FRI-9.2-1-THPE-04

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS THROUGH THE USE OF A HIGHLY EFFICIENT, HUMIDITY SENSITIVE VENTILATION SYSTEM

Eng. Mihael Deliyski, M.Sc.
Department of Electrical Apparats,
"Technical university" of Sofia
Phone: +359 888 72 96 63
E-mail: deliyski@eefect.com

Assoc. Prof. Evelina Veleva, PhD
Department of Applied Mathematics and Statistics,
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Phone:
E-mail: eveleva@uni-ruse.bg

Eng. Vladimir Tsankov, M.Sc.
Department of Electronics,
"Technical university" of Sofia
Phone: +359 878 90 11 22
E-mail: vladimir@eefect.com

Eng. Hristo Deliyski, M.Sc.
Department of Electrotechnics,
"Technical university" of Sofia
Phone: +359 878 30 11 22
E-mail: hristo@hdgair.com

Abstract: *Improving energy efficiency of buildings by using a highly efficient airflow-controlled humidity sensitive ventilation system: The airflow-controlled humidity sensitive ventilation is an efficient technological solution to ensure the normative requirements for fresh air in buildings. This innovation serves in the best way energy saving and the indoor air quality. The air quality is recognised as a determining component of wellness in dwellings and offices, because the limitation of energy consumption has become today a major concern in the building sector. The use of the system ensures a significant reduction of the required ventilation energy*

Keywords: *airflow and demand controlled humidity sensitive ventilation, energy efficiency in buildings, humidity-controlled air terminal, indoor air quality, sick building syndrome.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Качеството на въздуха в помещенията, в които живеем и работим, е една от основните екологични грижи за Европа. В тях ние прекарваме близо 60-90% от живота си. Едновременно с това, се поставят все по-високи цели към ефикасното използване на енергиите за отопление, вентилация и климатизация. Сградите в Европа са отговорни за почти една трета от потреблението на енергия и CO_2 емисии. Главна цел в политиката на Общността е да се постигнат нива на качеството на въздуха, които не водят до неприемливи рискове за човешкото здраве [Health & Consumer Protection Directorate-General (2007)]. За целта, минималните изисквания за вентилация в сградите са включени в строителните регулации на европейско ниво и в съответстващите нормативни документи на страните членки [Buildings Performance Institute Europe (2015)]. В една част от стандартите, минималните нива за обитаемите помещения варират от 25 m^3/h до 75 m^3/h. В друга част, те

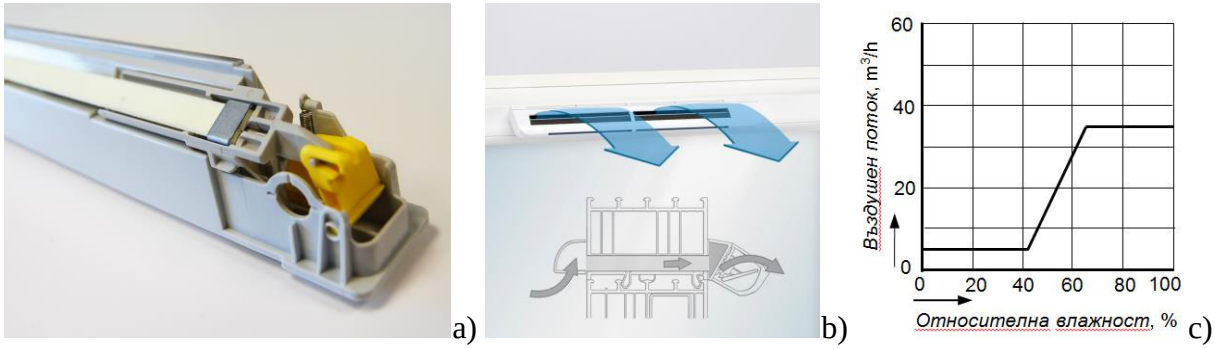
са отнесени към минимални изисквания за осигуреност със свеж въздух на отделен обитател или на обитаема площ.

