



Получена: 29.12.2022 г.

Приета: 06.02.2023 г.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ТОПЛОПРЕМИНАВАНЕ (U) ПО АНАЛИТИЧЕН НАЧИН И ОПИТНО – ЧРЕЗ ИНФРАЧЕРВЕНА ТЕРМОГРАФИЯ (IRT) И ЧРЕЗ ТЕРМОМЕТРИЧЕН МЕТОД (ТНМ)

К. Колева¹

Ключови думи: термодинамика, топлинен поток, сградна обвивка, топлоизолация, инфрачервена термография (IRT), термални изображения, термометричен метод (ТНМ)

РЕЗЮМЕ

Технологията в птицевъдството изисква задължителен контролиран микроклимат с фиксирана температура. В този отрасъл на производството използваните сгради са стари, от средата на миналия век, и при повечето от тях се наблюдава неподходяща, компрометирана, стара топлоизолация, или изобщо липса на такава.

Цел на настоящото изследване е определянето на коефициента на топлопреминаване (U) по аналитичен начин и чрез използване на съвременни “in-situ” методи – инфрачервена термография (IRT) и термометричен метод (ТНМ).

Разликата между аналитичния и опитно определения коефициент на топлопреминаване при стари сгради е между 15 – 20 %, което е съществено при оценка на енергийната ефективност на сградата.

1. Увод

През последните години се обръща внимание не само на вида и на нормативните характеристики на топлоизолационните материали, необходими в процеса на проектиране, но и на реалната възможност и степен на постигане на топлотехническите параметри при съществуващи вече сгради.

¹ Катерина Колева, докторант инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: katerinakolev@gmail.com

Стойностите на коефициента на топлопреминаване се променят през годините, като намаляването на стойността му е очевиден знак за промяна в нагласите на обществото и значително повишаване на изискванията към топлотехническото състояние на сградната обвивка. Възниква въпросът как е възможно реално да се постигне това, като се знае, че стойностите на коефициента на топлопроводност (λ) са нормативно и лабораторно определени и не се променят през годините при различните видове топлоизолационни материали, също възможностите за увеличаване на дебелината на топлоизолационния материал са ограничени поради конструктивни, архитектурни и технологични особености, от една страна. От друга страна при съществуващи стари сгради се оформя проблем с реалните топлотехнически характеристики на коефициента на топлопроводност (λ) при използваните топлоизолационни материали, чрез който се постигат изискуемите нормативни стойности на коефициента на топлопреминаване – U .

Повишаването на изискванията към топлотехническото състояние на сградите, свързано с Европейски директиви и норми още от 2012 година, и дори по-рано, с които се рамкира енергийната ефективност на сградите, в това число намаляването на коефициента на топлопреминаване, изисква двустранен или двупосочен подход, за да може да се отговори на изискванията на последните [1 – 6]. Необходим е правилен избор и топлотехническо оразмеряване в процеса на проектиране и при изграждането на сградната обвивка, но също и възможно най-близко до реалните стойности определяне на коефициента на топлопреминаване при стари сгради.

Както вече бе посочено, нормативните стойности на топлоизолационните материали и класическото аналитично оразмеряване не се променят, възможностите за постигане на параметрите на топлотехническите показатели е ограничено. По отношение на това доколко реално може да се покрият топлотехническите параметри в една реална съществуваща стара сграда – при съществуващи сгради от средата на миналия век топлотехническите параметри не отговарят на лабораторно или нормативно заложените поради стареене, въздействие на различни неблагоприятни атмосферни фактори – промяна в температурата, влага, прахови частици, компрометиране и нарушаване на целостта на топлоизолацията, стареене и други.

