

**ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ОГРАЖДАЩИТЕ  
ЕЛЕМЕНТИ НА СГРАДИ В РЕЖИМ НА ОТОПЛЕНИЕ И ОХЛАЖДАНЕ****Мария Райкова<sup>1</sup>, Ивайло Цвятков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Технически Университет Габрово, maria\_raykova@abv.bg<sup>2</sup>Технически Университет Габрово, ivo\_bioklima@abv.bg**OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE ENCLOSING  
ELEMENTS OF BUILDINGS IN HEATING AND COOLING MODE****Mariya Raykova<sup>1</sup>, Ivaylo Tsvyatkov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Technical University-Gabrovo, maria\_raykova@abv.bg<sup>2</sup>Technical University-Gabrovo, ivo\_bioklima@abv.bg**Abstract**

The influence of the parameters of the enclosing elements of buildings on the energy required for heating and cooling has been studied. For this purpose, buildings are modeled with different combinations of heat transfer coefficients of walls, roof, and joinery and with different energy transfer coefficients of the joinery.

Based on the calculation results, regression models have been developed for the energy required for heating and cooling. The optimal value of the factors has been established.

**Keywords:** buildings, energy efficiency, modeling, enclosing elements, regression analysis, optimization

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Наредба 7 за енергийна ефективност на сгради регламентира изискванията за стойностите на коефициентите на топлопреминаване на ограждащите елементи на нови сгради, а също така и условията за съответствие с изискванията за енергийна ефективност. Съществуващите обществени и жилищни сгради са с топлотехнически параметри, които силно се различават от заложените в Наредба 7.

При обновяване и реконструкция на сгради се предприемат мерки свързани с топлоизолиране на ограждащи елементи и подмяна на дограма с цел намаляване на разходите за отопление и охлаждане. Значителната стойност на реализирането на енергоспестяващите мерки и голямото разнообразие от технически решения усложняват избора на оптимално решение.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

Анализа обхваща девет сгради намиращи се в курорта Албена. В някои от сградите реализирани мерки, топлоизолиране на стени и подмяна на алуминиева дограма с единично стъкло с PVC двоен стъкло-пакет, имат отрицателен ефект и водят до увеличаване на нетната енергия за охлаждане [1]. В същото време е налице стремеж сградите да се използват целогодишно.

В тази статия се разглежда влиянието на: дебелината на топлинната изолация на стените; дебелина на топлинната изолация на покрива; коефициента на топло и енергопреминаване на дограмата върху енергията необходима за отопление и охлаждане на сгради.

Данни за сградите и техните ограждащи елементи са представени в [1].

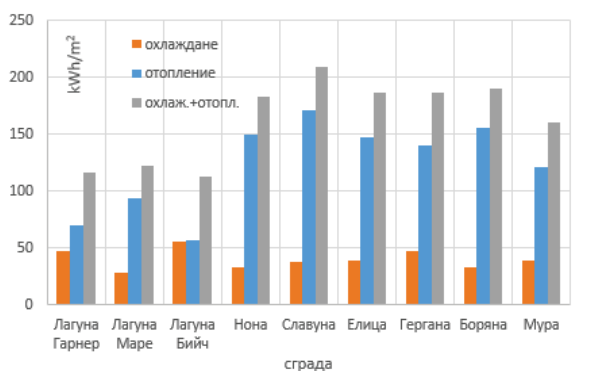
За моделиране на сградите е използван софтуерния продукт ENVI EAB Software HC 1.0.

Сградите са моделирани в режим на охлаждане и отопление при различни комбинации на топлофизичните характеристики на ограждащите елементи.

Моделите на сградите в режим на охлаждане са при проектна температура и температура с повишение  $25^{\circ}\text{C}$  и относителна влажност 55%, а в режим на отопление –  $19,5^{\circ}\text{C}$ .

От получените модели е определена сумарната нетна енергия за охлаждане и отопление.

При съществуващото състояние на сградите, с изключение на хотели Лагуна Бийч и Лагуна Гарнер, разхода за отопление би бил многократно по-голям от този за охлаждане фиг.1.



Фиг. 1. Нетна енергия за охлаждане и отопление

В хотел Лагуна Гарнер топлоизолирани са 66,12% от всички фасадни стени, а в Лагуна Бийч - 58,25%. В двете сгради около 60% от дограмата е подменена с PVC двоен стъклопакет, а покривите са изцяло топлоизолирани [1].

