

ОСОБЕНОСТИ НА АНАЛИЗА ЗА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ СГРАДИ

Мария Райкова , Ивайло Цвятков

Технически университет Габрово, maria_raykova@abv.bg

Технически университет Габрово, ivo_bioklima@abv.bg

PARTICULARITY OF ANALYSIS FOR ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Mariya Raykova, Ivaylo Tsvyatkov

Technical University-Gabrovo, maria_raykova@abv.bg

Technical University-Gabrovo, ivo_bioklima@abv.bg

Abstract

The possibilities for using the EAB software for modeling of industrial buildings are considered. A model of an industrial building is presented. The energy savings from the proposed measures are determined by modeling and by a methodology recommended in the literature. An analysis of the obtained results was made.

Keywords: *industrial buildings, energy savings, modeling*

ВЪВЕДЕНИЕ

Обследването за енергийна ефективност на промишлени системи включва и обследване на съответните производствени сгради, като част от производственната система.

Много от използваните промишлени сгради имат високи коефициенти на топлопреминаване на ограждащите елементи, висока степен на инфилтрация и поддържането на определен микроклимат е свързано с големи енергийни разходи. Генерирането на енергоспестяващи мерки изисква да се определят очакваните енергийни икономии и се извърши технико-икономическа оценка на предлаганите мерки.

ИЗЛОЖЕНИЕ

При обследването за енергийна ефективност на съществуващи сгради се изчислява стойността на специфичния годишен разход на първична енергия. Изчисленията се извършват по методиката съгласно Прило-

жение 3 към чл.5 на Наредба 7 от 2004г за енергийна ефективност на сгради.

Често за целта сградата се моделира със специализирания софтуер ЕАВ. Чрез създаване на модел отразяващ състоянието на сградата и потреблението на енергия от различните системи, симулиране на енергоспестяващи мерки и получаване на модел на сградата след реализирането им, се определя икономията на енергия за всяка мярка.

Съгласно т.2 на чл.2 на Наредба 7 от 2004г за енергийна ефективност на сгради, методиката от Приложение 3 към чл.5 на Наредба 7 от 2004г за енергийна ефективност на сгради може да се прилага за изчисляване на годишния разход на енергия на производствена сграда, като част от промишлената система, само когато са избрани подходящи входни данни, необходими за прилагане на изчислителния метод.

В статията се разглежда възможността за моделиране на производствени сгради със софтуера ЕАВ и някои особености при определяне на входните данни.

Както при обследването на публични и жилищни сгради, първа стъпка при моделирането е идентифицирането на всички видове ограждащи елементи, определяне на коефициентите им на топлопреминаване и коефициентите на пренос на топлина чрез топлопреминаване и инфилтрация.

Много от производствените помещения имат височина по-голяма от 5m и следва да се отчита температурния градиент по височина. При моделиране на сградата това може да се отрази чрез коригиране на коефициента на топлопреминаване U на покрива :

$$U_{cor} = (DD_{cor}/DD) \cdot U \quad (1)$$

където DD_{cor} и DD са денградусите изчислени съответно с вътрешна температура: на въздушния слой под покрива $\theta_{i,r}$ и със средната обемна температура на сградата θ_i .

Температурата $\theta_{i,r}$ може да бъде директно измерена при обследването или определена по зависимостта приведена в [1]

$$\theta_{i,r} = \theta_i + 0,3(h-1,5), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

където h е височина на помещението, m ;

За халета, при които срещуположните стени са външни и са подложени на въздействието на климатичните фактори, лъчистият топлообмен е ограничен и съгласно [1] съпротивлението на тези стени се определя по:

$$R = 2R_{si} + R_f + R_{se} \quad (3)$$

където:

- R_{si} – съпротивлението на топлопредаване на вътрешната повърхност, $m^2 \cdot K/W$;

- R_{se} – съпротивлението на топлопредаване на външната повърхност, $m^2 \cdot K/W$;

- R_f – термично съпротивление на елемента, $m^2 \cdot K/W$.

Особено внимание следва да се обърне на различните консуматори, разположени в обследваната сграда, и коректното им разделяне на влияещи на топлинния баланс и такива които не оказват влияние на баланса.

При моделирането на производствени сгради се отчита потреблението на енергия от работещото в помещенията оборудване.

За всеки тип оборудване трябва да се направи оценка каква част от потребената енергия следва да се отнесе към „разни влияещи“ и „разни невлияещи“ на топлинния баланс.