Обект на настоящата работа е сграден фонд за производство, построен около средата на миналия век, където е проблем покриването на топлотехническите изисквания, които са били значително по-ниски за периода, през който са били строени, например за 1969 година нормативният коефициент на топлопреминаване за стени е $1,75$ ($W/m^2.K$), а сега е $0,28$ ($W/m^2.K$), или сега се изисква получаване на шест пъти по-ниска стойност на коефициента на топлопреминаване [1 – 6]. Това поставя реално невъзможни изисквания към съществуващия вече сграден фонд, поради рязко променената нормативна база, и също така почти невъзможни изисквания към постигане на първоначалните параметри – нормативно и лабораторно заложи към топлоизолационните материали, поради сравнително дългия период на стареене – около 60 години. Настоящото обследване и интерес е насочено към съществуващи сгради в селското стопанство, отопляеми животновъдни сгради в птицевъдното производство, където се изисква постигане на определени параметри на микроклимата за реализиране на технологията на съответното производство (5). Би следвало да се отбележи, че точно при този тип сгради, освен вече посочените реални проблеми във връзка с остаряването на сградния фонд и на строителните материали също, промяната в нормативната база в държавата, също така стои неразрешен проблемът за стриктното спазване и покриване на нормативните изисквания за осигуряване на топлотехническите параметри чрез съответен периодичен надзор и инспекция.

Причините за това са неясни на пръв поглед може да се приеме, че една от тях е вероятно точно видът на последните – селскостопански сгради за животновъдно

производство, технологична цикличност при съответното производство, ниско ниво на зоохигиенна култура, обществени нагласи и настроения, свързани с negliжиране на състоянието на сградния фонд при този вид производство.

В дълбочина обаче, ако се анализират и разгледат всички досега посочени факти и обстоятелства, би се изяснил въпросът, а именно, че причината е трудността или дори невъзможността да се покрият изискуемите показатели при такъв вид сгради. Може да се твърди дори, че е налице акцентирание при обследване на топлотехническите параметри при жилищно строителство, обществени сгради в здравеопазването и образованието.

Поради самата същност на проблематиката на енергийната ефективност при съществуващи сгради, както по отношение на изискванията на националната нормативна база и на международните стандарти също, към нашата страна, като част от европейската общност, последните не би трябвало да се делят дори условно по степен на значимост или някакъв друг критерий, защото въпросът за енергийната ефективност е свързан с консумация на енергия и нейното възможно най-ефективно използване независимо къде и за какво, в каквото и да е вид сграда, където се използва последната.

2. Цел

Определяне на реалното топлотехническо състояние на сградната обвивка при отопляеми селскостопански животновъдни сгради [5] в птицевъдството на територията на РБ, които ползват съществуващ сграден фонд от средата на миналия век.

Целта на конкретното проучване и топлотехническо обследване е:

1. Да се определи коефициентът на топлопреминаване (U) през сградната обвивка на отопляема селскостопанска животновъдна сграда в птицевъдството по аналитичен и теоретичен начин – чрез използване на класическа формула за определянето му при многослойна плътна непрозрачна стена, в която са включени коефициентът на топлопроводност (λ) и дебелината на съответния слой (d), и коефициентът на топлопредаване (h) [1 – 6].
2. Определяне на коефициента на топлопреминаване чрез използване на “in-situ” методи, и по-точно чрез инфрачервена термография (IRT) [9, 10] и чрез термометричен метод (ТНМ).
3. Сравнение на стойностите, получени по аналитичен и опитен път – анализ и оценка на определяне на топлинните загуби и енергийната ефективност на сградата.

3. Материал и метод

3.1. Метод

3.1.1. За определяне на коефициента на топлопреминаване (U) по аналитичен начин се използва класическа формула, която е меродавна при определяне и анализ на последния при многослойна непрозрачна стена в процеса на проектиране и в процеса на изграждане на ограждащите елементи на дадена сграда, поради това, че коефициентите на топлопроводност на използваните строителни материали отговарят на нормативно и лабораторно заложените [1, 7].

$$U = R_T^{-1} \left[\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e} \right]^{-1}, \quad \text{W/m}^2\cdot\text{K}. \quad (1)$$

3.1.2. Определяне на коефициента на топлопреминаване по опитен “in-situ” метод – чрез използване на инфрачервена термография (IRT) [10]. Отчита се разлика в стойността на коефициента на топлопреминаване поради различните (2 вида) конструктивни и топлотехнически решения на покрива (който е бил ремонтиран и възстановен), въпреки еднотипното конструктивно решение на стените. При последните не е извършван ремонт, липсва топлоизолация.