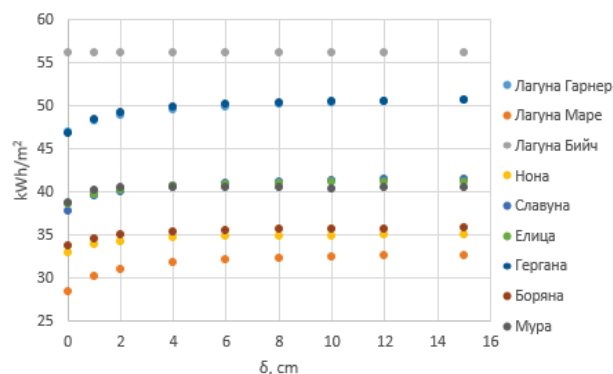
В Лагуна Бийч при съществуващото състояние сумарната нетна енергия за отопление и охлаждане са приблизително еднакви. В Лагуна Гарнер – сумарната нетна енергия за отопление е 1,49 пъти по-голяма от тази за охлаждане.

Може ли да се оптимизират параметрите на ограждащите елементи с цел намаляване на разхода за охлаждане и отопление?

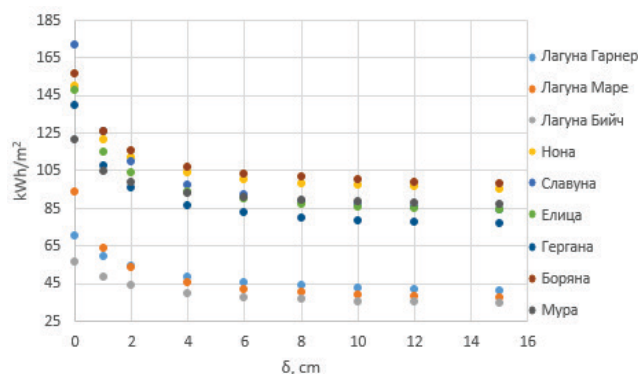
Топлоизолирането само на стените позволява значително да се намали разхода на

енергия за отопление при съпътстващо го увеличение на разхода за охлаждане. На фиг. 2 е показано изменението на сумарния нетен разход на енергия за охлаждане при различна дебелина на изолацията на стените при  $\lambda=0.035\text{W/mK}$ , а на фиг.3 – за отопление.

При полагане на топлоизолация с дебелина 1-6cm има значително намаляване на енергията за отопление и по-малко нарастване на тази за охлаждане



Фиг. 2. Нетен разход за охлаждане при различна дебелина на топлоизолацията

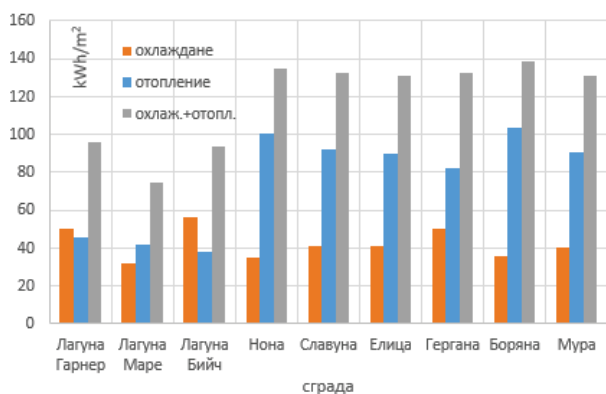


Фиг. 3. Нетен разход за отопление при различна дебелина на топлоизолацията

На фиг. 4 е показан разхода на сумарната нетна енергия за охлаждане и отопление при топлоизолиране на стените с дебелина на изолационния слой 6cm и  $\lambda=0.035\text{W/mK}$ .

Сравнението между фиг.1 и фиг. 4 показва че енергията за охлаждане за отделните сгради нараства с (5-13)%, а тази за отопление – намалява с (25-55)%.

В случай на „охлаждане+отопление“ намалението на сумарната нетна енергия е рамките на (16-30)%.



Фиг. 4. Нетна енергия за охлаждане и отопление  $\delta=6\text{ст}$

Сградите са моделирани в режим на охлаждане и отопление при различни комбинации на топлофизичните характеристики на ограждащите елементи.

В табл.1 са дадени използваните стойности на факторите - обобщените коефициенти на топлопреминаване и енергопреминаване. За стените – те съответстват на топлоизолация с  $\lambda=0.035\text{W/mK}$  и дебелини 6, 8, 10 и 12см; за покрива – топлоизолация с  $\lambda=0.035\text{W/mK}$  и дебелини 0, 5, 10 и 15см.

