10%	30%	78%	133%	108%	79%	56%
20%	19%	50%	85%	70%	51%	36%
30%	16%	41%	69%	57%	41%	29%
40%	14%	36%	62%	50%	37%	26%
50%	13%	33%	57%	46%	34%	24%
60%	12%	31%	54%	44%	32%	23%
70%	12%	30%	51%	42%	31%	22%
80%	11%	29%	50%	41%	30%	21%
90%	11%	28%	48%	40%	29%	20%
100%	11%	28%	47%	39%	28%	20%

Зависимост на g_{min} от процента остъкляване при южно изложение

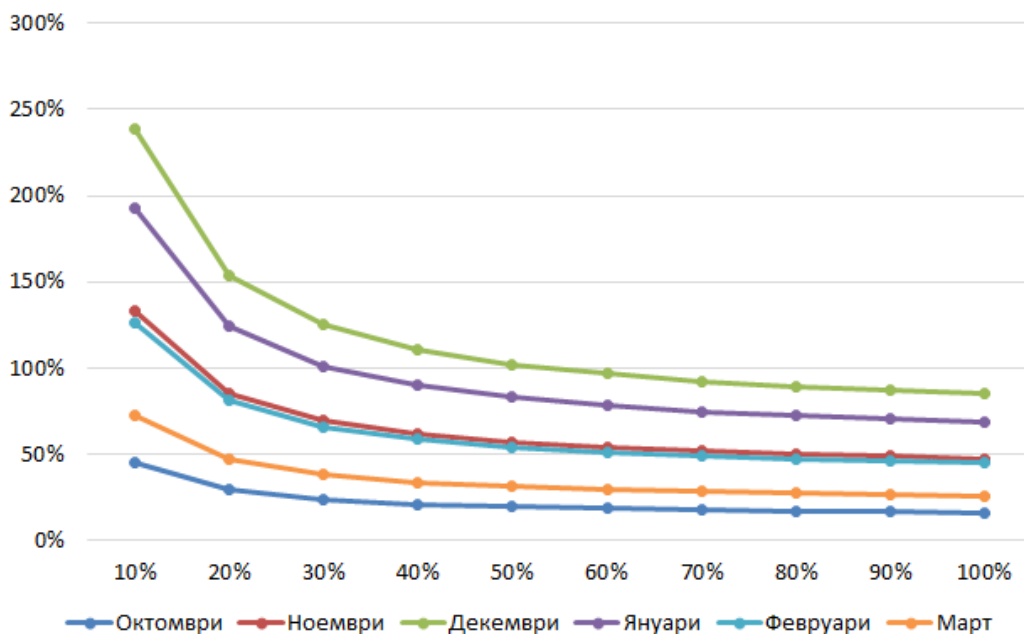


Фиг. 3. Минимални стойности на соларния фактор g по месеци за южно изложение в зависимост от процента остъкляване при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Таблица 7. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти в зависимост от процента остъкляване при източно/западно изложение за гр. София при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Остъкляване	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
10%	45%	133%	238%	193%	126%	73%
20%	29%	85%	153%	124%	81%	47%
30%	24%	70%	125%	101%	66%	38%
40%	21%	62%	111%	90%	58%	34%
50%	19%	57%	102%	83%	54%	31%
60%	18%	54%	96%	78%	51%	29%
70%	18%	52%	92%	75%	49%	28%
80%	17%	50%	89%	72%	47%	27%
90%	17%	49%	87%	70%	46%	27%
100%	16%	47%	85%	69%	45%	26%

