

# Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™

## МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

### Съдържание:

1. Резюме
2. U - стойност
3. Изисквания към новите изолационни прозоречни пана
4. Обща методика за изчисление на топлопреминаването през прозорци с използването на топло изолационни пана
5. Единна формула за изчисление на  $\Delta U_w$
6. Математически функции за изчисление на топлопреминаването  $\Delta U_w$  и  $U+$
7. Таблични резултати за  $\Delta U_w$  и  $U+$

### 1. Резюме

Целта на методиката е да даде една единна формула за оценка на топлопrenoса през прозорци с изолационни пана. При това да се използват досегашните подходи за такава оценка на прозорци с мерна единица  $W/m^2K$ , независимо по какви методики тя е получена.

Предлагаме универсална формула, която обективно отчита допълнителните изолационни качества на топло и шумоизолационните прозоречни пана. Тази оценка представяме с логаритмична зависимост, която получихме по комбиниран начин. Успоредно провеждахме физични измервания, които ни служиха за верифициране на резултатите, получени в компютърно симулирана среда. След това обработихме получените функции с математически програми, с които ги приведохме в удобен вид, за да се смятат не само със специализиран софтуер, но и с помощта на инженерен калкулатор. Прилагаме графични и таблични резултати за характерни стойности, поучени по уравненията за пряко ползване и от неспециалисти.

### 2. U - стойност

Топлопреминаването през прозорци се измерва с общо приета единица U. U-стойността е мярка за преминаването на топлинен поток през ограждащ елемент съставен от един или повече слоеве материал, ако от двете му страни са налице различни температури на въздуха.

## Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™ МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

Тя представлява количеството топлина, което протича за 1s между ограждащият елемент и граничещият с него въздух през повърхност от 1m<sup>2</sup>, когато разликата в температурите е 1K. Единицата за измерването на U-стойността е W/m<sup>2</sup>K.

U-стойността особено широко разпространение намира в строителството, където служи за определяне загубите на топлина при преминаване през строителните елементи и е един от най-важните критерии при енергийната оценка на една сграда.

U-стойността представлява мярка за „топлопропускливостта“ и топлоизолационните качества на строителните елементи – например на едно точно определено остъкляване или на точно определен прозорец. Строителните елементи с по-малки U-стойности пропускат по-малко количество топлина от колкото тези с по-големи U-стойности.

U-стойността на един ограждащ строителен елемент зависи от топлопроводността на използваните материали, дебелините на слоевете от тези материали, геометрията на самите строителни елементи (права стена, цилиндрично закривена стена, и т.н.) и условията на топлопредаване на повърхностите им към отделните околни флуиди (въздух, вода, и др.).

В представената тук методика U-стойността се определя за прозорци с допълнителни плоски изолационни пана.

### **3. Изисквания към новите изолационни прозоречни пана**

Прозорците са нужни на всички сгради, защото през тях се осъществява дневното видимо естествено осветление и невидимото ултравиолетово облъчване, което има и дезинфектиращ ефект. Инфрачервените лъчи, също са невидими за човека и са неизбежна част от слънчевия спектър. Те имат доминираща роля при естествените процеси на загряването на планетата. Затова, когато говорим за изолация на стъкла, през които влиза дневната светлина, винаги следва да държим сметка за тяхната прозрачност. За разлика от стените и покрива, които са непрозрачни и лесно се топлоизолират. Една „пасивна“ къща, с дебелина на топлоизолацията на външните

## Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™ МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

стени поне 34 cm и на покрива – поне 40 cm, може изобщо да не се нуждае от допълнителни източници на топлина.

Но възможностите за намаляване на топлинните загуби през прозорците са силно ограничени. Именно те са и най-големите източници на топлинни загуби. Тъй като без естествено осветление сградата не може, в зависимост от частта, която прозорците заемат от фасадата, топлинните загуби през тях се движат в твърде широк диапазон – от 36% при силно остъклена едноетажна вилна постройка, до около 22% при едно-, двуетажна къща с оптимизирано остъкляване. При многоетажните постройки този процент значително нараства и над 60%, поради относителното увеличаване на остъклената част за сметка на стените и намаляване на относителния дял на топлинните загуби през покрива и основите. Затова, изолирането на стените и подовете малко допринася за цялостната енергийната ефективност на сградите.

