

Оптимизация на параметрите на топлинна изолация на сграда

Веселка Камбурова, Илия Илиев, Ангел Терзиев, Калин Ангелов

Optimization of Heat Insulation Parameters of a Building: The article contains an energy audit of a building in the town of Ruse. The main factors affecting the energy required for heating and cooling are identified. Full factorial computational experiment was conducted. Regression models for energy required for heating and cooling were developed on the base of computational results. The optimal value of the factors was found.

Key words: Building, Energy Efficiency, Heat Insulation, Optimization, Regression Model.

ВЪВЕДЕНИЕ

Новопостроените сгради отговарят на изискванията на Наредба 7 от 2009 г. за стойностите на коефициентите на топлопреминаване на ограждащите елементи, но съществуващите жилищни и обществени сгради са с топлотехнически параметри, които силно се различават от заложените в Наредба 7. Това води до значителни разходи за отопление и охлаждане.

По редица европейски програми се извършва топлоизолиране на жилищни и обществени сгради. Значителната стойност на реализирането на енергоспестяващите мерки и голямото разнообразие от технически решения усложняват избора на оптимален вариант на топлинна изолация.

В тази статия се разглежда влиянието на:

- дебелината на топлинната изолация на стените;
- дебелина на топлинната изолация на плосък покрив с въздушен слой;
- дебелина на топлинната изолация на под над неотопляем сутерен върху енергията, необходима за отопление и охлаждане на една сграда.

ОБСЛЕДВАНА СГРАДА

Обект на обследване е сграда, построена в гр. Русе на около 2 km от границата с Румъния на международен път E85. Носещата конструкция на сградата е изградена от решетъчни тухли с дебелина 25 cm. Фасадите са в добро състояние, но с недостатъчна топлинна изолация. Прозорците са с PVC дограма и са подменени преди 3 години. Съществуващият под е над неотопляем сутерен и е изпълнен от стоманобетон, изравнителна замазка и подова настилка от теракотени плочки. Покривът е плосък с вентилируемо подпокривно пространство. Покривната плоча представлява стоманобетонна конструкция с външна и вътрешна замазка.

В Таблица 1 са дадени основните характеристики на сградата - застроена площ, разгърната застроена площ, отоплявана площ и отопляван обем, а на фиг.1е показан общият вид на сградата.

Таблица 1. Основни характеристики на обследваната сграда

Характеристика	Мярка	Площ
Застроена площ	m ²	315
Разгърната застроена площ	m ²	1327
Отопляема площ	m ²	1013
Отопляем обем, бруто	m ³	4422
Отопляем обем, нето	m ³	2727



Фиг.1. Общ вид на обследваната сграда

Коефициентите на топлопреминаване на стените и прозорците са дадени в Таблица 2, а на пода и покрива - в Таблица 3. Коефициентите на топлопреминаване на всички ограждащи елементи с изключение на прозорците са по-високи от референтните стойности, дадени в Наредба 7 от 2009 г. за стойностите на коефициентите на топлопреминаване на ограждащите елементи и Наредба РД-16-1058 от 10.12.2009 за показателите за разходна енергия и енергийните характеристики на сградите.

Таблица 2. Коефициенти на топлопреминаване и площи на стените и прозорците по фасади

Елемент	Коефициент на топлопреминаване, U	Площи по посока			
		И	З	С	Ю
	W/m ² K				
Стена 1	1.478	209.7	207.5	177.1	175.8
Прозорци	2	71	73.2	7.4	8.7

Таблица 3. Коефициенти на топлопреминаване и площи на покривната плоча и под над сутерен

Елемент	Коефициент на топлопреминаване, U	Площ
	W/m ² K	m ²
Покрив	2.008	348.8
Еркер	3.516	86.9
Под над сутерен	0.768	314.9

Моделното изследване на енергопотреблението в сградата е извършено въз основа на метода от БДС EN ISO 13 790:2008 чрез софтуерния продукт ENSI EAB Software HC 1.0. При създаване на модела е прието сградата да се разглежда като единна топлинна зона.

Изчислени са реално необходимите количества енергии за постигане на нормативни условия на микроклимата през отоплителния и охлаждащ сезон.

Резултатите от проведеното моделно обследване са както следва:

- Енергията, необходима за отопление на сградата, е в размер на 138 066 kWh за година.

- Енергията, необходима за охлаждане на сградата, е 79 215 kWh/год.