Използвана е формулата, предложена от Fokaides et al. (11) – съгласно ISO 9869 – 2 Топлоизолация – Строителни елементи – на място измерване на термично съпротивление и термична пропускливост – Част 2: Инфрачервена термография за обследване на устройството на жилище или сграда (10).

$$U = \frac{\varepsilon_v \sigma (T_{s,out}^4 - T_{out}^4) + 3,805v (T_{s,out} - T_{out})}{T_{int} - T_{out}}, \quad \text{W/m}^2\cdot\text{K}, \quad (2)$$

където ε_v е спектралната емисионност на стената, σ е константа на Стефан–Болцман [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}^4$]; $T_{s,out}$ е външната температура на повърхността на стената [K], T_{out} е външната температура на въздуха [K]; v е скоростта на вятъра [m/s]; и T_{int} е вътрешната температура в помещението на въздуха [K].

Основни атмосферни изисквания за извършване на обследването са:

- повърхността на стената трябва да е суха;
- да не вали дъжд;
- скорост на вятъра, не по-висока от 8 m/s;
- обследване на подложена на непряко слънчево греене стена.

При този начин на обследване влияние оказва не само видът на топлоизолацията, но и стареенето, и ъгълът на слънчевия поток, степента на замърсеност на стената, наличието на прахови частици, грапавостта, липсата на топлоизолация или нарушаването на целостта ѝ, и др.

3.1.3. Определяне на коефициента на топлопреминаване, чрез използване на ISO 9869 – 1:2014 Топлоизолация – Строителни елементи – на място измерване на съпротивлението на топлопреминаване и коефициента на топлопреминаване – Част 1: Метод чрез измерване на топлинен поток [9]. Последният е относително по-чувствителна величина за измерване в сравнение с температурата и относителната влажност. Използва се определянето на коефициента на топлопреминаване U при този стандарт без използването на сензори за топлинен поток, а именно Bienvenido-Huertas [12, 15, 16] предлагат проучване, използващо метода на съотношението на температура въздух – повърхност, наречен още термометричен метод (ТНМ).

Този метод се характеризира с измерване на температурата на вътрешния и външния въздух и температурата на вътрешната повърхност на стената, като топлинният поток не се измерва [15, 16]. Той е сравнително опростен, но се базира на нестабилни метеорологични фактори, което би могло да доведе до неточности, според Fisso и др. [12], със значителен процент на относителна несигурност.

За квазистационарни условия вътрешният пренос на топлина може да се изрази чрез уравнението на Нютон:

$$Q = h_i (T_{int} - T_{s,int}), \quad J, \quad (3)$$

където Q е топлинният поток, h_i – вътрешният коефициент на топлопреминаване, T_{int} – температурата на вътрешния въздух, а $T_{s,int}$ е температурата на вътрешната повърхност.

В ISO 9869-1:2014 (9) се посочва, че стойността на коефициента на топлопреминаване може да бъде определена, като се използва формулата:

$$U = \frac{Q}{T_{int} - T_{out}}, \quad W/m^2.K, \quad (4)$$

където T_{out} е външната температура. Тогава

$$U = \frac{h_i (T_{int} - T_{s,int})}{T_{int} - T_{out}}, \quad W/m^2.K. \quad (5)$$

Трябва да се подчертае, че този метод винаги използва фиксирана стойност на коефициента на вътрешна конвекция, и поради това, че повърхностното съпротивление е реципрочна стойност на конвективния коефициент, то уравнението приема вида:

$$R_{s,int} = \frac{1}{h_i}, \quad m^2.K/W, \quad (6)$$

$$U = \frac{7,69(T_{int} - T_{s,int})}{T_{int} - T_{ext}}, \quad W/m^2.K. \quad (7)$$

