

ANALYSIS OF SIZING METHODS FOR AIR DUCT NETWORKS¹⁵

Prof. Gencho Popov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 580

E-mail: gspopov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Kliment Klimentov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 581

E-mail: kklimentov@uni-ruse.bg

Senior Assistant Boris Kostov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 580

E-mail: bkostov@uni-ruse.bg

Engineer Nedelcho Kovachev, PhD Student

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 581

E-mail: nvkovachev@uni-ruse.bg

Abstract: Fan systems are very common in all areas of energy, economy and household. A major part of these systems are air duct networks. The correct hydraulic dimensioning of these networks is very important from an energy efficiency point of view. In this work, a comparative analysis of several known methods for sizing complex air duct networks is carried out. The results are based on an analytical study of a real existing fan system.

Keywords: fan system curve, air duct.

ВЪВЕДЕНИЕ

Въздухопроводите служат за транспортиране на изсмукания, подавания, рециркулационния и изхвърляния въздух от вентилираните помещения, машини и съоръжения. Те се изработват с кръгло, правоъгълно, плоскоовално или овално напречно сечение. Формата и сечението се избира по конструктивни съображения. Във въздухопроводната мрежа според предназначението на инсталацията, условията на експлоатация и специфичните технологични изисквания се включват прави и фасонни въздухопроводи, елементи за свързване и монтаж, устройства за регулиране на дебита на въздуха, за засмукване и изхвърляне на въздух в атмосферата, за предотвратяване на разпространението на пожар, за ограничаването на шум. В правите участъци за правилно се приема съотношението на страните при правоъгълните въздухопроводи да бъде до 1:4 и по изключение се допуска 1:8. Фасонните части трябва да се конструират така, че да създават минимални съпротивления напреминаващия въздух.

По отношение на скоростта, въздухопроводните мрежи биват нискоскоростни и високоскоростни. Нискоскоростните са предназначени за жилищните, обществените и

¹⁵ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Топлотехника, хидравлика и пневматика“ на 27 октомври 2023 г. с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ВЪЗДУХОВОДНИ МРЕЖИ

промишлени сгради. Скоростта на въздуха в участците не трябва да надвишава 12 m/s. Високоскоростните инсталации се използват за обслужване на голям брой помещения. Характерното при тях е, че обемът на въздухопроводите е намален за сметка на повишаване загубите на налягане. Максималната скорост в главните въздухопроводи е между 15 m/s и 30 m/s и се определя от обемния дебит.

При инсталациите за пневмотранспорт или при смукателни вентилационни инсталации от съоръжения, при които се отделят твърди частици, скоростта трябва да се избере такава, че да се избегне натрупването им по стените на въздухопроводите.

След като бъде определен видът на инсталацията трябва да се извърши хидравличното оразмеряване, което включва изчисляване на размерите на напречните сечения на правите участъци, фасонните въздухопроводи и общите загуби на налягане за реализиране на зададения дебит.

Методите, които се използват за оразмеряване на въздухопроводни мрежи са:

- метод на еднаквите загуби от триене;
- метод на намаляване на скоростта;
- метод на постоянната скорост;
- метод на възстановяване на статичното налягане.

Методът на еднаквите загуби от триене е най-подходящ за оразмеряване на нискоскоростните инсталации. При него основният принцип е да се запази еднаквост на загубите на налягане по цялата дължина на мрежата.

При метода на намаляване на скоростта се избира скоростта на въздуха в участъка, който се свързва към вентилатора. След това във всеки следващ участък се назначава по-ниска скорост. По скоростта и дебита се определя диаметъра на участъците. Пресмятат се общите загуби на налягане и се търси изравняване на загубите на налягане за разклоненията.

За оразмеряването на системите, които се използват за транспортиране на твърди примеси и пневмотранспорт се използва методът на постоянната скорост. От справочници се избират скоростите според вида и концентрацията на материала. Чрез използване на допълнителни местни съпротивления се изравняват наляганията в различните разклонения.

Метода на възстановяване на статично налягане се прилага при високоскоростните инсталации. При него трябва да се постигне почти еднакво статично налягане във всяко разклонение. Диаметрите на първите участъци се определят според обемния дебит и избраната скорост на въздуха. В следващите участъци трябва да се постигне приблизително равенство между загубите и възстановеното статично налягане.