Енергоспестяващата мярка предвижда саниране на сградата с цел достигане на стойностите на коефициентите на топлопреминаване, дадени в [1], включващо следното:

- полагане на EPS-F с коефициент на топлопроводност $\lambda=0.033$ W/mK от външната страна на фасадите на сградата;
- полагане на топлинна изолация тип XPS с коефициент на топлопроводност $\lambda=0.030$ W/mK върху таванската плоча на сградата;
- полагане на топлинна изолация тип XPS с коефициент на топлопроводност $\lambda=0.030$ W/mK по пода над неотаплиемия сутерен.

Изследвани са случаи с три различни дебелини за изолациите както следва:

- на външните стените - 8, 10 и 12 cm;
- на таванската плоча - 8, 10 и 12 cm;
- на пода над неотаплием сутерен - 4, 6 и 8 cm.

Избрани са най-често използваните дебелини на изолациите при изолиране на сгради в България, като са изчислени коефициентите на топлопреминаване U (Таблица 4) за различните случаи. В Таблица 4 са представени референтните стойности на U според Наредба 7 [1], базовите стойности преди прилагане на мерките за енергийна ефективност и стойностите за трите разглеждани варианта. От данните в Таблица 4 се вижда, че за всички избрани варианти за дебелина на изолацията на стената U на изолираната стена е по-малко от референтната стойност на U според наредба 7 [1], U за всички избрани варианти за дебелина на изолацията на пода над неотаплием сутерен също е по-малко от референтната стойност. По-голяма от референтната стойност е единствено стойността на U за плосък покрив при дебелина на изолационния материал XPS 8 cm.

Таблица 4. Стойности на коефициента на топлопреминаване за различни варианти за дебелина на изолацията на стените, пода и покривната плоча

Елемент	U по Наредба 7	Базова стойност на U	Изолация 1	Изолация 2	Изолация 3	Предложен материал за реконструкцията
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	
Външна стена	0.35	1.478	0.323	0.27	0.232	EPS, $\lambda=0.033$ W/mK, $\delta=8, 10, 12$ cm
плосък покрив без въздушен слой	0.28	2.008	0.316	0.261	0.222	XPS, $\lambda=0.030$ W/mK, $\delta=8, 10, 12$ cm
Под над неотаплием сутерен	0.5	0.768	0.385	0.309	0.259	XPS, $\lambda=0.033$ W/mK, $\delta=4, 6, 8$ cm

РЕГРЕСИОНЕН АНАЛИЗ

Сравнителен анализ на получените резултати за консумирана енергия за отопление и охлаждане може да се направи с помощта на подходящ регресионен модел. Първата стъпка в подготовката на този модел трябва да бъде избор на влияещите фактори. Като цяло, значително въздействие оказват климатичните фактори, които в този случай не се изследват, тъй като се разглежда конкретна сграда, разположена в град Русе.

Основните влияещи фактори, които са отчетени при разработването на модела са:

- X_1 – дебелина на топлинната изолация на стените;
- X_2 – дебелина на топлинната изолация на плосък покрив без въздушен слой;
- X_3 - дебелина на топлинната изолация на под над неотаплием сутерен.

Проведен е пълен факторен експеримент като трите основни влияещи фактора X_1 , X_2 и X_3 са вариращи на три нива, дадени в Таблица 4.

Изследването е проведено със софтуерния продукт ENSI EAB Software HC 1.0 като е изчислена енергията, необходима за отопление и за охлаждане на сградата

за 27 комбинации на различни коефициенти на топлопреминаване на стените, пода и покривната плоча.

При регресионния анализ са изследвани линейни и нелинейни модели, като най-добри резултати дадоха моделите от вида:

$$Y = \exp(aX_1 + bX_2 + cX_3 + d) \quad (1)$$

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + d \quad (2)$$

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 \quad (3)$$

За адекватността на модела съдим по средно квадратичното отклонение СКО и по коефициента на детерминация R^2 . Избрана е регресионната зависимост с най-малка стойност на СКО. Стойността на R^2 за трите изследвани модела беше близка до 1.

За енергията, необходима за отопление най-малко СКО беше получено за първия модел (експоненциален) и той е избран за по-нататъшно разглеждане:

$$Y_{heat} = \exp(-2.237X_1 - 1.433X_2 - 1.744X_3 + 4.177) \quad (4)$$

Средно квадратично отклонение СКО = 0.772, а коефициентът на детерминация $R^2 = 0.992$.

От получената зависимост (4) следва, че увеличаването на трите влияещи фактора води до намаляване на Y_{heat} (енергията, необходима за отопление на сградата). С най-голямо влияние е фактор X_1 – дебелина на изолациите на стените, следван от дебелината на изолацията на покрива (фактор X_3) и на пода – фактор X_2 .