В българското законодателство [Naredba №7 (2004), Naredba №15 (2005)], при липса на други специфични изисквания към обектите, е нормирана кратност на неорганизирания въздухообмен на вътрешния с външния въздух не по-голяма от 0.5 h^{-1}. За постигането му се разчита основно на редовно проветрение, което обаче е субективно обусловено от навиците на обитателите и от епизодичността на обитаване на помещенията. Дори и при редовно контролирано проветрение, не е възможно спазването на една постоянна регулярност и ритмичност в денонощен аспект. Това води след себе си до рязко влошаване в качеството на вдишвания въздух. Като следствие, освен повишена замърсеност от ежедневните дейности, се отчита и постепенно насищане с водни пари. Относителната влажност в помещенията се повишава и човек поема в дробовете си силно замърсен и нездравословен въздух [Savin, Jean-Luc, M. Jardinier. (2009)].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Прилагане на енергоефективни влагочувствителни вентилационни системи

Цел на настоящата работа е да оцени качествено прилагането на едно от най-прогресивните технологични решения за хибридна вентилация върху енергийната ефективност в сградите. Този тип вентилация се основава на система за автоматично управление на въздушния поток (АУВП) с обратна връзка по влага (влагочувствителна вентилация), работеща съвместно със съществуваща смукателна санитарна вентилационна система. Използвани са експериментални данни от използването на най-масовите прозоречни влагочувствителни клапи от типа AERECO, осигуряващи 5 – 35 m^3/h (фиг.1) в обект от образователната инфраструктура в гр. София [Deliyski, M., Dinev, P., Velev, K. (2012), Deliyski, M., Tsankov, Vl., Veleva, Ev., Deliyski, Hr. (2013)] и три обекта в Община Септември.



Фиг. 1. Прозоречна влагочувствителна клапа: a - поглед откъм сензора-изпълнителен механизъм; b - движение на въздушния поток през отворената клапа; c - външна (изпълнителна) характеристика "въздушен поток - относителна влажност", [Savin, Jean-Luc, M. Jardinier. (2009)].

Настоящата разработка няма за цел да даде точни количествени стойности за конкретните обекти. На основата на проведените наблюдения, се предоставя методика за определяне на количествата спестена енергия за вентилация.

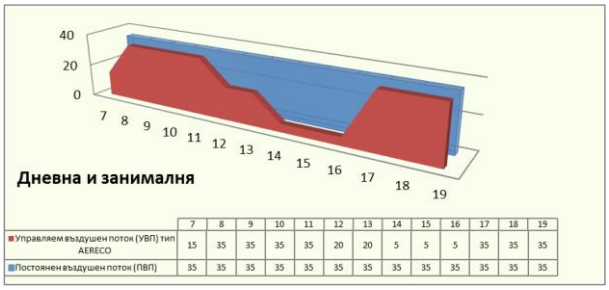
Нормативната минимална кратност на въздухообмена, съгласно здравните изисквания към факторите на средата за този тип сгради, е определена на 1 ½ h^{-1} Температурата на въздуха в помещенията трябва да е между 18-21°C, с денонощни колебания до 4°C [Naredba №3 (2007)]. За осигуряване на минималната кратност и еднопосочен въздушен поток – от прозорци към санитарни възли, е предвидена постоянната работа на смукателни вентилатори в санитарните възли. Обектите работят от 7.00 до 19.00 часа. Активното време на работа на санитарната вентилация съвпада с времето на пребиваване в детските градини – 12 часа.

Приет е консервативен вариант на работа – само в работното време, а не за цялото денонощие. В масовата практика, в нощен режим, отоплителните или охладителните системи се изключват напълно или преминават в енергоспестяващ режим. В общия случай, използваните вентилатори са от масов тип и не притежават никакво управление. Те работят с постоянен максимален въздушен поток (ПВП). В този случай, не се отчита нито присъствието на хора в обема на сградата, нито разликите във физическото им натоварване през деня. Динамиката на тези процеси в разглежданите обекти – детски градини, е от изключително значение.

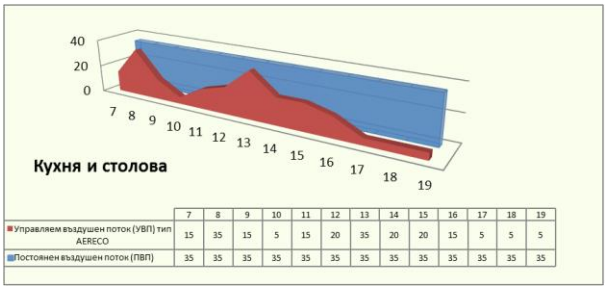
Трябва да се отбележи, че при оценката на ефекта от действието на влагочуствителната вентилация следва да се разглеждат единствено обитаемите зони от нетния обем в сградите. Към складовите и техническите помещения има други изисквания и те не подлежат на същия режим на вентилиране. Монтираните клапи осигуряват в напълно отворено състояние, при капацитет от 35 m^3/h, нормативната кратност на въздухообмен от 1 ½ h^{-1}. Едновременно с внедряването на влагочувствителните клапи, се въвеждат и двускоростни смукателни вентилатори с управление по ниво на относителната влажност и ниска консумация в мокрите и санитарните помещения. Това позволява да се постигне сравнително добро управление на инфилтрационния поток, в зависимост от конкретните нужди. За покриване на нормативните изисквания и постигане на добра организация на въздухообмена, се прилагат и съответен брой вентилационни клапи и съгласувани по въздушен дебит смукателни вентилатори.