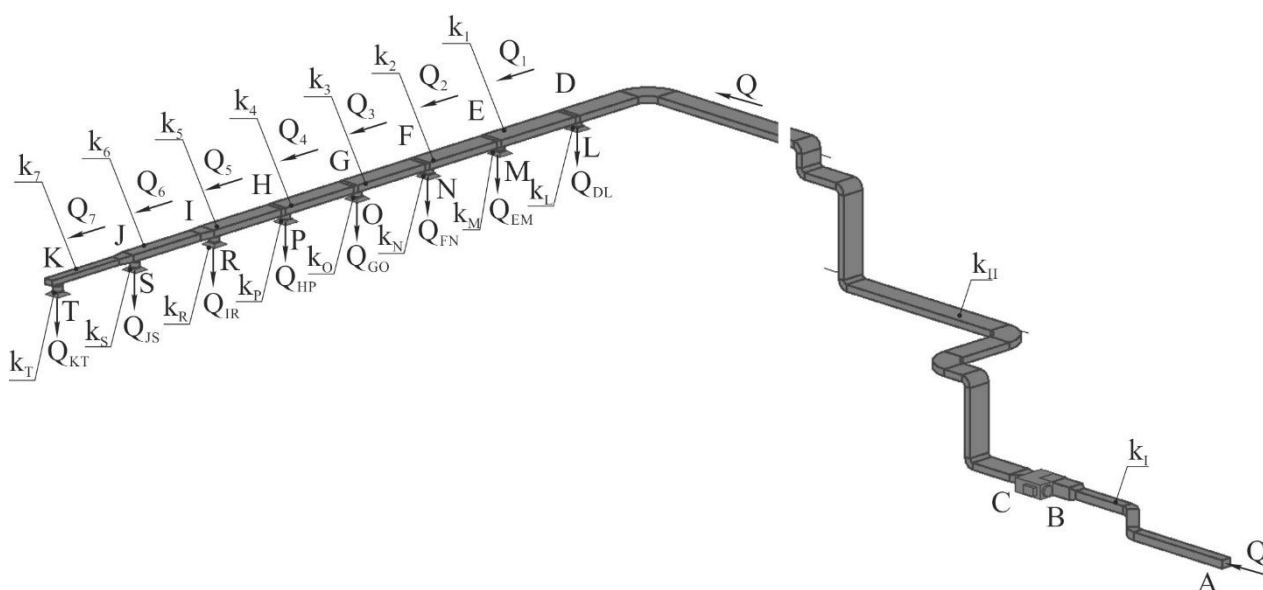
ИЗЛОЖЕНИЕ

Обекти и методика на изследването

Обект на изследване в настоящата работа е нагнетателна вентилационна система, която осигурява част от вентилацията на съществуваща спортна зала. Схема на вентилационната система е показана на фигура 1.

Пресният въздух постъпва в климатичната камера ВС по въздухопровода АВ. След камерата въздухът се пренася през участък CD, след който следват последователно съединените участъци DE, EF, FG, GH, HI, IJ и JK. В точки D, E, F, G, H, I, J и K са присъединени крайните участъци DL, EM, FN, GO, HP, IR, JS и KT, които завършват с дифузори. Въздухът постъпва с дебит Q в точка D и напуска системата през осемте крайни участъци с дебита Q_{DL} , Q_{EM} , Q_{FN} , Q_{GO} , Q_{HP} , Q_{IR} , Q_{JS} и Q_{KT} . Участъци АВ, CD, DE, EF, FG, GH, HI, IJ и JK са с правоъгълни напречни сечения. Напречните размери на участъците от DE към JK намаляват и са съединени посредством конфузори. Всички крайни участъци (DL..KT) са с еднакви кръгли сечения и дължини. В крайните участъци са монтирани дроселни клапи за регулиране на дебита през тях.

Общият дебит в системата е $Q = 4200 \text{ m}^3 / \text{h}$. Дебитите през изходите от L до T е един и същ и равен на $Q_{DL} = 550 \text{ m}^3 / \text{h}$.



Фиг. 1. Схема на изследваната вентилационна система

Дължините на участъците са дадени в табл. 1.

Таблица 1. Размери на участъците на системата.

Участък	CD	DE	EF	FG	GH	HI	IJ	JK
Дължина, m	56,3	3,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2

Целта на настоящата работа е да се направи сравнителен анализ на два от методите за хидравлично оразмеряване на разгледаната въздухопроводна система.

Оразмеряване на въздухопроводите по метода на еднаквите загуби от триене.

Избира се, от справочника на Stamov, S. (1993), скоростта в първия участък CD $v_{CD} = 4,9 \text{ m/s}$. От справочника на Stamov, S. (1993), при известен дебит $Q_{cd} = 4200 \text{ m}^3/\text{h}$ и избраната скорост се отчитат необходимият диаметър d на участъка и специфичните загуби $R_{cd} = 0,55$. При работа с правоъгълни въздуховоди въз основа на d се определят размерите на страните a и b като се използва таблицата 5.5 стр.145 - Stamov, S. (1993).