Зависимост на g_{min} от процента остъкляване при източно/западно изложение

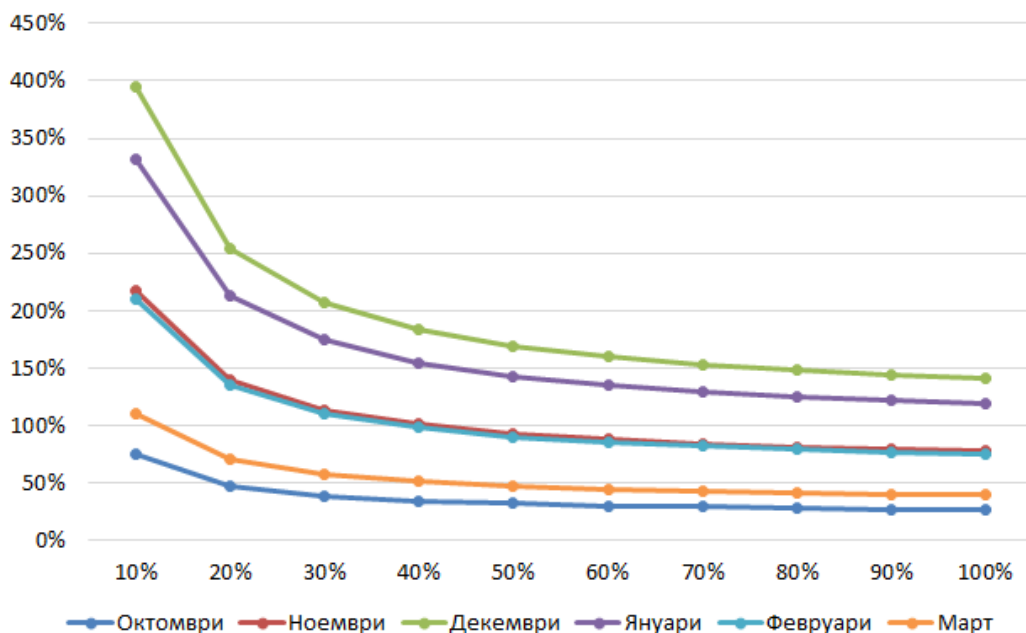


Фиг. 4. Минимални стойности на соларния фактор g по месеци за източно/западно изложение в зависимост от процента остъкляване при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Таблица 8. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти в зависимост от процента остъкляване при северно изложение за гр. София при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Остъкляване	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
10%	74%	217%	394%	332%	211%	110%
20%	48%	140%	253%	213%	135%	71%
30%	39%	114%	206%	174%	110%	58%
40%	34%	101%	183%	154%	98%	51%
50%	32%	93%	169%	142%	90%	47%
60%	30%	88%	160%	134%	85%	45%
70%	29%	84%	153%	129%	82%	43%
80%	28%	81%	148%	125%	79%	41%
90%	27%	79%	144%	121%	77%	40%
100%	27%	78%	141%	119%	75%	39%

Зависимост на g_{min} от процента остъкляване при северно изложение



Фиг. 5. Минимални стойности на соларния фактор g по месеци за северно изложение в зависимост от процента остъкляване при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.4. Баланс на слънчеви печалби и топлинни загуби за цялостна сградна обвивка с плътни и остъклени части

При сградите и сега е обичайно слънчевите топлинни печалби през прозорците на южната фасада да компенсират топлинните загуби през другите фасади.

Затова следващата стъпка е да проверим баланса на топлинни печалби и загуби за цялата околна обвивка, анализират се четирите фасади, като се приема, че те са с еднакви площи (т.е. сградата в план е квадрат), ориентирани по основните географски посоки, като се търси еднакъв g_{min} за всички фасадни прозорци при еднакъв процент остъкляване. Целта е сумата от слънчеви топлинни печалби през всички прозорци да компенсират сумарните топлинни загуби през всички фасади. Ще използваме за целта формула (7), която следва от формула (6).

$$g_{min} = \frac{24.4.DD}{Nd.(I_{south} + I_{north} + I_{east} + I_{west})} \cdot \left[U_{np} + U_{cm} \cdot \frac{1-P}{P} \right]. \quad (7)$$