За съжаление, някои масови изпълнения на тополозолациите по стените у нас водят до ускорено корозивно увреждане на стоманобетонните елементи.

Съгл. EnEV 2009 със стандартен стъклопакет топлопреминаването (Uw-стойността) не трябва да надвишава 1.3 W/m<sup>2</sup>K. Прозорците с Uw-стойност от 0.8 W/m<sup>2</sup>K или по-малка отговарят на стандартите за пасивна къща.

Завишените изолационните свойства на тройния прозоречен стъклопакет, когато е с нискоенергийни стъкла, далеч не отговарят на нормите за пасивни сгради, независимо от значително по-голямата цена на нискоенергийните стъкла и пакета като цяло.

Посочените по-горе факти еднозначно ни водят до елементарния извод, че само допълнителна прозрачна топлоизолация на стъклата е очевидно най-доброто енергоефективно решение. За да бъде то енергийно и икономически изгодно следва да бъдат изпълнени поне три изисквания:

- 1. С прозрачната изолация задължително да се постигат значително по-ниски стойности за Uw, включително и да**

## Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™ МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

отговарят на по-строги регламенти от действащия стандарт за топлоизолацията на пасиви къщи.

**2. Тя да може да лесно се прилага и на съществуващи прозорци и дограми.**

**3. И да е нескъпа и да се прави с познати материали по известни технологии.**

На посочените три изисквания напълно отговаря изолацията с новите прозрачни пана. Те изолират не само стъклото, но и рамките на стъклата и целите прозорци. Изолацията се основава на допълнителна въздушна междина, която се формира между плоскостта на паното и стъклопакетите. Конструктивно и монтаж на паната са проектирани да се монтират от вътре на прозорците, от външната им страна, както и от двете им страни. Монтирането им от вътрешната страна има предимството, че то може лесно да бъде направено от всяка домакиня. За монтаж и демонтаж не се изискват никакви инструменти.

Благодарение на топлоизолационното пано температурата на рамката и остъклението е почти равна на стайната температура, така че обичайният студен слой изчезва. А с това се елиминират и предпоставките за воден конденз и нездравословното мухлясане.

### **4. Обща методика за изчисление на топлопреминаването през прозорци с използването на топло изолационни пана**

Очевидно е, че след като съществуват топлоизолационни пана за прозорци е безспорно необходимо количествено да се оценят и техните топлоизолационни свойства. За да има сравнимост на резултатите ще ползваме същите мерни единици, които се използват и досега. А за да се надстрояват и съществуващи прозорци е необходимо и изцяло да се ползват и досега известните методики за изчисление на топлопреминаването през прозорците, което е общоприетата и стандартизирана мярка  $U_w$  [W/m<sup>2</sup>K]

Благодарение на допълнителните топлоизолационни пана допълнително се намалява топлопреноса през прозорците, заради което се налага да въведем ново понятие, а именно допълнително

## Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™ МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

намаляване на топлопреминаването, което бележим с  $\Delta U_w$  [W/m<sup>2</sup>K]. Така показваме, че използваме размерността на стандартизираната мярка  $U_w$ . При досегашните методики се използва сумиране на топлоизолациите на съответните елементи на прозореца. Затова и ние ще използваме същия подход, като отбележим досега известната U-стойност за прозореца с  $U_+$ . При това обозначение топлопреносът през прозорец с топлоизолационни пана се смята като сума по следния начин:

$$U_+ = U_w + \Delta U_w \quad [W/m^2K]$$

Тук “сума” разбираме в математическия ѝ смисъл. А понеже  $\Delta U_w$  винаги е отрицателна величина, то  $U_+$  винаги е по-малко от  $U_w$ . В горната уравнение U-стойността на прозорец  $U_w$  се смята по някоя от общоприетите методики. Събираемото  $\Delta U_w$  е с отрицателна стойност и чрез нея се отразява намаляването на топлопроводимостта на прозореца като цяло.