Уравнението служи като база за определяне и изчисляване по метода на съотношението на температура въздух – повърхност. Тъй като топлинният поток не е необходима величина за измерване при този вариант, данните и процесът на настройка на място са значително опростени, което прави този метод значително по-бърз и практичен за измерване на място. Ким и др. [13, 14] потвърждават осъществимостта и точността на този метод на температурно съотношение при условието за квазистационарно състояние. В друго проучване се посочва, че средната грешка между този метод и “average” метод е около 3 – 5 %.

Условия за провеждане на теста:

- без пряка слънчева радиация;
- фасадата да бъде обърната на север;
- стени без аномалии и патология, като влага или повреда и дефекти;
- разликата в температурата вътре-вън да е поне 15 °C;
- без валежи и температура на вятъра – под 1 m/s;
- стабилни и постоянни метеорологични условия поне от 2 – 6 часа преди започване на обследването;
- най-малко 24 часа преди да започне тестът външната температура не трябва да варира повече от ± 10 °C от температурата в момента на започване на проверката;

- температурата на външния въздух не трябва да варира повече от ± 5 °C на открито, а на закрито – не повече от ± 2 °C.

4. Материал

Обект на обследването е животновъден комплекс – производствен център за бройлерно направление. Птицевъдните сгради съгласно технологичните изисквания трябва да са затворени, добре топлоизолирани, като се оборудват с принудителна вентилация и надеждна отоплителна система.

Поради необходимостта от регулиране на режима на осветление обикновено тези сгради са без прозорци. Птиците се отглеждат подово, като подът е от дълбока несменяема постеля, за която се използват хигроскопични материали – пшенична слама, дървени стърготини, сламени царевични кочани и др. За храненето на птиците се използват различни по устройство и конструкция хранилки, които се регулират по височина спрямо пода в зависимост от възрастта на птиците, а при почистване на помещението се демонтират лесно към тавана. Животновъдният комплекс се състои от седем центъра, всеки от които обхваща седем сгради. За постигане на технологичните параметри съгласно нормативните изисквания в помещението, в т.ч. температурата, която се изисква за отглеждане на бройлери, топлинната енергия се получава чрез изгаряне на кафяви въглища в печки, разположени извън сградата, топлият въздух се пренася чрез ръкави по дължината на сградата от двете страни до стените.



Фиг. 1. Център 4 – технология



Фиг. 2. Център 4 – технология

При центрове 1, 2, 3 и 6 сградната обвивка е осъществена по следния начин: стените са изградени от плътни тухли – 25 см, като отвън и отвътре има варо-циментова мазилка около 1 ÷ 1,5 см, без топлоизолация отвън и/или отвътре.

Покривното покритие е решено върху сглобяема стоманобетонна конструкция чрез вълнообразни азбестоциментови плочи, върху които е наслоен пенополиуретан с дебелина 6 см, и върху него е нанесено защитно UV покритие.



Фиг. 3. Център 4 – стени и покривно покритие



Фиг. 4. Център 2 – стени и покривно покритие

При центрове 4, 5 и 7 сградната обвивка е решена по следния начин: стените са изградени от плътни тухли, 25 cm, като отвън и отвътре са измазани с варо-циментова мазилка с дебелина около $1 \div 1,5$ cm, без топлоизолация.

Покривното покритие е върху сглобяема стоманобетонна конструкция и е решено със сандвич – панели, два слоя профилирана ламарина с пенополиуретан – 8 cm. Обект на обследването са сгради при центрове № 2 и № 4, при които има различно решение на покривното покритие. Това ще доведе до различни стойности на коефициента на топлопреминаване при обследваните стени чрез опитните методи, поради влиянието върху топлообмена на различното покривно покритие.