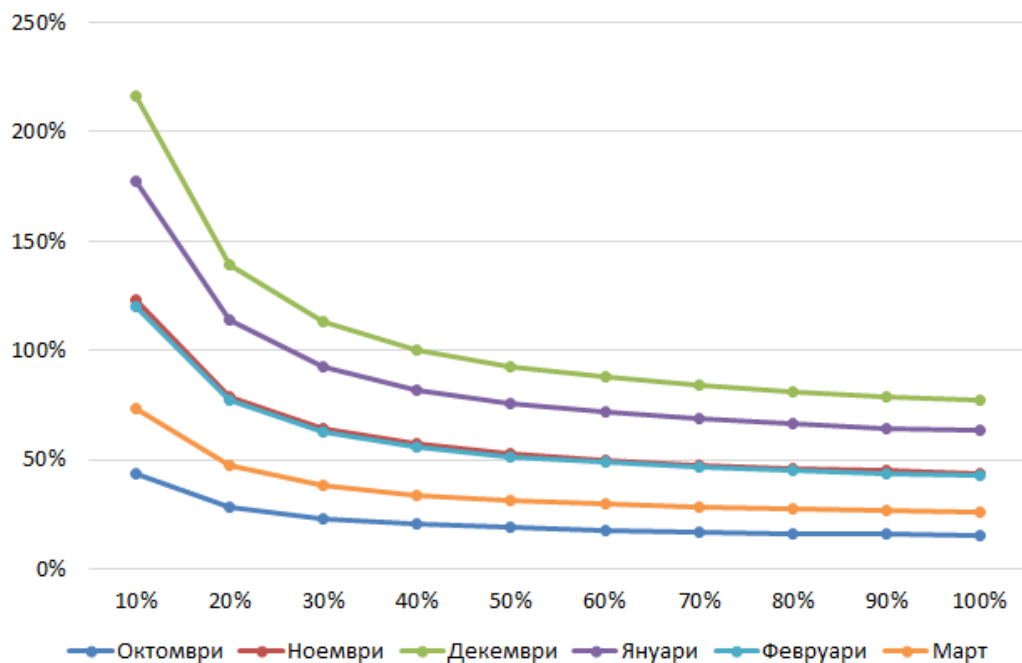
Резултатите от изчисленията при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ са показани в табл. 9 и на фиг. 6. При $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ и остъкляване от 50% до 100% изискваната минимална стойност за най-критичния месец декември на соларния фактор g_{min} спада от 93% до 77%. Това означава, че дори съвместната работа на всички фасади не може да внесе в сградата достатъчно топлинна енергия от слънцегреене през месец декември, за да се избегне нуждата от отопление. При това положение трябва да се търсят други решения – например да се разчита на по-ниски стойности на U_{np} и/или U_{cm} .

При $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ и остъкляване от 50% до 100% (вж. табл. 10 и фиг. 7) стойността на g_{min} спада от 54% до 39%. Това означава, че когато слънчевите топлинни печалби през всички фасади допринасят заедно за покриване на топлинните загуби и това се съчетае с прозорци с нисък обобщен коефициент на топлопреминаване, но висок соларен фактор, резултатите са най-добри и намаляват до минимум нуждата от отопление дори през декември.

Таблица 9. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти в зависимост от процента остъкляване за гр. София при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Остъкляване	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
10%	44%	123%	217%	177%	120%	73%
20%	28%	79%	139%	114%	77%	47%
30%	23%	64%	113%	93%	63%	38%
40%	20%	57%	101%	82%	56%	34%
50%	19%	53%	93%	76%	51%	31%
60%	18%	50%	88%	72%	49%	30%
70%	17%	48%	84%	69%	47%	28%
80%	16%	46%	81%	66%	45%	27%
90%	16%	45%	79%	65%	44%	27%
100%	16%	44%	77%	63%	43%	26%