В следващата точка 5 ще посочим как смятаме отрицателното събираемо  $\Delta U_w$ . Както и цялата развита обща формула за сумата  $U_+ = U_w + \Delta U_w$ , която показва цялостната оценка на топлопреминаване през прозорци с използването на новите топлоизолационни пана.

### 5. Единна формула за изчисление на $\Delta U_w$

Изчислението на допълнителната топлоизолация е в пряк резултат от допълнителния изолиращ слой въздух. Въздушната междина бележим с  $D$  [mm]. Тя се формира между плоскостта на паното и на най-близкото до него стъкло от съществуващия прозорец на сградата, или на новопроектиран, но още немонтиран прозорец. Многократни ни измервания през различни сезони на неотопляеми и отопляеми помещения с прозорци, надградени с новите пана, и без тях показаха очаквани положителни резултати. С помощта на изпитанията на разработените серия прототипи разработихме изчислителна методика, която се опира на измерени данни от зимните и летни изпитания, както и на топлотехнически изчисления. Така са направени и известните методики за определяне на  $U_w$ .

## Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™ МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

За прецизиране на методиката, освен верификация с практически измервания, се наложи да алгоритмизираме изчислителните функции. Те отразяват нелинейния им характер, защото с увеличаването на въздушната междина не се подобряват топлоизолационните характеристики **delta Uw** по линеен математически закон. Установената нелинейност усложни функциите, което наложи използването и на итерационни методи. А те изискват повече контролни точки. Затова разработихме симулативен софтуер, който частично да замени физично получените данни с изчислени такива в компютърно моделирана физическа среда. Това ни позволи рязко да ускорим прецизирането на методиката и по-бързо достигнахме до математическите изрази на нелинейните функции. Те се получиха сравнително сложни и обемисти. Затова прибегнахме до услугите на специализирани математически програми, включително и MATLAB.

В резултат установихме една единствена и несложна функция. Целта ни е одиторите и проектантите на прозорци лесно и бързо да ги оценяват. А това означава самата функцията бързо да се смята с малък изчислителен ресурс, за да може да бъде вграждана в on-line WEB приложения, които да се ползват в нискокапацитивни Интернет жични и безжични комуникации. Включително и от smart мобилни телефони и други малогабаритни крайни телекомуникационни устройства.

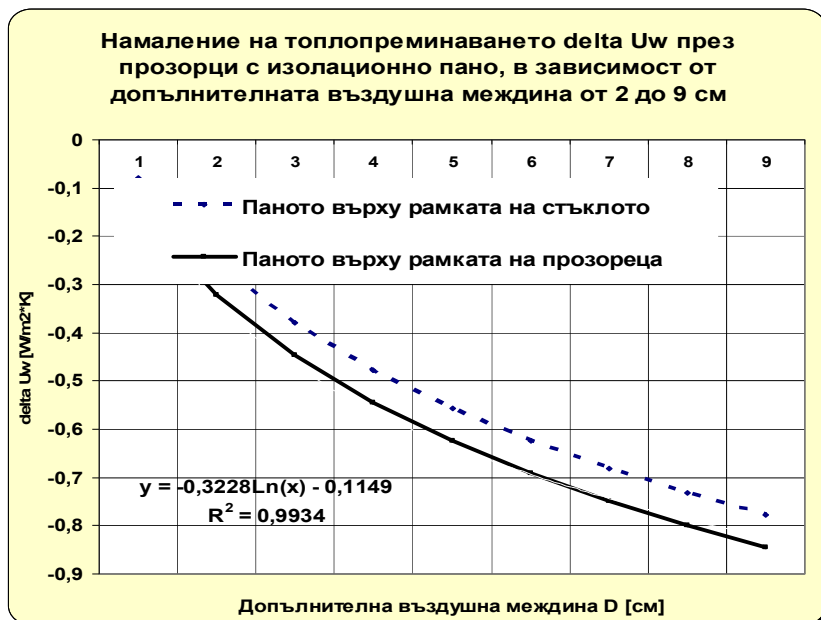
Получените резултати **delta Uw** и **U+** изразяваме с нелинейни функции на **D**. По точно – това са логаритмично намаляващи стойности на **delta Uw** и **U+** при увеличаване на **D**, които графично са илюстрирани на следващите две диаграми. Този факт показва, че в рамките на разумни стойности на **D**, може да се намери оптимално решение за