5. Резултати и обсъждане

Таблица 1. Аналитично определени стойности на коефициента на топлопреминаване U [$W/m^2.K$] на ограждащата обвивка на сградата – стени и покрив

Сграда	Център 2		Център 4	
	Стена	Покрив	Стена	Покрив
Вид ограждаща обвивка	Зидария обикновени тухли; вътрешна и външна вароциментова мазилка	Вълнообразни азбестоциментови плочи; Пенополиуретан – 6 cm; UV защитно покритие	Зидария обикновени тухли; вътрешна и външна вароциментова мазилка	Сандвич панели – LT ламарина за покрив; 80 mm пенополиуретан
U [$W/m^2.K$]	1,45	0,38	1,45	0,26
U [$W/m^2.K$] (нормативно зададена стойност)	0,28	0,25	0,28	0,25



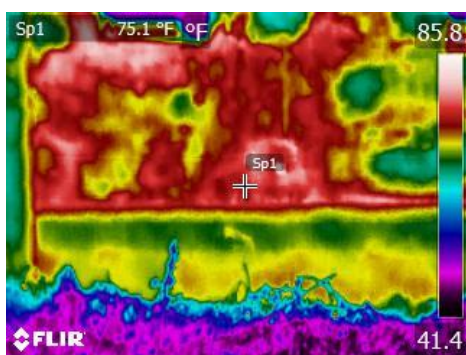
Фиг. 5. Термокамера FLIR 335



Фиг. 6. Термокамера FLIR 33



Фиг. 7. Контактен термометър



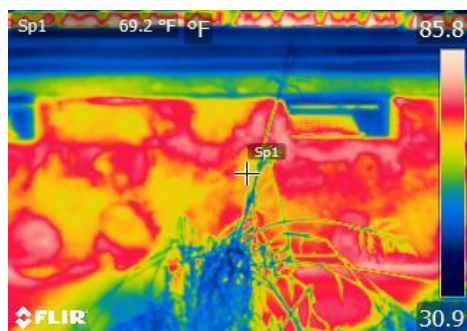
Фиг. 8.
Термално изображение IR, получено
чрез инфрачервена термография (IRT)



Фиг. 9.
Обикновена снимка на същия участък –
RGB снимка

При опитно определяне на коефициента на топлопреминаване на стените като част от сградната обвивка [10] използвана е термокамера FLIR B335.

За определяне на стойността на коефициента на топлопреминаване U чрез термометричен метод ТНМ [9] е използван контактен термометър с отчитане на стойностите на температурата на стените на вътрешния и външния въздух и на вътрешната повърхност и на външната повърхност на стените. Стойностите, получени чрез ТНМ, са валидни при зимни условия на околната среда и показват относителна разлика от $6 \div 13 \%$ от другите опитни методи. Отчетени са съответно стойности при крайно, до крайното и средно поле.



Фиг. 10.

Термално изображение IR, получено чрез инфрачервена термография (IRT)



Фиг. 11.

Обикновена снимка на същия участък – RGB снимка

Таблица 2. Опитно определени стойности на температурата с контактен термометър при стена на център 4

Център 4	Стена Опитно определени температури [°C]			
	T_{out}	$T_{s,out}$	$T_{s,int}$	T_{int}
Междуосие				
Крайно	3,9	8,2	20,4	25,6
До крайно	4,3	8,5	20,9	25,8
Средно	4,6	8,3	21,8	26,1

Таблица 3. Опитно определени стойности на температурата с контактен термометър при стена на център 2

Център 2	Стена Опитно определени температури [°C]			
	T_{out}	$T_{s,out}$	$T_{s,int}$	T_{int}
Междуосие				
Крайно	3,7	7,9	19,4	24,7
До крайно	4,2	8,2	20,2	25,4
Средно	3,9	8,1	20,8	26,2