След като сме определили R за първия участък по формулата се определя и за останалите участъци:

$$R_i = \psi \rho_i (v_{i-1}^2 - v_i^2) / 2l_i, [\text{Pa/m}], \quad (1)$$

където ψ е коефициентът на възстановяване и в нашия случай е равен на 0,75, ρ - плътността на въздуха, v - скоростта на въздуха и l е дължината на участъка.

Диаметърът за всеки следващ участък се определя от фигура 5.8 от справочника на Stamov, S. (1993) за R и необходимия дебит Q .

След като се определят напречните сечения на въздухопровода за всеки един от участъците се пресмята общата загуба на налягане на клона с най-голяма дължина като се използва формула 2. Общата загуба на налягане се използва за избора на вентилатор. Резултатите са описани в таблица 2.

$$\Delta p_{VM_i} = \zeta_i \cdot \rho \cdot \frac{v_i^2}{2} \quad (2)$$

Таблица 2. Резултати по метода на еднаквите загуби от триене

Участък	Дебит m ³ /s	R Pa/m	V m/s	ζ	Δp _{vm} Pa	l m	a m	b m
C-D	1,16667	0,55	4,9	3,6	51,86	56,3	0,35	0,75
D-E	1,02083	0,458	4,627	9,07	116,5	3,5	0,35	0,7
E-F	0,875	0,438	4,2	9,07	96,02	3,2	0,35	0,65
F-G	0,72817	0,382	3,773	8,322	71,111	3,2	0,35	0,6
G-H	0,58333	0,3513	3,51	7,52	55,61	3,2	0,3	0,6
H-I	0,4375	0,339	3,158	6,74	40,34	3,2	0,275	0,55
I-J	0,29167	0,3128	2,865	6,01	29,62	3,2	0,225	0,5
J-K	0,11458	0,3329	2,455	5,68	20,55	3,2	0,15	0,45

За определяне режима на работа на системата е необходимо да се познава характеристиката на вентилатора, който създава необходимия дебит, както е показано в Bruk, A. et al. (1975) и Cory, W. (2005). От каталожни данни на публикувани в <https://www.comefri.com> е избран центробежен вентилатор NTHZ 355 от каталог с честота на въртене $n=1500\text{min}^{-1}$. Харктеристиката на вентолатора е показана на фигури 2 и 3.

Оразмеряване на въздухопроводите по метода на намаляване на скоростта.

Както и при предходния метод се избира скорост на въздуха в първия участък от таблица 5.18 (S. Stamov, 1993). За всеки следващ участък се назначава по-ниска скорост и по тази скорост се определя диаметъра на участъка или размерите на еквивалентния правоъгълен тръбопровод. При известни дължини и видове местни съпротивления се пресмятат общите загуби на налягане. Стойностите на коефициентите на местни съпротивления са взимствани от справочника на Idel'chik, I. (1960). Всички резултати са записани в табл. 3.

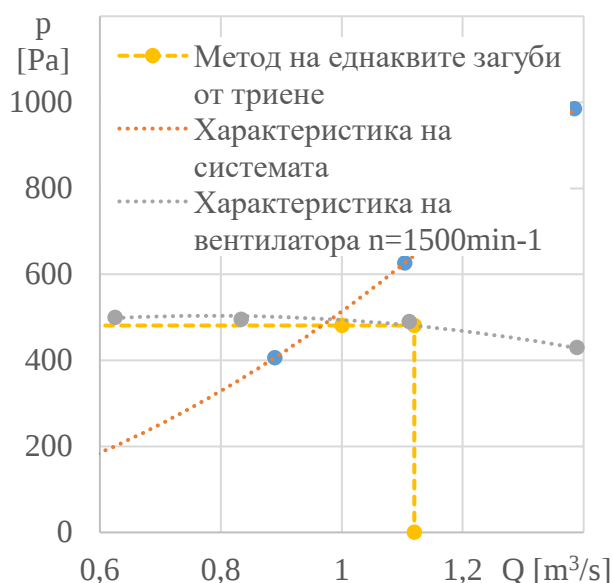
Таблица 3. Резултати по метода на възстановено статично налягане.

Участък	Дебит m ³ /s	R Pa/m	R*l	Δp _д Pa	V m/s	ζ	Δp _{vm} Pa	l m	a m	b m
C-D	1,16667	0,55	30,965		5	3,6	54	56,3	0,35	0,75
D-E	1,02083	0,252	0,882	1,05	4,8	9,07	125,38	3,5	0,35	0,65
E-F	0,875	0,264	0,846	1,01	4,6	9,07	115,15	3,2	0,35	0,6
F-G	0,72817	0,253	0,81	0,972	4,4	8,322	96,672	3,2	0,3	0,6
G-H	0,58333	0,242	0,774	0,9288	4,2	7,52	79,62	3,2	0,3	0,5
H-I	0,4375	0,23	0,738	0,8856	4	6,74	64,72	3,2	0,275	0,45
I-J	0,29167	0,219	0,702	0,8424	3,8	6,01	52,09	3,2	0,275	0,3
J-K	0,11458	0,208	0,666	0,7992	3,6	5,68	44,17	3,2	0,175	0,25