Зависимост на g_{min} от процента остъкляване

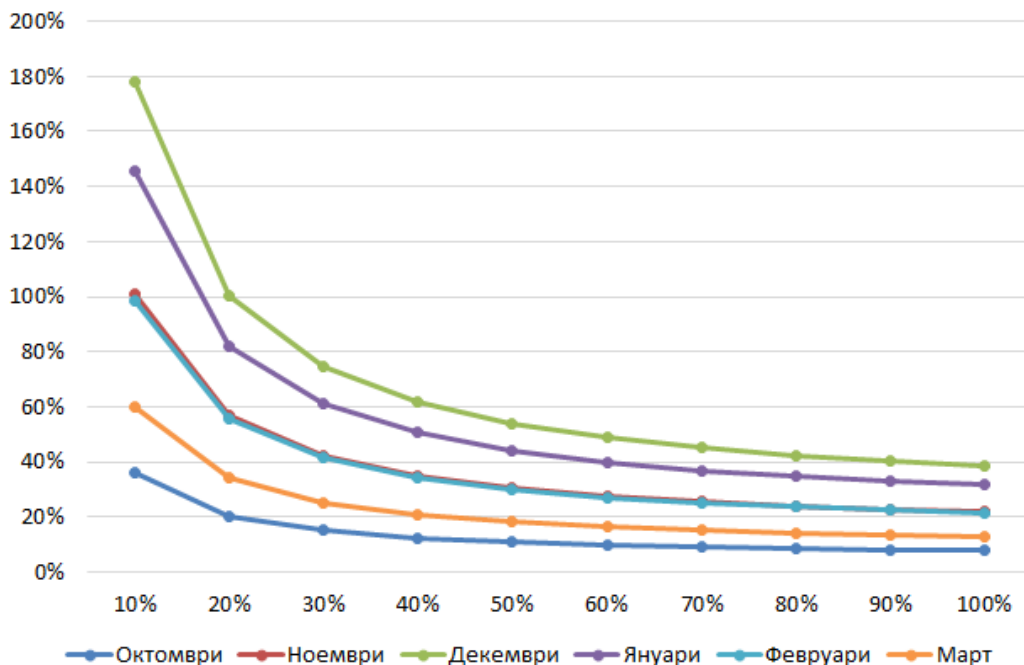


Фиг. 6. Минимални стойности на соларния фактор g по месеци в зависимост от процента остъкляване при $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Таблица 10. Минимални стойности на соларния фактор g_{min} в проценти в зависимост от процента остъкляване за гр. София при $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Остъкляване	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари	Март
10%	36%	101%	178%	145%	99%	60%
20%	20%	57%	101%	82%	56%	34%
30%	15%	42%	75%	61%	41%	25%
40%	13%	35%	62%	51%	34%	21%
50%	11%	31%	54%	44%	30%	18%
60%	10%	28%	49%	40%	27%	17%
70%	9%	26%	45%	37%	25%	15%
80%	9%	24%	43%	35%	24%	14%
90%	8%	23%	40%	33%	22%	14%
100%	8%	22%	39%	32%	21%	13%

Зависимост на g_{min} от процента остъкляване



Фиг. 7. Минимални стойности на соларния фактор g по месеци в зависимост от процента остъкляване при $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

3. Изводи

Направените по-горе изчисления по месеци за зимния сезон помагат да направим следните генерални обобщения:

- Фасадното остъкляване е нужно, за да може слънчевата енергия, преминала през него, да покрива неизбежните топлинни загуби.
- Подобряването на показателите U и g на елементите на сградната обвивка води до редуциране на необходимия процент остъкляване.

Анализът на баланса на соларни топлинни печалби и топлинни загуби през остъклени части на фасадата води до следните заключения:

- Южен прозорец с $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ и соларен фактор g под 50% лесно изпълнява условието за баланс на печалби от слънцегреене и топлинни загуби от топлопреминаване.
- При прозорци с източно или западно изложение проблемни са само месеците декември и януари, защото са нужни стъкла със соларен фактор g съответно над 85% (за декември) и 69% (за януари).
- Северните прозорци се нуждаят от стъкла със соларен фактор над 75% за месеците от ноември до февруари, като за месеците декември и януари g

трябва да има невъзможно високи стойности (141% и 119%). Това означава, че при северните прозорци с $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ не може да има баланс на слънчеви печалби и топлинни загуби, независимо от соларния им фактор.

- Следователно за северни прозорци трябва да се избират решения с по-ниска стойност на U_{np} или да се разчита на слънчева радиация и от други изложения. Може да се определи, че за соларен фактор 70% е нужен коефициент за топлопреминаване на северния прозорец $U_{np} \leq 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Съществуват прозорци с такива параметри – с троен стъклопакет и нискоемисионно стъкло.

Направеният анализ на баланса на соларни топлинни печалби и топлинни загуби през външна стена с плътна и остъклена част води до следните заключения:

- С увеличаване на процента на остъкляване намаляват изискванията към соларния фактор g , като зависимостта между тях не е линейна. При нарастване на процента остъкляване от 10% на 100% изискванията към g намаляват с 64.3% при всички изложения, а при нарастване на процента остъкляване от 50% на 100% – минималният соларен фактор намалява само със 7.14%.
- При $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ дори 100% остъкляване на северната стена през декември дава невъзможно висока стойност на g_{min} (140%), което означава, че топлинните загуби през северната стена задължително трябва да бъдат компенсирани чрез соларни печалби и от другите фасади за най-студените месеци декември и януари.

Накрая бяха направени следните заключения от направения анализ на баланса на соларни топлинни печалби и топлинни загуби за цялостна сградна обвивка с плътни и остъклени части:

- При $U_{np} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ и остъкляване от 50% до 100% изискваната минимална стойност за най-критичния месец декември на соларния фактор g_{min} спада от 93% до 77%. Това означава, че дори съвместната работа на всички фасади не може да внесе в сградата достатъчно топлинна енергия от слънцегреене през месец декември, за да се избегне нуждата от отопление. При това положение трябва да търсят други решения – например да се разчита на по-ниски стойности на U_{np} и/или U_{cm} .
- При $U_{np} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ и остъкляване от 50% до 100% стойността на g_{min} спада от 54% до 39%. При това положение, когато слънчевите топлинни печалби през всички фасади допринасят заедно за покриване на топлинните загуби и това се съчетае с прозорци с нисък обобщен коефициент на топлопреминаване, но висок соларен фактор, резултатите са най-добри и намаляват до минимум нуждата от отопление дори през декември.