Таблица 4. Опитно определена стойност на коефициента на топлопреминаване

Вид ограждащата обвивка	Стена Опитно определена стойност на коефициента на топлопреминаване U [W/m ² .K]					
	Център 2			Център 4		
	крайно	до крайно	средно	крайно	до крайно	средно
Междусия						
Инфрочервена термография (IRT) метод	2,03	2,03	2,03	1,95	1,95	1,95
Процентна разлика в стойностите в сравнение с аналитичния метод	40,00	40,00	40,00	34,48	34,48	34,48
Термометричен метод (ТНМ)	1,94	1,87	1,86	1,84	1,75	1,54
Процентна разлика в стойностите в сравнение с аналитичния метод	33,79	28,97	28,28	26,89	20,68	6,21

Определянето на коефициента на топлопреминаване (U) по аналитичен начин не дава представа за реалното топлотехническо състояние на сградната обвивка и следователно възможността чрез него да бъде направен анализ или реална оценка за енергийната ефективност на сграда е затруднена.

Новите опитни методи и възможности за обследване на енергийната ефективност на дадена сграда [9, 10, 18] имат ясна цел – да се намери възможно най-точната и доближаваща се до истинската стойност на параметрите, характеризиращи топлотехническа работа на външните ограждащи елементи на дадена сграда.

Предложените два метода [9, 10] са познати и използвани в практиката на европейските страни [15, 16], както и в САЩ и Канада. Тяхното приложение понастоящем не е новост, тъй като има достатъчно данни и изводи за получените резултати, за тяхната достоверност, за условията и изискванията, при които се провеждат обследванията, както и обучени специалисти в тази област.

Също така няма никаква техническа и експериментална трудност за провеждането на такива обследвания, за получаване на максимално достоверни и точни резултати, и на базата на тях да се правят изводи и да се предлагат мерки за подобряване на състоянието на съществуващия сграден фонд, за да се редуцира потреблението на енергия и да се увеличават възможностите за оптимално регулиране на целия топлообменен процес и накрая подобряване на енергийната ефективност.

Предметът, обхватът и материалът на това обследване няма претенции за пълен и цялостен топлотехнически анализ поради ред обективни обстоятелства и причини, по-скоро е израз на опит за действие и отговор на новите Европейски директиви, национална нормативна база, международни стандарти, упражнявани вече години успешни практики на технически топлотехнически обследвания, и не на последно място точно за такъв вид производствени сгради и обекти.

При все това, дори и този опит за частичен анализ на топлотехническото състояние на сградната обвивка дава добра ориентировъчна представа и насока за обследване на състоянието, общата ситуация на сградния фонд при промишлени системи от този вид от миналия век.

Така е възможно да се направи реална оценка за степента на енергийна ефективност [1 – 7] и като следствие реални съществуващи възможности за предложения на съвкупност

от мерки за постигане на възможно най-оптимални резултати за подобряване на последната. По отношение на използваните методи (9, 10), посочените резултати би следвало да се разглеждат като насочващи стойности, поради това, че не успях да изпълня изцяло изискванията на стандарта, а именно:

- подходящото време от денонощието за обследване;
- необходими атмосферни условия;
- продължителност и ритмичност на работата; и разбира се
- обучени специалисти за такъв вид топлотехническо обследване на сгради.

Възможно е всички тези условия да се спазят при друг вид сграда от производствен сектор, където няма или не са така строги и завишени санитарно-хигиенните изисквания и забрани за влизане в такава промишлена система, заради реална опасност от зараза и последваща опасност от цялостна загуба на съответната животновъдна продукция.

При термометричния метод (ТНМ) [9] са използвани стойности на температурата, които са моментни и на точно определени места, което означава, че се показват неосреднени стойности на коефициента на топлопреминаване. Възможно е да се обследва цялата стена, на повече места при всяко междуосие, за да получи осреднена стойност, също така би било подходящо да се извърши по-дълго (например в продължение на една седмица) обследване, за да се получат двойно осреднени стойности, и така да се търси възможно най-голяма точност и достоверност на получените чрез тях стойности на топлотехническите показатели.

При използване на инфрачервена термография (IRT) [10] като метод за определяне и оценка на енергийната ефективност на сградната обвивка температурните стойности, участващи във формулата за определяне на коефициента на топлопреминаване, се четат всичките от една термо снимка. Това води до намаляване на възможностите от мултиплициране на евентуална грешка при опитите.