Високата степен на енергийна ефективност на системата се основава на осигуряването на свеж въздух, спрямо нуждите на обитателите. При повишаване на влагата в помещенията, вследствие на ежедневната дейност, се осигурява нормативното количество въздух. При отсъствието на дейност, при която се отделя влага и съответно задействаща изпълнителния механизъм на вентилационните клапи, те се притварят автоматично и осигуряват минимално количество – 5 m^3/h въздух, необходим за компенсиране на остатъчните замърсявания в сградите.

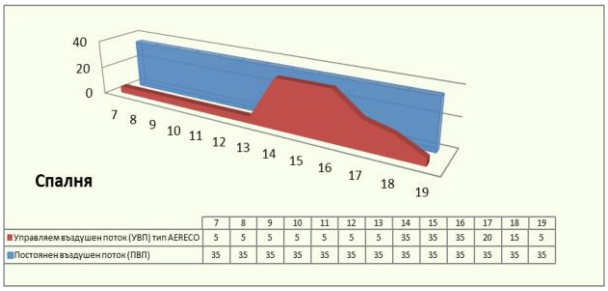
Разгледани са три типични помещения в детските градини – дневна и занималня, кухня и столова и спално помещение. Действието на вентилационната система е оценено на база реални измервания.



	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Управляем въздушен поток (УВП) тип AERECO	15	35	35	35	35	20	20	5	5	5	35	35	35
Постоянен въздушен поток (ПВП)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35



	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Управляем въздушен поток (УВП) тип AERECO	15	35	15	5	15	20	35	20	20	15	5	5	5
Постоянен въздушен поток (ПВП)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35



	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Управляем въздушен поток (УВП) тип AERECO	5	5	5	5	5	5	5	35	35	35	20	15	5
Постоянен въздушен поток (ПВП)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

Фиг. 2. Диаграма „Дебит-Време“ при стандартни режими на натоварване

На графиките ясно се вижда начина на действие на използваната влагочувствителна вентилационна система при стандартните характерни режими на натоварване на помещенията. При условие, че местната смукателна вентилация, която е неуправляема, работи без прекъсване с постоянен дебит, то действието на влагочувствителната

вентилационната система тип AERECO се определя пропорционално на нуждите на обитателите в помещенията. През часовете, когато отсъстват дейности, които изменят влажностния режим в сградите, системата практически осигурява минимално количество свеж въздух - 5 m^3/h. С нарастването на интензитета на дейностите в помещенията се засилва и действието на вентилационната система. Клапите се отварят постепенно до максимална степен.

В обедните часове, когато децата се преместват в столовата, клапите в дневната се притварят и съхраняват енергията за отопление.

В спалните има засилена дейност единствено в следобедните часове, когато децата спят и след тяхното ставане до пълното почистване на помещението.

АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Сравнението между двата типа вентилационни системи – с постоянен въздушен поток (ПВП) и със система за автоматично управление на въздушния поток (АУВП) може да бъде извършено въз основа на различието в обемите на постъпващия свеж въздух. За системите с ПВП, за една входяща клапа, количеството на постъпилият въздух в рамките на 12 часовия диапазон 700 – 1900 часа е еднакво. То е равно на 12 x 35 = 420 m^3 (лицата на оцветените в синьо площи на фиг. 2). При системите с АУВП тип AERECO дебитът на постъпилият въздух, регулиран от клапите, е променлив. Общото количество на внесения отвън въздух за периода 700 – 1900 часа се изчислява като определен интеграл от кривата на дебита за разглеждания часови пояс (лицата на оцветените в червено площи на фиг. 2). Данните от експериментите, снети за всеки кръгъл час, позволяват прилагането на някой от методите на числено интегриране. Най-подходящ е „ Метод на трапеците “, който с достатъчна точност предоставя улеснен изчислителен механизъм [Karakoleva St., E. Veleva. (2004)]. Той използва локална линейна интерполация, като разглежданият интервал се разделя на подинтервали с постоянна стъпка. В конкретния случай тази стъпка е равна на 1 и формулата придобива вида:

$$I = y_2 + \mathrm{L} + y_{n-1} + (y_1 + y_n)/2 , \qquad (1)$$

където

- y_1 е стойността на първото измерване на дебита в 700 часа;
- $y_n = y_{13}$ е стойността на последното измерване на дебита в 1900 часа.