Табл.1 Стойности на факторите

Сграда	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
	g	U <sub>wall</sub>	U <sub>roof</sub>	U <sub>win</sub>
	-	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Лагуна Маре	0,41	0,50	0,61	1,47
	0,33	0,39	0,33	1,93
	0,28	0,32	0,22	
Гергана		0,27	0,17	
	0,42	0,49	0,89	1,5
	0,37	0,38	0,39	2,0
	0,28	0,31	0,25	
Лагуна Гарнер		0,27	0,185	
	0,41	0,55	0,43	1,61
	0,39	0,42	0,27	1,79
	0,34	0,34	0,19	
Елица		0,28	0,15	
	0,39	0,49	0,49	1,48
	0,35	0,39	0,29	1,96
	0,27	0,32	0,20	
Славуна		0,27	0,16	
	0,40	0,50	0,51	1,47
	0,36	0,39	0,30	1,94
	0,26	0,32	0,21	
Лагуна Бийч		0,27	0,16	
	0,46	0,44	0,46	1,66
	0,43	0,35	0,28	1,84

	0,39	0,29	0,20	
		0,25	0,155	
Боряна	0,40	0,49	0,49	1,48
	0,36	0,39	0,29	1,96
	0,27	0,32	0,20	
		0,27	0,16	
Нона	0,40	0,49	0,705	1,5
	0,36	0,38	0,35	2,0
	0,30	0,32	0,23	2,8
		0,27	0,175	
Мура	0,45	0,47	0,60	1,5
	0,40	0,37	0,32	2,0
	0,29	0,30	0,22	
		0,26	0,17	

Алгоритъма за генериране на различните модели на сградите е : за дадена дограма (g, U<sub>win</sub>) - модели с всеки тип стена(4типа) , като за даден тип стена – модели с четири типа покрив. Дограма заложена в меделите е – PVC( тип А1) и алуминиева (тип А2) двоен стъклопакет, PVC (тип В1) и алуминиева (тип В2) двоен стъклопакет със селективно нискоемисион-но покритие и PVC(тип С1) алуминиева (тип С2) тройно остъкление с две селективни нискоемисионни покрития.

С помощта на регресионен модел за всяка сграда е направен сравнителен анализ на получените резултати за сумарната нетна енергия, само при охлаждане, само при отопление и при охлаждане плюс отопление. Като цяло, значително въздействие оказват климатичните фактори, които в този случай не се изследват, тъй като се разглежда конкретни сгради.

Основните влияещи фактори, които са отчетени при разработването на модела са: коефициента на енергопреминаване на дограмата X<sub>1</sub>=g, коефициентите на топлопреминаване на ограждащите елементи - стени X<sub>2</sub> = U<sub>wall</sub> , покрив X<sub>3</sub> = U<sub>roof</sub> и дограма X<sub>4</sub> = U<sub>win</sub> .

Получените резултати от регресионните модели, за всяка сграда, са показани в табл. 2-10

Проверката показва че получените резултати са надеждни:

-стойността на Significance F е много по-малка от 0.05 при прието Confidence level 95%;-

- всички R-стойности са много по-малки от 0,05 .

Табл.2 Регресионен модел хотел Лагуна Маре

Лагуна Маре	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Observations
охл.	0,99985	0,99969	0,999676	0,077644	96
отопл.	0,92371	0,98480	0,984133	0,54544	96
ох.+от.	0,99146	0,98299	0,982245	0,574474	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=3,3149+79,227*X_1-2,2778*X_2+0,7447*X_3-2,590*X_4$				
отопл.	$Y=7,273-34,278*X_1+15,951*X_2+14,583*X_3+11,395*X_4$				
ох.+от.	$Y=10,588+44,951*X_1+13,674*X_2+15,328*X_3+8,805*X_4$				

Табл.3 Регресионен модел хотел Гергана

Гергана	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99980	0,99959	0,999571	0,13294	96
отопл.	0,99118	0,98242	0,981657	0,63997	96
ох.+от.	0,99355	0,98714	0,986579	0,67041	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=18,687+108,31*X_1-3,994*X_2-0,542*X_3-4,530*X_4$				
отопл.	$Y=-3,194-28,581*X_1+18,169*X_2+9,227*X_3+12,758*X_4$				
ох.+от.	$Y=15,493+79,729*X_1+14,175*X_2+8,684*X_3+8,229*X_4$				

Табл.4 Регресионен модел хотел Елица

Елица	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99990	0,99979	0,999784	0,06978	96
отопл.	0,99797	0,99595	0,99577	0,29332	96
ох.+от.	0,99755	0,99511	0,99490	0,31179	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=11,563+93,227*X_1-2,444*X_2-1,204*X_3-3,291*X_4$				
отопл.	$Y=4,028-36,708*X_1+18,722*X_2+11,850*X_3+14,358*X_4$				
ох.+от.	$Y=15,591+56,519*X_1+16,278*X_2+10,647*X_3+11,066*X_4$				