6. Изводи

6.1. Наблюдава се значителна разлика в стойностите при аналитично определяне на коефициента на топлопреминаване (U) и при определянето му опитно “in situ” чрез два сертифицирани метода. При прилагане на термометричния метод (ТНМ) разликата в стойностите е средно 24,14 %. Чрез използване на инфрачервена термография (IRT) разликата е средно 37, 24 %.

6.2. Има разлика и между опитно определените стойности на коефициента на топлопреминаване (U) при двата разгледани и използвани метода, а именно – 13, 08 %.

6.3. При оценка и анализ на енергийната ефективност на съществуващи стари сгради, при които използваните материали за сградна обвивка са били подложени на въздействието на процесите на стареене, в резултат на което е настъпила промяна в топлотехническите показатели, не е препоръчително използването на аналитичните стойности на коефициента на топлопреминаване (U) за съпоставка с нормативно изискуемите на базата на действащите норми и наредби.

Благодарности: За представения сега труд благодаря на катедра „Строителни материали и изолации“ при Строителния факултет на УАСГ София. Специално благодаря на ръководител катедра – доц. Р. Захариева за цялостното ръководство и вдъхновение, което успя да ми предаде. Благодаря на зам.-декана на Строителния факултет – проф. Ж. Манчева за моралната подкрепа и насърчение през цялото време. Благодаря най-вече на

двата научни ръководители – проф. Пл. Чобанов и доц. Ив. Дойков, които проявиха търпение, последователност и мъдрост, за да може трудът и усилията ми да получат реален израз. Благодаря на всички искрено и от сърце!

ЛИТЕРАТУРА

1. Naredba № 7 от 2004 г. за енергийна ефективност на сгради (zagl. izm. – DV, br. 85 от 2009 г., izm. – DV, br. 27 от 2015 г., v sila ot 15.07.2015 г.) Izdadena ot ministara na regionalното развитие i blagoustroystvoto Obn. DV. br. 5 ot 14 Januari 2005g., izm. DV. br. 85 ot 27 Oktomvri 2009 g., popr. DV. br. 92 ot 20 Noemvri 2009 g., izm. DV. br. 2 ot 8 Januari 2010 g., izm. i dop. DV. br. 80 ot 13 Septemvri 2013 g., dop. DV. br. 93 ot 25 Oktomvri 2013 g., izm. i dop. DV. br. 27 ot 14 April 2015 g., popr. DV. br. 31 ot 28 April 2015 g., dop. DV. br. 35 ot 15 Mai 2015 g., izm. i dop. DV. br. 90 ot 20 Noemvri 2015 g., izm. i dop. DV. br. 93 ot 21 Noemvri 2017 g.
2. Zakon za energiyната ефективност Obn., DV, br. 35 ot 15.05.2015 г., v sila ot 15.05.2015 г., izm. i dop., br. 105 ot 30.12.2016 г., dop., br. 103 ot 28.12.2017 г., v sila ot 1.01.2018 г., izm., br. 27 ot 27.03.2018 г., izm. i dop., br. 38 ot 8.05.2018 г., v sila ot 8.05.2018 г., izm., br. 83 ot 9.10.2018 г., br. 21 ot 13.03.2020 г., v sila ot 13.03.2020 г., izm. i dop., br. 21 ot 12.03.2021 г., v sila ot 12.03.2021 г.
3. NAREDBA № 16-1594 ot 13.11.2013 г. за obsledvane za energiyна ефективност, sertifikirane i ostenka na energiyните spestiavania na sgradi.
4. Naredba № RD-16-1058 ot 10 Dekemvri 2009 г. за pokazatelite za razhod na energia i energiyните характеристики na sgradite v sila ot 29.12.2009 г.
5. Naredba № RD-16-346 ot 2 April 2009 г. за pokazatelite za razhod na energia, energiyните характеристики na promishleni sistemi, usloviata i reda za izvarshvane na obsledvane za energiyна ефективност na promishleni sistemi v sila ot 14.04.2009 г., Izdadena ot Ministerstvoto na ikonomikata i energetikata, Obn. DV. br. 28 ot 14 April 2009 г.
6. Naredba № E-RD-04-1 ot 22.01.2016 г. за obsledvane za energiyна ефективност, sertifikirane i otsenka na energiyните spestiavania na sgradi izdadena ot ministryra na energetikata I ministryra na regionalното развитие i blagoustroystvoto, Obn., DV, br. 10 ot 5.02.2016 г., v sila ot 7.03.2016 г.
7. *Chobanov, Pl.* 2017, *Energiyna effektivnost v stroitelstvoto.* UASG gp. Sofia.
8. *Milkov, ST., Haiverova, R., Chobanov, Pl.* Toplotehnicheski problem i toplotehnicheska otsenka na sgradite s otchitane na realното sostoianie na ograjdashtite konstruksii. Konferentsiia i izlojba “Energiyna effektivnost v stoitelstvoto”, Sofia, 2004.
9. ISO 9869-1:2014, Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 1: Heat flow meter method. International Standard Organization, 2014.
10. ISO 9869-2: 2018, Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 2: Infrared method for frame structure dwelling.
11. *Fokaidis, P. A., Kalogirou, S. A.* Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. Applied Energy, vol. 88, pp. 4358-4365, 2011.
12. *Bienvenido-Huertas, D., Rodríguez-Álvaro, R., Moyano, J. J., Rico, F., Marín, D.* Determining the U-Value of fa ades using the thermometric method: Potentials and limitations. Energies 2018, 11, 360.
13. *Kim, S. H., Kim, J. H., Jeong, H. G., Song, K. D.* Reliability field test of the air-surface temperature ratio method for in situ measurement of U-values. Energies 2018, 11, 803.