В някои промишлени системи се извършва охлаждане на машини и топлина от технологичното оборудване се отвежда извън сградата. Това се осъществява от студов център с чилъри, чрез въздушно охлаждане и др. начини.

Съответния енергиен поток, отвеждан извън сградата следва да бъде отразен в „разни невлияещи“ на топлинния баланс.

При наличие на студов център и охлаждаща система, мощността на охлажданото технологично оборудване, която следва да се отнесе към „разни невлияещи“ може да се определи чрез охладителната мощност и режим на работа на чилърите, или чрез параметрите на студоносителя:

$$P_1 = c_p \cdot m \cdot (\theta_{out} - \theta_{in}) \cdot W \quad (4)$$

където:

m – дебит на студоносителя, kg/s ;

θ_{in} , θ_{out} -температура на студоносителя на вход/ изход от оборудването, $^\circ\text{C}$;

c_p – специфичен топлинен капацитет на студоносителя, $J/(kg \cdot K)$

Аналогично при наличие на въздушно охлаждани машини (компресори и др.) мощността на охлажданото оборудване, която следва да се отнесе към „разни невлияещи“ на баланса може да се определи чрез параметрите на въздушния поток - дебит, температура, специфичен топлинен капацитет.

При определяне на съответната едновременна мощност и период на едновременна работа това трябва да се извършва отчитайки реалния производствен процес – часове на работа, инсталирана и работна мощност на производственото оборудване.

При моделирането на производствени сгради особено внимание следва да се отдели на работата на вентилационните системи.

В най-общия случай те са съвкупност от смукателни и нагнетателни системи, работещи съвместно с множество местни смукателни инсталации. Смукателните системи отстраняват на място различни производствени вредности, а често и значително количество топлина, отделящо се в технологичния процес.

Необходимо е да се определи количеството топлина изхвърляно от всички смукателни системи и при моделиране на сградата съответната мощност да бъде отразена в едновременната мощност на „разни невлияещи“ на топлинния баланс.

$$Q_2 = \sum_{i=1}^n c_{p,i} m_{L,i} (\theta_{L,i} - \theta_i), W \quad (5)$$

където:

$m_{L,i}$ – дебит на въздуха изхвърлян навън от „i“-я местен смукател, kg/s;

$\theta_{L,i}$ – температура на изхвърляния въздух от „i“-я местен смукател, °C;

θ_i – средна обемна температура на въздуха в сградата/помещението, °C

Температурата на изхвърляния въздух от съответните смукателните вентилационни системи $\theta_{L,i}$ може да се измери в процеса на обследване на промишлената система.

В някои производствени сгради осветителната система е значим консуматор на електроенергия, особено в промишлени системи с непрекъснат 24 часов работен цикъл.

В зависимост от месторазположението на осветителните тела и системата за поддържане на микроклимата, количеството топлина постъпващо в сградата е различно [2].

При помещение с окачен неветилируем таван 100% от отделената топлина от осветителните тела постъпва в помещението [2].

При сгради с покрив с вентилируемо пространство над окачения таван [2] – около 40% от отделената топлина постъпва директно в помещението, а останалата част постъпва над окачения таван. Приблизително половината от нея се отнася с изхвърляния въздух, а другата половина постъпва обратно в помещението. Сумарно в помещението постъпва около 70% от отделената топлина.

При покрив с вентилируемо пространство над окачения таван и засмукване на въздуха покрай осветителното тяло в помещението постъпва 50% от отделената топлина – пряко постъпва 30%, а от останалата част (70%) около 40-50% се отнася с изхвърляния въздух и 20-30% се връщат обратно в помещението [2].

Следователно при отразяване на осветителната система в модела на сградата, потребената енергия за осветление следва да се раздели на две компоненти:

- влияеща на топлинния баланс, която се отразява в прозорец „осветление“;

- невлияеща на топлинния баланс - отразена в прозорец „разни невлияещи“.

При наличие на оборудване в което се изгаря гориво следва да се определи както внесената топлина с горивото, така и топлината изхвърляна с димни газове, отвеждана извън сградата с охлаждащ въздух или с готовата продукция и др. фактори .

Поради голямото разнообразие на промишлени системи е невъзможно да се обхванат всички случаи. Съставянето на материален и енергиен баланс на сградата позволява да се идентифицират и правилно отразят консуматорите и съответните мощности влияещи и невлияещи на топлинния баланс.