Табл.5 Регресионен модел хотел Славуна

Славуна	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99945	0,99890	0,99886	0,17554	96
отопл.	0,99900	0,99800	0,99792	0,22853	96
ох.+от.	0,99823	0,99645	0,99630	0,289655	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=15,523+86,565*X_1-3,029*X_2-0,056*X_3-3,246*X_4$				
отопл.	$Y=5,067-38,095*X_1+24,512*X_2+15,451*X_3+14,089*X_4$				
ох.+от.	$Y=20,590+48,470*X_1+21,483*X_2+15,395*X_3+10,843*X_4$				

Табл.6 Регресионен модел хотел Лагуна Бийч

Лагуна Бийч	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99963	0,99257	0,99225	0,28716	96
отопл.	0,99761	0,99523	0,99502	0,18439	96
ох.+от.	0,99812	0,99624	0,99608	0,19044	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=-0,760+120,221*X_1-0,782*X_2-0,523*X_3-3,175*X_4$				
отопл.	$Y=0,051-40,342*X_1+13,358*X_2+14,131*X_3+15,417*X_4$				
ох.+от.	$Y=-0,709+79,879*X_1+12,576*X_2+13,608*X_3+12,242*X_4$				

Табл.7 Регресионен модел хотел Лагуна Гарнер

Лагуна Гарнер	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99934	0,98679	0,986214	0,32229	96
отопл.	0,99925	0,99851	0,99844	0,12466	96
ох.+от.	0,99345	0,98702	0,98645	0,35925	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=13,804+90,044*X_1-4,239*X_2-0,266*X_3-4,198*X_4$				
отопл.	$Y=4,581-32,740*X_1+20,623*X_2+16,659*X_3+13,233*X_4$				
ох.+от.	$Y=18,386+57,305*X_1+16,384*X_2+16,394*X_3+9,035*X_4$				

Табл.8 Регресионен модел хотел Боряна

Боряна	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99107	0,98223	0,98144	0,76196	96
отопл.	0,99798	0,99595	0,99578	0,32310	96
ох.+от.	0,98659	0,97336	0,97219	0,82283	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=7,608+100,313*X_1-4,323*X_2-0,056*X_3-3,053*X_4$				
отопл.	$Y=10,349-41,484*X_1+13,519*X_2+10,932*X_3+16,675*X_4$				
ох.+от.	$Y=17,957+58,829*X_1+9,196*X_2+10,876*X_3+13,622*X_4$				

Табл.9 Регресионен модел хотел Нона

Нона	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,92052	0,84737	0,94297	1,59423	144
отопл.	0,99650	0,99301	0,99281	0,78312	144
ох.+от.	0,98240	0,98485	0,98441	0,94048	144
Регресионна линия					
охл.	$Y=17,832+76,295*X_1-2,655*X_2-0,194*X_3-3,611*X_4$				
отопл.	$Y=0,854-30,877*X_1+15,790*X_2+11,736*X_3+16,168*X_4$				
ох.+от.	$Y=18,685+45,418*X_1+13,125*X_2+11,541*X_3+12,557*X_4$				

Табл.10 Регресионен модел хотел Мура

Мура	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error	Obs.
охл.	0,99799	0,99597	0,99580	0,37709	96
отопл.	0,97094	0,94272	0,94020	1,39869	96
ох.+от.	0,95106	0,90452	0,90032	1,38439	96
Регресионна линия					
охл.	$Y=18,073+84,416*X_1-3,184*X_2-2,177*X_3-4,590*X_4$				
отопл.	$Y=3,706-47,292*X_1+11,294*X_2+12,250*X_3+15,775*X_4$				
ох.+от.	$Y=21,779+37,124*X_1+8,110*X_2+10,073*X_3+11,185*X_4$				

Получените регресионни уравнения показват че:

- в режим на охлаждане намаляване на сумарната нетна енергия се получава при намаляване на фактора  $X_1$  (коэффициент на енергопреминаване) и при увеличаване на факторите (коэффициенти на топлопреминаване)  $X_2, X_3, X_4$ .

- в режим на отопление -намаляване на сумарната нетна енергия се получава при увеличаване на фактора  $X_1$  (коэффициент на енергопреминаване) и при намаляване на факторите (коэффициенти на топлопреминаване)  $X_2, X_3, X_4$ .

- при реализиране на охлаждане и на отопление - намаляване на сумарната нетна енергия се получава при намаляване на всички фактори (коэффициенти на топлопреминаване)  $X_1, X_2, X_3, X_4$ .