14. Kim, S. H., Lee, J. H., Kim, J. H., Yoo, S. H., Jeong, H. G. The feasibility of improving the accuracy of in situ measurements in the air-surface temperature ratio method. *Energies* 2018, 11, 1885.

15. Regional Government of Andalusia. Catalog of Services Offered by Quality Control Laboratories of the Regional Government of Andalusia – January 2017; Regional Government of Andalusia: Sevilla, Spain, 2017.

16. The Government of Spain. 5th Registry, Entities and Quality Control Laboratories of Building; Ther Government of Spain: Madrid, Spain, 2017.

17. Ficco, G., Iannetta, F., Ianniello, E., D'Ambrosio Alfano, F. R., Dell'Isola, M. U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. *Energy Build.* 2015, 104, 108-121.

18. Chobanov, Pl. i dr. Izpolzване na multispektralni i termalni izobrajenja pri analiz i otsenka na energyina efektivnost na sgradi i saorajenia po Dogovor № BN-249/21 kam CNIP UASG.

DETERMINATION OF THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT (U-VALUE) BY ANALYTICAL METHOD AND EXPERIMENTALLY USING INFRARED THERMOGRAPHY (IRT) AND THERMOMETRIC METHOD (THM)

K. Koleva¹

***Keywords:** thermodynamics, heat flow, building envelope, thermal insulation, infrared thermography (IRT), thermal imaging*

ABSTRACT

Livestock poultry breeding technology requires controlled microclimate with fixed temperature. In this production industry the used buildings are old, from the middle of the last century, and in most of them inadequate, compromised, old thermal insulation or no insulation at all have been observed.

The aim of this investigation is to determine the value of the heat transfer coefficient (*U*-value) using the classical analytical method and the new “in-situ” methods – exactly the infrared thermography (IRT) and thermometric method (THM).

The difference between the analytical and experimentally determined heat transfer coefficient in old buildings is between 15 – 20 %, which is significantly important when assessing the energy efficiency of the edifice.

¹ Katerina Koleva, Eng. PhD student, Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: katerinakolev@gmail.com