добра изолация на приемлива цена. Това основната цел на паната и на настоящата методика. На диаграма 1 ясно се вижда графичната отрицателната логаритмична функция, която математически апроксимира експерименталните данни с достатъчно висока точност 0.9934. Показани са две отрицателни логаритмични криви при дебелина на **D** от 20 до 90 мм. Препоръчителната междина е 30 мм.

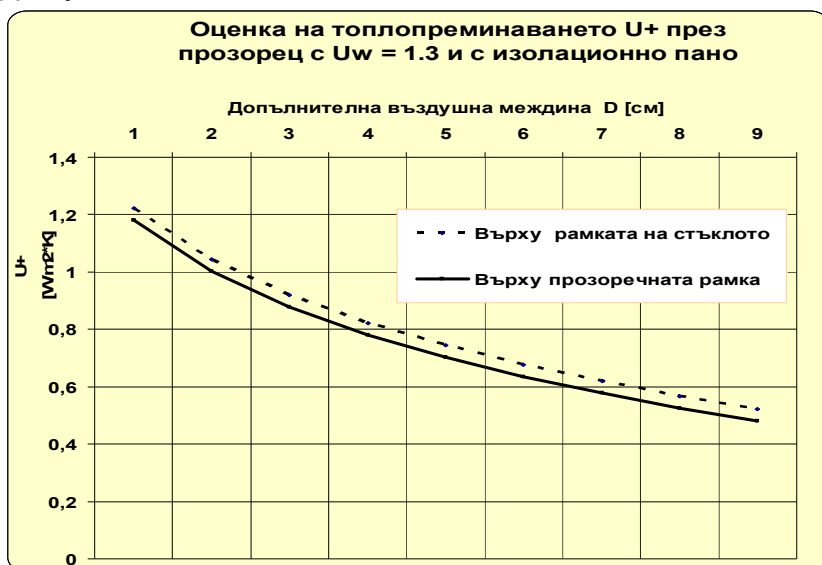
# Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™

## МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

Диаграма 1.



Диаграма 2.



С плътна линия на диаграмите са функцията, при които паното обхваща половината ширина на рамката на прозореца. А с прекъснатата линия са функциите, когато паното обхваща половината ширина на рамката на стъклото.

## Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™ МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА

---

На Диаграма 1 и на Диаграма 2 въздушните междини се отнасят за разстояние, което се получава при едно пано. Когато паната са две - D се изчислява като аритметична сума на двете разстояния. Така не се отчита изолационния ефект на самата прозрачна плоскост, защото той е незначителен на фона на изолацията на въздушната междина. От диаграма 2 и от предходната формула следва, че дори само с едно пано, осигуряващо въздушна междина 45 мм, е спазен стандартът за изолацията на прозорците на пасивна къща, ако предвидената за нея дограма изпълнява минималните изисквания на действащия през 2016 година общ изолационен прозоречен стандарт **U<sub>w</sub> = 1.3**.