Извършено е моделиране на производствена сграда на фирма „Медикет-Цех“ ЕООД, симулирани са мерки свързани с подобряване на топлофизичните характеристики на ограждащите елементи: топлоизолиране на стени и покрив, подмяна на дограма. В резултат е определена икономията на енергия за поддържане на микроклимата.

Основно технологично оборудване са шприц и шприц-блас автомати. При моделиране на сградата е отчетено че при охлаждане на технологичното оборудване топлината се отвежда извън сградата. Същото важи и за компресорите, които имат въздушно охлаждане.

Входните данни за моделиране на сградата включват климатични данни (7-та климатична зона), типа на сградата, режим на използване, характеристики на всички ограждащи елементи с техните топлофизични характеристики (площ, коефициенти на топлопреминаване) и други.

В модела са отразени вътрешните източници, влияещи и невлияещи на топлинния баланс на сградата

- топлината от обитатели ;
- въз основа на мощността на отделните групи осветителни тела, режимът им на работа, отчетен индивидуален коефициент на едновременност и период на едновременна работа 168 часа/седмично е определена едновременната мощност за осветление;

Топлини загуби през/от	Състояние		След ЕСМ	
	Н W/K	Н' W/m²K	Н W/K	Н' W/m²K
Външни стени	2 615	1,01	310	0,12
Врати и прозорци	3 540	1,37	575	0,22
Покрив	1 784	0,69	423	0,16
Под	514	0,20	514	0,20
Инфилтрация	3 047	1,18	2 032	0,78
Вентилация (отопл.)	0	0,00	0	0,00
Общо	11 501	4,44	3 854	1,49

Фиг. 1. Коефициенти на пренос на топлина

- при направеното моделиране са отчетени топлинните печалби от работещото оборудване в сградата. Основно това е топлина отделяна от работещи електродвигатели и нагреватели;

Параметър	Еталон	Състояние	Базова линия	Чувствителност kWh/m²a	ЕС мерки
6. Разни					
6.1 Разни влияещи на баланса 245,3 kWh/m²a					
Работен режим	168 ч/седм.	168	168	+5 ч/седм. = 5,80	168
Едновр. мощност	28,00 W/m²	16,16	22,23	+1 W/m² = 8,76	22,23
Сума 3		141,6	194,7		194,7
6.2 Разни невлияещи на баланса 112,1 kWh/m²a					
Работен режим	168 ч/седм.	168	168	+5 ч/седм. = 2,80	168
Едновр. мощност	12,80 W/m²	17,81	53,72	+1 W/m² = 8,76	53,72
Сума 3		156,0	470,6		470,6

Фиг. 2. Влияещите и невлияещи на баланса консуматори

- въз основа на мощността на отделните групи машини, режимът им на работа, отчетен индивидуален коефициент на едновременност и период на едновременна работа 168 часа/седмично е определена едновременната мощност на „разни влияещи“ и „разни невлияещи“ на баланса.

- отчетено е че топлината отведена при охлаждане на технологичното оборудване от чилърна система и въздушното охлаждане на компресорите, се отвежда извън сградата.

Направено е симулиране на предвидените мерки по отношение на ограждащите елементи на сградата: топлоизолиране на всички фасадни стени, топлоизолиране на

покрива и цялостна подмяна на прозорци и външни врати.

Обследването на промишлени сгради следва да е в контекста на разглежданата промишлената система.

В модела на сградата е отчетено въвеждането на допълнително ново производствено оборудване, част от което ще се охлажда от студовия център – чрез корекции на едновременните мощности в базовата линия на „разни влияещи“ и „разни невлияещи“ фиг. 2.

Параметър	Еталон kWh/m²	Състояние		Базова линия		След ЕСМ	
		kWh/m²	kWh/a	kWh/m²	kWh/a	kWh/m²	kWh/a
1. Отопление	6,5	88,8	230 083	166,6	431 739	20,3	52 491
2. Вентилация (отопл.)	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
3. БГВ	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
4. Помпи, вент. (отопл.)	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
5. Осветление	49,9	41,9	108 534	43,2	111 940	43,2	111 940
6. Разни	357,4	297,6	771 320	665,3	1 724 515	665,3	1 724 515
Общо (отопление)	413,9	428,2	1 109 937	875,1	2 268 194	728,8	1 888 946
Обща отопляема площ	2 592						

Фиг. 3. Годишен разход на енергия

На фиг. 4 е показан прозорец „ЕС мерки“ с определените спестявания на енергия в годишен мащаб.