За енергията, необходима за охлаждане на сградата най-малко СКО бе получено за модел от тип 2 (полином):

$$Y_{cool} = 6.572X_1 - 2.341X_2 + 13.792X_3 + 76.403 \quad (5)$$

Средно квадратичното отклонение СКО = 0.772, а коефициентът на детерминация $R^2 = 0.992$.

От получената зависимост (5) следва, че увеличаването на фактори X_1 и X_3 води до нарастване на Y_{cool} (енергията, необходима за охлаждане на сградата). Единствено увеличението на фактор X_2 води до намаляване на Y_{cool} . С най-голямо влияние е фактор 3 – дебелина на изолациите на покрива, следван от дебелината на изолацията на стените (фактор 1). Увеличаването на дебелината на изолацията на стените и на покривната плоча води до увеличаване на енергията, необходима за охлаждане на сградата.

За сумарната енергия, необходима за отопление и охлаждане на сградата най-малко СКО е получено за модел 1:

$$Y_{\Sigma} = \exp(-0.682X_1 - 0.500X_2 - 0.457X_3 + 4.898) \quad (6)$$

Средно квадратичното отклонение СКО = 0.6063, а коефициентът на детерминация $R^2 = 0.9923$.

Увеличаването на трите влияещи фактора води до намаляване на сумарната енергия, необходима за отопление и охлаждане на сградата. С най-голямо влияние е фактор X_1 – дебелина на изолациите на стените, следван от дебелината на изолацията на покрива (фактор X_2) и на пода – фактор X_3 , като влиянието на X_2 и X_3 е почти равностойно.

Крайната цел на изследване от този тип обикновено е оптимизация. В нашия случай - получаване на стойности на дебелините на изолацията (X_1 , X_2 и X_3), при които Y_{Σ} , Y_{heat} и Y_{cool} ще имат минимални стойности. В конкретния случай оптимизацията има една особеност - разглежданите изолации се произвеждат с конкретни дебелини и при получаване на оптимална стойност, различна от тях, на практика оптималната изолация не би могла да бъде реализирана.

Поради това в конкретния случай не е проведена оптимизационна процедура, а са определени експерименталните точки, при които се получават минимални стойности на Y_{Σ} , Y_{heat} и Y_{cool} .

Минимумът на функциите Y_{Σ} и Y_{heat} , записани с уравнения (4) и (6) е в края на изследвания интервал при най големите стойности на влияещите фактори X_1 , X_2 и X_3 .

Минимумът на функцията Y_{cool} (уравнение (5)) е в точката:

$$X_1 = 0.08 \text{ cm}$$

$$X_2 = 0.12 \text{ cm}$$

$$X_3 = 0.04 \text{ cm},$$

в която X_2 има максимална стойност, а останалите два фактора - минимални стойности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощта на математическия апарат на регресионния анализ е изследвано влиянието на дебелината на топлинната изолация на стените, покривната плоча и пода над неотопляем сутерен върху енергията, необходима за отопление и охлаждане на сграда, разположена в гр. Русе.

Получените резултати показват, че увеличаване на дебелината и на трите изолации в изследвания интервал води до намаляване на консумираната енергия за отопление.

Увеличаването на дебелината на изолацията на стените и пода води увеличаване на консумацията на енергията за охлаждане. Само увеличаването на дебелината на изолацията на покрива води до намаляването на тази енергия.

Анализът е направен за конкретна сграда, но е важно да се отчете фактът, потвърден и с експерименталните резултати, че не винаги най-дебелата изолация води до най-големи икономии на енергия

Изследването трябва да се продължи с икономически анализ до каква дебелина на изолацията е икономически изгодно да се инвестира.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Наредба 7 от 2009 г. за стойностите на коефициентите на топлопреминаване на ограждащите елементи (Обн. ДВ. бр. 80 от 13.09.2013 г.).

[2] Наредба РД-16-1058 от 10.12.2009 за показателите за разходна енергия и енергийните характеристики на сградите (обн. ДВ бр.103 от 29.12.2009).

За контакти:

Доц. д-р инж. Веселка Камбурова, Русенски университет "Ангел Кънчев", GSM: 0885 955 347, e-mail: vkambourova@enconservices.com

Доц. д-р инж. Илия Илиев, Русенски университет "Ангел Кънчев", GSM: 0887 306 898, e-mail: iiliev@enconservices.com

Доц. д-р инж. Ангел Терзиев, Технически университет София, GSM: 0889 235 361, e-mail: aterziev@tu-sofia.bg

Инж. Калин Ангелов, "Енкон сървисис" ООД, GSM: 0885 891 353, e-mail: kangelov@tu-sofia.bg

Докладът е рецензиран.