Дневна и занималня														
Интервал на измерване		**y_1**	**y_2**	**y_3**	**y_4**	**y_5**	**y_6**	**y_7**	**y_8**	**y_9**	**y_{10}**	**y_{11}**	**y_{12}**	**y_{13}**
Часове в денонощието	**h**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Постоянен въздушен поток (ПВП)	**m^3/h**	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Управляем въздушен поток (УВП) тип AERECO	**m^3/h**	15	35	35	35	35	20	20	5	5	5	35	35	35
Намаление	**m^3/h**	20					15	15	30	30	30			
	%	57%					43%	43%	86%	86%	86%			

Съгласно (1), за помещението „Дневна и занималня“, интегрираното количество на постъпилия свеж въздух е:

$$I_1 = 35+35+35+35+20+20+5+5+5+35+35+(15+35)/2=290 \ m^3$$

Намалението, спрямо системата с постоянен въздушен поток, е 420 - 290 = 130 m^3, което е 31.0%.

Кухня и столова														
Интервал на измерване		**y_1**	**y_2**	**y_3**	**y_4**	**y_5**	**y_6**	**y_7**	**y_8**	**y_9**	**y_{10}**	**y_{11}**	**y_{12}**	**y_{13}**
Часове в денонощието	**h**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Постоянен въздушен поток (ПВП)	**m^3/h**	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Управляем въздушен поток (УВП) тип AERECO	**m^3/h**	15	35	15	5	15	20	35	20	20	15	5	5	5
Намаление	**m^3/h**	20		20	30	20	15		15	15	20	30	30	30
	%	57%		57%	86%	57%	43%		43%	43%	57%	86%	86%	86%

Аналогично, за „ Кухня и столова “, интегрираното количество на постъпилия свеж въздух е I_2 = 200 m^3. Намалението е с 420 - 200 = 220 m^3 или с 52.4%.

Спалня														
Интервал на измерване		**$У_1$**	**$У_2$**	**$У_3$**	**$У_4$**	**$У_5$**	**$У_6$**	**$У_7$**	**$У_8$**	**$У_9$**	**$У_{10}$**	**$У_{11}$**	**$У_{12}$**	**$У_{13}$**
Часове в денонощието	**h**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Постоянен въздушен поток (ПВП)	**m^3/h**	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Управляем въздушен поток (УВП) тип AERECO	**m^3/h**	5	5	5	5	5	5	5	35	35	35	20	15	5
Намаление	**m^3/h**	30	30	30	30	30	30	30				15	20	30
	%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%				43%	57%	86%

По същия начин определяме и за „ Спалня “, където интегрираното количество на постъпилия свеж въздух е I_3 =175 m^3. Намалението е в размер на 420 - 175 = 245 m^3 или с 58.3%.

Общото количество свеж въздух за трите помещения е намалено с 1260 - 665 = 595 m^3 или с 47.2%. Това количество е право пропорционално на необходимата за подгряване енергия за осигуряване на нормативна температура в обитаваните помещения.

ИЗВОДИ

Оценен е ефекта от прилагане на хибридна вентилационна система, основана на технология за влагочувствително регулиране, спрямо нуждите на помещението, върху енергийната ефективност на сградата. Постигнато е значително намаляване на нивото на необходимия за обитателите свеж външен въздух в рамките на 47.2%, без това да оказва влияние върху качеството на микроклимата.

Предложената методика за оценка е изключително опростена и позволява приложението и в широк кръг обекти – жилищни и офисни сгради, сгради в сферата на здравеопазването, услугите и др. За нуждите на „преносимостта“ и, е необходимо да бъдат разработени стандартни графици на натоварване (СГН) за всеки тип обекти. Чрез тях лесно може да бъде оценено конкретното количествено намаление в необходимата енергия за вентилация за всеки обект.