Аналогични анализи могат да се направят и за летния период и да се обмислят други мерки, ограничаващи летните топлинни печалби от слънцегреене. Външните високи летни температури и по-големите стойности на лятна слънчева радиация ще могат да бъдат блокирани по-успешно с намаляване на процента остъкляване. Проектирането на добри пасивни сгради изисква не само определянето на подходящи материали и параметрите им за сградната обвивка, но и откриването на оптимална и за летни, и за зимни условия пропорция между плътните и остъклените части.

От друга страна, през летния период на практика топлинните потоци са само в една посока – от външната по-топла околна среда към вътрешността на сградата, където трябва да се поддържа микроклимат с по-ниски температури. При това положение трябва да се избират материали с по-ниска стойност на U . При всяко положение плътната топлоизолирана стена ще пропуска в по-ниска степен топлината навътре, т.е. налице е стремеж към намаляване на остъклените части на сградната повърхност за сметка на плътните. Както авторите вече посочиха в [9], в условията на континентален климат (студена зима и горещо лято) двата критични сезона зима и лято налагат противоположни тенденции по отношение на процента остъклена повърхност на сградата. При търсенето на оптималния процент остъклени части трябва да се има предвид, че макар поголемият процент остъкляване да води до по-големи нужди от климатизация през лятото, именно в дневните часове през лятото е налична много повече произведена възобновяема енергия от слънцето, която може да реши проблема с охлаждането при нулеви въглеродни емисии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Назърски, Д.* Строителни изолации. София, 2004.
2. Наредба № 7 за енергийна ефективност на сгради – 2004, 2009, 2015.
3. Windows for high-performance commercial buildings: Solar Heat Gain Coefficient (SHGC). Available online at: <http://www.commercialwindows.org/shgc.php>.
4. The Building: Как да спестим енергия през стъклата? Available online at: <http://the-building.eu/tehnologii/stroitelni-i-arhitekturni/608-kak-da-spestim-energiya-prez-staklata->.
5. Energy Ratings. Available online at: <http://www.nfrc.org/WindowRatings/Energy-Ratings.html>.
6. Benefits of Improving Windows. Available online at: <http://www.nfrc.org/windowratings/Benefits-of-improving-windows.html>.
7. *Favoino, F., Overend, M., Jin, Q.* The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies. *Applied Energy*, 2015, 156: pp. 1 – 15.
8. *Baetens, R., Jelle, B. P., Gustavsen, A.* Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2010, 94(2): pp. 87-105.
9. *Иванова, Ст., Чобанов, Пл.* Изследване на обобщения зимен баланс между соларни топлинни печалби и топлинни загуби от топлопреминаване при енергийно ефективните сгради. // *Годишник на УАСГ*, том 49, бр. 2, с. 41 – 52, София, 2016.
10. *Muneer, T., Abodahab, N., Weir, G., Kubie, J.* Windows in Buildings – thermal, acoustic, visual and solar performance. Architectural Press. 2000.

MODELING AND STUDY OF THE BALANCE BETWEEN SOLAR HEAT GAINS AND THERMAL HEAT TRANSFER LOSSES DURING WINTER MONTHS IN THE ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

St. Ivanova¹, Pl. Chobanov²

Keywords: solar heat gains, heat losses, solar radiation, solar factor, solar passive design

ABSTRACT

The key to any energy efficient building is the choice of building glazing parameters. They determine how the solar heat gains through the glazed parts of the building will overcome the thermal heat transfer losses throughout the building envelope. This ensures the fulfillment of the most important principle of the passive solar design for the winter season. The purpose of this paper is to determine in which quantitative and qualitative characteristics of glazing the generalized balance of heat gains and losses can be realized during the winter months. As expected, the coldest winter months, which are subject of more detailed interest and research, are the most critical for this balance. The study is based on the reference values of the parameters of the elements of the building envelope specified in the Bulgarian national building regulation No. 7.

¹ Stoyanka Ivanova, Assoc. Prof. Dr. Arch., Dept. "Computer-Aided Engineering", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: solaria@mail.bg

² Plamen Chobanov, Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: chobanov_fce@uacg.bg