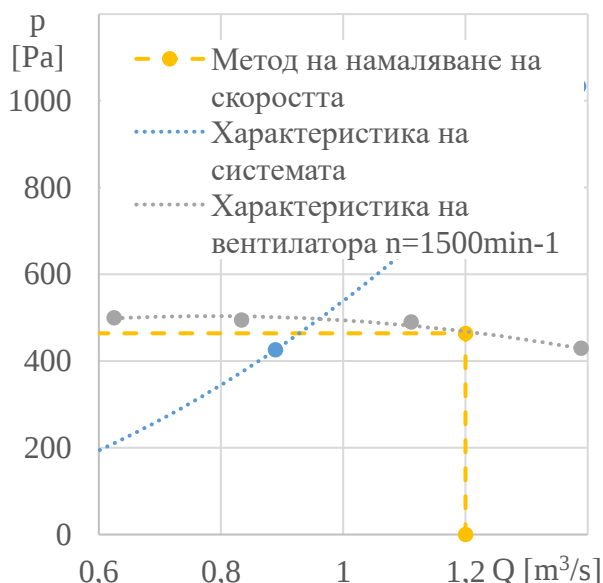
Сравнителен анализ на резултатите от двата метода

На фиг. 2 и фиг. 3 с виолетови прекъснати линии са показани режимите на работа на вентилатора съответно по метода на еднаквите загуби от триене и метода на намаляване на скоростта. Със зелените пунктирани линии е са показани характеристиките на избрания вентилатор при честота на въртене $n = 2500\text{min}^{-1}$. Със сините пунктирани линии са показани

характеристиките на системата, изчислена по известният класически метод, подробно описан в Роров, G. et al. (2023). На фиг.2 се вижда, че дебитът, получен по класическия метод е с близо 20% по-нисък от дебита, даден по задание и заложен в метода на еднаквите загуби от триене.



Фиг. 2 Режими на работа на системата, изчислена по метода на еднаквите загуби от триене.



Фиг. 3 Режими на работа на системата, изчислена по метода на намаляване на скоростта.

От фиг. 3 се вижда, че дебитът получен, по класическия метод е с близо 25% по-нисък от дебита, даден по задание и заложен в метода на намаляване на скоростта. Освен това дебитите през изходите на системата са различни. При необходимост от изравняване на практика се използва дроселиране с помощта на клапи, монтирани в крайните къси участъци. Това би довело до допълнително редуциране на общия дебит в системата, което е показано в Роров, G. et al. (2023).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат от проведеното сравнително изследване на съществуваща сложна вентилационна система, може да се направи заключение, че широко използваните в практиката методи за оразмеряване на сложни вентилационни системи, могат доведат до значителни разлики между получените зададените и получени дебита. Това налага по-задълбочени изследвания в тази насока, с цел разработване на метод за оразмеряване на сложни системи, по който се получават резултати, по-близки до зададените.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статията отразява резултати от работата по проект 2023-АИФ-03, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

REFERENCES

- Bruk, A., Matikashvili, T., Nevelson, M., Raer, G., Solomahova, T., & Yudin, E., (1975). *Centrobezhnaye ventilyataray. Mashinostroenie*, Moskva.
- Cory, W. (2005). *Fans and Ventilation: A Practical Guide*. Elsevier Science: 1st edition (October 18, 2005)
- Idel'chik, I. (1960). *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam*. Gosudarstvennoe Energeticheskoe Izdatel'stvo, Moskva-Leningrad

Popov, G., Klimentov, K., Kostov, B. & Dimitrova, R. (2020). *Increasing the energy efficiency of fan systems by using outlet diffuser*. Paper presented at the VIIth International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 4, pp 1-4, doi: 10.1051/e3sconf/202020704004

Popov, G., Klimentov, K. and Kostov, B. (2022). *Specific features in determining the energy efficiency when using a diffuser at the outlet of fan systems*, Mechanics of machines 126, 2022

Popov, G., Klimentov, K., & Kovachev, N. (2023). *Energy efficiency analysis of a complex ventilation system*. Proceedings of University of Ruse – 2023, volume 62, book 1.2.

Sharma, G., & Sharma, B. (2012). *Duct designing in air conditioning system and its impact on system performance*. Paper presented at the VSRD International Journal of Mechanical, Automobile and Production Engineering, Vol. 2 No. 9 November 2012. ISSN No. 2249-8303.

Stamov, S., 1993. *Guide to heating, ventilation and air conditioning (Part III)*. Sofia: Tehnika press.