Приложената технология на вентилация с влагочувствителни въздушни клапи е много адаптивна и гъвкава. Тя може да бъде използвана и се използва с успех не само при системите с естествена вентилация, но и при останалите вентилационни системи - механични с принудителна вентилация и хибридни вентилационни системи. Хибридната естествена вентилация обаче остава икономически най-изгодното технологично решение, особено когато постъпващия въздух не се филтрира или не се търси избирателно различно локално решение (например, при мокрите помещения).

Управлението на разхода на пресен въздух, в зависимост от локалното равнище на относителната влажност, се явява и ефективно технологично решение на проблемите, които поставя синдрома на "болната" сграда [Daisey, J, Angell, W., Apte, M. (2003)]. Управляваната по относителна влажност вентилационна система с влагочувствителни въздушни клапи на входа (сухи помещения - спални, ежедневни) и на изхода (влажни помещения - бани, умивални, WC) остава най-ефективното и икономически изгодно технологично решение, което осигурява необходимата енергийна ефективност и качеството на въздуха в затворените помещения.

REFERENCES

European commission, Health & Consumer Protection Directorate-General (2007). *“Opinion on risk assessment on indoor air quality”*

Buildings Performance Institute Europe (2015). Indoor air quality, thermal comfort and daylight. Analysis of residential building regulations in eight EU member states

Naredba №7 ot 15 dekemvri 2004 g. za energiyna efektivnost na sgradi, izm. i dop., br. 90 ot 2015 g. (***Оригинално заглавие:*** *Наредба №7 от 15 декември 2004 г. за енергийна ефективност на сгради, изм. и доп., бр. 90 от 2015 г.*)

Naredba №15 ot 2005 g. za tehnicheski pravila i normativi za proektirane, izgrazhdane i eksploatatsiya na obektite i saorazheniyata za proizvodstvo, prenos i razpredelenie na toplinna energiya, izm. i dop., br. 6 ot 2016 g. (***Оригинално заглавие:*** *Наредба №15 от 2005 г. за технически правила и нормативи за проектиране, изграждане и експлоатация на обектите и съоръженията за производство, пренос и разпределение на топлинна енергия, изм. и доп., бр. 6 от 2016 г.*)

Savin, Jean-Luc, M. Jardinier. (2009). Humidity Controlled Exhaust Ventilation in Moderate Climate. Ventilation Information Centre, 31,.

Deliyski, M., Dinev, P., Velev, K.(2012). Tehnologiya na vlagochustvitelnite ventilatsionni sistemi za osiguryavane na vatreshniya klimat i energiyna efektivnost na sgradite, Nauchni trudove na Rusenskiya universitet, t.51, s.1.2. (***Оригинално заглавие:*** *Делийски, М., Динев, П., Велев, К.(2012). Технология на влагочуствителните вентилационни системи за осигуряване на вътрешния климат и енергийна ефективност на сградите, Научни трудове на Русенския университет, т.51, с.1.2.*)

Deliyski, M., Tsankov, Vl., Veleva, Ev., Deliyski, Hr. (2013). Otsenka na efekta ot prilagane na hibridna ventilatsionna sistema, osnovana na tehnologiya za vlagochustvitelno regulirane, spryamo nuzhdite na pomeshtenieto varhu vatreshniya klimat i energiyna efektivnost na sgradite, Nauchni trudove na Rusenskiya universitet, t.52, s.1.2. (***Оригинално заглавие:*** *Делийски, М., Цанков, Вл., Велева, Ев., Делийски, Хр. (2013). Оценка на ефекта от прилагане на хибридна вентилационна система, основана на технология за влагочуствително регулиране, спрямо нуждите на помещението върху вътрешния климат и енергийна ефективност на сградите, Научни трудове на Русенския университет, т.52, с.1.2.*)

Karakoleva St., E. Veleva. (2004). Vissha matematika 3. Praktikum po Chisleni metodi s MATLAB. Rusenski universitet “Angel Kanchev”, Ruse, , ISBN: 954-712-245-2. (***Оригинално заглавие:*** *Караколева Ст., Е. Велева. Висша математика 3 (2004). Практикум по Числени методи с MATLAB. Русенски университет “Ангел Кънчев”, Русе, , ISBN: 954-712-245-2.*)

Naredba №3 ot 5 fevruari 2007 g. za zdravnite iziskvaniya kam detskite gradini /MZ/, izm. i dop., br. 64 ot 2012 g. (***Оригинално заглавие:*** *Наредба №3 от 5 февруари 2007 г. за здравните изисквания към детските градини /МЗ/, изм. и доп., бр. 64 от 2012 г.*)

Daisey, J, Angell, W., Apte, M. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information, Berkeley Lab, University of California