Параметър	kWh/m²	kWh/a	Действ. kWh/a
1. Отопление: U - стени	47,69	123 607	123 607
1. Отопление: U - прозорци	61,00	158 117	158 117
1. Отопление: U - покрив	28,35	73 473	73 473
1. Отопление: Инфилтрация	21,21	54 969	54 969
Общо - отопление	158,24	410 165	410 165

Фиг. 4. Енергоспестяващи мерки

В методически указания за обследване на промишлени системи и оценка на спестяванията, ефекта от мерки по ограждащите елементи на сгради се определя въз основа на разликата в топлинните загуби през тях, при съществуващото състояние на сградата и след реализиране на мерките.

Определен е ефекта от предложените мерки за сградата на фирма „Медикет-Цех“ ЕООД съгласно методическите указания и е направено сравнение с резултатите от моделирането със софтуера ЕАВ.

Топлинните загуби са изчислени при среднообемна температура в сградата $\theta_i = 18^\circ\text{C}$ и средно месечна температура на външния въздух за 7-ма климатична зона през отоплителния период $\theta_e = 3,826^\circ\text{C}$.

Общите топлинни загуби на сградата са определени на база на изчислените коефициенти на пренос на топлина W/K през ограждащите стени, прозорци, под и покрив, и топлинните загуби от инфилтрация (фиг. 1).

Загубите от инфилтрация са определени при същата средночасова кратност на въздухообмена както при моделиране на сградата: $n = 0,78 \text{ h}^{-1}$ състояние и след реализиране на мерките $n = 0,52 \text{ h}^{-1}$

При определяне на средночасовата кратност на въздухообмена е отчетено времето през което част от вратите са отворени за товаро-разтоварни дейности.

В табл. 1 са определени топлинните загуби през ограждащите елементи при съществуващо състояние на сградата, а в табл. 2 – след реализиране на мерките.

Табл. 1. Топлинни загуби при съществуващо състояние

	A	U	H	Ф
	m ²	W/m ² K	W/K	W
стени	1348	1,94	2615	37066
дограма	599,35	5,91	3541	50178
под	1512	0,34	514	7286
покрив	1512	1,18	1784	25288
инфилтрация			3047	43191
			11501	163010

Табл. 2. Топлинни загуби след реализиране на мерките

	A	U	H	Ф
	m ²	W/m ² K	W/K	W
стени	1348	0,23	310	4394
дограма	599,35	0,959	575	8151
под	1512	0,34	514	7286
покрив	1512	0,28	423	6001
инфилтрация			2031	28794
			3854	54626

В табл. 3 са определени енергийните икономии за всяка мярка, като разлика в топлинните загуби при съществуващото състояние (табл. 1) и след реализиране на мерките (табл. 2).

Табл. 3. Сравнение на енергийните спестявания

	ΔФ	Енерг.спестявания		разлика	
		методика	моделиране		
	W	kWh	kWh	kWh	%
стени	32672	149768	123607	26161	21,16
дограма	42027	192654	158117	34537	21,84
под	19288	88415	73473	14942	20,34
инфилтр.	14397	65996	54969	11027	20,06
сума:		496832	410166	86666	21,13

Също така е направено сравнение на получените стойности за енергийните спестявания с тези от извършеното моделиране на сградата и симулиране на мерките. За всички мерки разликата е значителна над 20%, като енергийните спестявания определени чрез моделиране на сградата са по-малки.

Получения резултат е логичен, тъй като определените спестявания по методическите указания, на практика са спестявания на нетна енергия и не се отчитат редица фактори влияещи на топлинни баланс, на енергията необходима за поддържане на микроклимата в сградата, а от там и на спестяванията от предложените мерки: топлина от хора; слънчева енергия постъпила през дограмата; приноси от осветителната система; приноси от оборудване.

При моделирането на производствената сграда всички тези фактори са отчетени.

Ако в модела на сградата не се отчетат посочени по-горе фактори, то получените икономии на енергия, показани на фиг. 5, са еднакви с тези определени по методическите указания.