При така избраните фактори, за всички сгради и в трите режима – отопление, охлаждане или сумарно, най-голям по абсолютна стойност е коэффициента на  $X_1$ , тоест той най - съществено влияе на сумарната нетна енергия.

От факторите  $X_2, X_3$ , и  $X_4$  определящ в режим на охлаждане в 7 от сградите е  $X_4 = U_{win}$ , а в 2 сгради е  $X_2 = U_{wall}$ . В режим на отопление - в 4 от сградите е  $X_4 = U_{win}$ , а в 5 сгради е  $X_2 = U_{wall}$  и режим охлаждане-отопление в 4 сгради с най-голяма тежест е  $X_2 = U_{wall}$ , в три сгради - е  $X_3 = U_{roof}$  и в 2 сгради -  $X_4 = U_{win}$ .

За всяка сграда са определени стойностите на факторите  $X_1, X_2, X_3$  и  $X_4$  при които сумарната нетна енергия за охлаждане, отопление и сумарно имат минимални стойности.

В табл. 11, 12 и 13 са дадени техните стойности. За факторите  $X_2$  и  $X_3$  са посочени

ни стойностите на коэффициента на топлопреминаване  $U, W/m^2K$  и дебелината на изолацията  $\delta, cm$ .

Табл. 11 Оптимални стойности на факторите

сграда	охлаждане		
	дограма	$U_{wal}/\delta$	$U_{roof}/\delta$
Лагуна Маре	C2	0,50/6	0,17/15
Гергана	C2	0,49/6	0,89/0
Лагуна Гарнер	C2	0,55/6	0,43/0
Елица	C2	0,49/6	0,49/0
Славуна	C2	0,50/6	0,16/15
Лагуна Бийч	C2	0,44/6	0,46/0
Боряна	C2	0,49/6	0,20/10
Нона	C2	0,49/6	0,35/5
Мура	C2	0,47/6	0,60/0

Табл. 12 Оптимални стойности на факторите

сграда	отопление		
	дограма	$U_{wal}/\delta$	$U_{roof}/\delta$
Лагуна Маре	A1	0,27/12	0,17/15
Гергана	A1	0,27/12	0,19/15
Лагуна Гарнер	A1	0,28/12	0,15/15
Елица	A1	0,27/12	0,16/15
Славуна	A1	0,27/12	0,16/15
Лагуна Бийч	A1	0,25/12	0,16/15
Боряна	A1	0,27/12	0,16/15
Нона	A1	0,27/12	0,18/15
Мура	A1	0,26/12	0,17/15

Табл. 13 Оптимални стойности на факторите

сграда	охлаждане+отопление		
	дограма	$U_{wal}/\delta$	$U_{roof}/\delta$
Лагуна Маре	B1	0,27/12	0,17/15
Гергана	B3	0,27/12	0,19/15
Лагуна Гарнер	B3	0,28/12	0,15/15
Елица	C1	0,27/12	0,16/15
Славуна	C1	0,27/12	0,16/15
Лагуна Бийч	C1	0,25/12	0,16/15
Боряна	C1	0,27/12 0,32/6	0,16/15
Нона	C1	0,27/6	0,18/15
Мура	C1	0,26/6	0,17/15

Налице са противоположни закономерности - промяната на даден фактор води до противоположни промени на енергията за охлаждане и на тази за отопление. В този аспект за сгради които се отопляват и охлаждат е особено важен целесъобразния избор на параметрите на ограждащите еле-

менти – коефициенти на топлопреминаване и на енергопреминаване.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Направено е моделиране на сградите в режим на охлаждане и отопление със софтуерния продукт EAB Software HC 1.0.

Анализирано е влиянието на топло-физичните характеристики на ограждащите елементи. За целта е определена нетната енергия за охлаждане при отсъствие на вътрешни топлинни източници.

С помощта на регресионния анализ са получени линейни модели, имащи коефициента на детерминация блисък до 1, позволяващи да се оцени въздействието на отделните фактори върху сумарната нетната

енергия за охлаждане, отопление и общо при охлаждане и отопление.

За всяка от сградите са определени стойностите на факторите  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$  при които сумарната нетна енергия за охлаждане, отопление и общо имат минимални стойности.

## **REFERENCE**

- [1] Raykova M., Tsvyatkov I., Analysis of net energy consumption for cooling hotel buildings, UNITECH 2021, Gabrovo
- [2] Naredba №7 от 2004г за енергийна ефективност на сгради.
- [3] Naredba № E-RD-04-2 от 22.01.2016г за показателите за разход на енергия и енергийните характеристики на сградите.