### 6. Математически функции за изчисление на топлопреминаването $\Delta U_w$ и $U_+$

Благодарение на апроксимиращи функции получихме следното логаритмично уравнение което служи както за проектирането на прозорци, така и за одитирането.

$$\Delta U_w = \text{Log}(F \cdot D) - 2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (1)$$

където:

**D [mm]** е ширината на въздушния слой, или сумата от ширините на слоевете при две пана.

**F** е безразмерен коефициент, който има следните стойности:

1. **F1 = 6.0** , когато едно пано е поставено върху рамката на стъклото.
2. **F2 = 6.6** , когато едно пано е поставено върху рамката на прозореца
3. **F3 = 7.0** , когато са две пана (отвън и отвътре), като едното е поставено върху рамката на стъклото, а другото е върху рамката на прозореца.

$$U_+ = U_w - |\text{Log}(F \cdot D) - 2| \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (2)$$

Във формула (2) абсолютната стойност на втория член се изважда от оценката за топлопреминаването през известен прозорец **U<sub>w</sub>**. Затова, за всеки прозорец, може да се достигне необходимата крайна стойност. Това е показано в оцветените полета на таблици 2 и 3, представени в следващата точка 7.



**Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™**  
**МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА**

---

### **7. Таблични резултати за delta Uw и U+**

В ТАБЛИЦА 1 са дадени резултатите за **delta Uw** по формула 1.

В ТАБЛИЦИ 2 и 3 са дадени резултатите за **U+** по формула 2.

В зелено оцветените полета ТАБЛИЦА 2 са данните за прозорци, отговарящи на стандарта **Uw < 1,3**

В жълто оцветените полета на ТАБЛИЦА 3, с повдигнат шрифт са данните за прозорци на пасивни сгради по стандарта **Uw < 0,8**

**ТАБЛИЦА 1**

	<b>Delta Uw</b>	<b>Delta Uw</b>	<b>Delta Uw</b>
<b>D</b>	<b>при F1</b>	<b>при F2</b>	<b>при F3</b>
<b>mm</b>	<b>W/m2K</b>	<b>W/m2K</b>	<b>W/m2K</b>
20	0,079	0,121	0,146
30	0,255	0,297	0,322
40	0,380	0,422	0,447
50	0,477	0,519	0,544
60	0,556	0,598	0,623
70	0,623	0,665	0,690
80	0,681	0,723	0,748
90	0,732	0,774	0,799
100	0,778	0,820	0,845
110	0,820	0,861	0,886
120	0,857	0,899	0,924

**Топлоизолирани прозорци с допълнителни пана SOLEXTRA™**  
**МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА U-СТОЙНОСТТА**

---

**ТАБЛИЦА 2**

	<b>U+</b>	<b>U+</b>	<b>U+</b>
<b>D</b>	<b>Uw =2,0 при F1</b>	<b>Uw =2,0 при F2</b>	<b>Uw =2,0 при F3</b>
<b>mm</b>	<b>W/m2K</b>	<b>W/m2K</b>	<b>W/m2K</b>
20	1,921	1,879	1,854
30	1,745	1,703	1,678
40	1,620	1,578	1,553
50	1,523	1,481	1,456
60	1,444	1,402	1,377
70	1,377	1,335	1,310
80	1,319	1,277	1,252
90	1,268	1,226	1,201
100	1,222	1,180	1,155
110	1,180	1,139	1,114
120	1,143	1,101	1,076

**ТАБЛИЦА 3**

	<b>U+</b>	<b>U+</b>	<b>U+</b>
<b>D</b>	<b>Uw =1,3 при F1</b>	<b>Uw =1,3 при F2</b>	<b>Uw =1,3 при F3</b>
<b>mm</b>	<b>W/m2K</b>	<b>W/m2K</b>	<b>W/m2K</b>
20	1,221	1,179	1,154
30	1,045	1,003	0,978
40	0,920	0,878	0,853
50	0,823	<b>0,781</b>	<b>0,756</b>
60	<b>0,744</b>	<b>0,702</b>	<b>0,677</b>
70	<b>0,677</b>	<b>0,635</b>	<b>0,610</b>
80	<b>0,619</b>	<b>0,577</b>	<b>0,552</b>
90	<b>0,568</b>	<b>0,526</b>	<b>0,501</b>
100	<b>0,522</b>	<b>0,480</b>	<b>0,455</b>
110	<b>0,480</b>	<b>0,439</b>	<b>0,414</b>
120	<b>0,443</b>	<b>0,401</b>	<b>0,376</b>