Параметър	kWh/m ²	kWh/a	Действ. kWh/a
1. Отопление: U - стени	57,78	149 767	149 767
1. Отопление: U - прозорци	74,32	192 648	192 648
1. Отопление: U - покрив	34,11	88 415	88 415
1. Отопление: Инфилтрация	25,46	66 000	66 000
Общо - отопление			496 830
			191,68
			496 830
			496 830

Фиг. 5. Енергоспестяващи мерки (нетна енергия)

При моделиране на сградата има възможност да се отчетат и коефициентите характеризиращи ефективността на системата за поддържане на микроклимата и по този

начин да се определят реалните енергийни спестявания. А при използване на методическите указания трябва допълнително да се направят изчисления и да се отчете ефективността на компонентите на системата обезпечаваща микроклимата в сградата.

В табл. 4 са показани данни за спестената енергия от мерките по ограждащите елементи, енергия за отопление преди и след реализиране на мерките за следните варианти: 1 - по нетна енергия; 2 - отчетени са приносите от хора, слънчева енергия и осветление; 3 - отчетени са всички вътрешни топлинни източници; 4 - по брутна енергия; 5 - симулирана е и мярка по осветителната система.

В случаи 1, 2 и 3 не е отразена ефективността на отоплителната система, за по-коректно сравнение с резултатите от методическите указания.

Вариант 4 - отразена е ефективността на използваните за отопление климатици и електрически уреди. Вариант 5 - симулирана е и мярка по осветителната система. Намалените приноси от осветителната система водят до увеличаване на брутната енергия за отопление и по-големи икономии от мерките по ограждащите елементи, в сравнение с вариант 4.

Табл. 4. Потребна енергия за отопление и общи енергийни спестявания от мерките по ограждащите елементи

Вар-т	състояние MWh	след ЕСМ MWh	икономии MWh
1	747,2	250,1	496,8
2	593,1	156,7	489,1
3	431,8	52,5	410,2
4	219,2	26,6	208,2
5	219,2	30,8	215,0

В случая най-съществено влияние върху брутната енергия за отопление и спестяванията от мерките, от всички приноси имат тези от „разни влияещи“ в сравнение с другите вътрешни топлинни източници. Затова е важно тяхното точно моделиране

Ако в производствената сграда се поддържа определен микроклимат и в летен режим, създаването на модел на сградата позволява лесно да се оцени общия ефект от дадена мярка в двата режима (летен и зимен). Някои от мерките по ограждащите

елементи в двата режима имат различен знак.

Моделирайки сградата може да се отчети взаимодействието с други мерки – по осветителна система, оборудване и др.

Така например замената на компресор с нов с честотно регулиране и реализиране на съвременна система за управление на компресорната станция води до намаляване на потребената електроенергия от компресорното оборудване. Ако това води до намаляване на едновременната мощност на „разни влияещи“ то разхода на енергия за отопление ще се увеличи. .

За определяне на икономическите показатели (нетни икономии, срок на откупване и др.) следва да се използват спестявания на брутна енергия, а не на нетна енергия.

Ако в производственна сграда за отопление се използва отпадна топлина от технологичния процес, следва да се направи оценка за всеки месец, каква част от потребената енергия е за сметка на отпадна топлина и каква за сметка на друг ресурс.

В този случай, при реализиране на мерки по ограждащите елементи, реална икономия на средства ще има само по отношение на допълнителния енергиен източник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направения анализ показва, че в обследването за енергийна ефективност на производствени сгради може да се използва софтуера ЕАВ и се моделира сградата.

За целта е необходимо да са избрани подходящи входни данни, необходими за прилагане на изчислителния метод от Приложение 3 на Наредба 7 за енергийна ефективност на сгради, залегнал в посочения софтуер.

При моделиране на сградата за всеки тип оборудване и система трябва да се направи точна оценка каква част от потребената енергия следва да се отнесе към „разни влияещи“ и каква към „разни невлияещи“.

Моделирането на сградата позволява да се отчетат редица фактори влияещи на топлинния баланс, на енергията необходима за поддържане на микроклимата в сградата, а от там и на спестяванията от предложените мерки.

Обследването на промишлени сгради следва да е в контекста на разглежданата промишлената система.

REFERENCE

[1] Stamov S. Spravochnik po otoplenie, ventilaciya I klimatizaciya, ДИ"Техника", Sofia 1990 .

[2] Ananiev A., Balueva N Sistemi ventilii I kondicionirovaniya. Teoriya I praktika, Evroklimat, 2001

[3] Kaloivanov N., Kasabov I, i dr.. Metodicheski ukazaniya za izvarschvane na obsledvane za energijna efektivnost I ochenka na energijni spestiyavaniya na promischleni sistemi I predpriyatiya, I "Zeleno upravlenie", 2019.