

FRI-9.2-1-THPE-04

INFLUENCE OF THE DIFFUSER LOCATION ON THE VENTILATION SYSTEM CURVE¹⁴

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 Lachezar Kamenov, PhD Student

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +359 82 888 581
E-mail: lkamenov@uni-ruse.bg

Abstract: *There is no area in modern life where fan systems are not used, we apply them everywhere from heavy industry to our home for air conditioning and room aspiration. The task of the fan is to move a certain volume of fluid from one place to another or to expel it into the atmosphere. Almost all the energy required for this work is spent on overcoming the losses in the pipe elements of the fan systems. Minimizing these losses reduces the energy needed to power the fan and, most importantly, saves money. The need to reduce losses in fan systems requires the study of elements of complex shape in these systems. This paper examines the diffusers, exactly what effect they have on the system itself and how energy efficiency is improved depending on their positioning. In the present work, the influence of the arrangement of conical and flat diffusers on the variation of fan the system curve studied.*

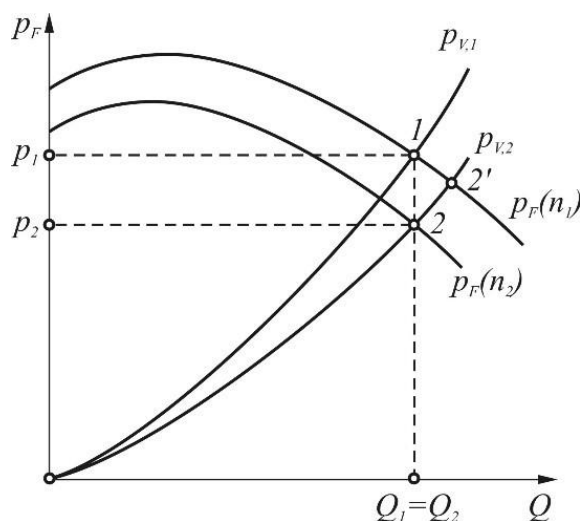
Keywords: *diffuser; fan system curve.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Центробежните вентилатори се използват основно за транспортиране на въздух, който най-често се изхвърля в атмосферата. Цялата енергия на вентилатора се изразходва за преодоляване на загубите във въздуховодите и арматурата на вентилаторните системи. Според (А. Врук et al, 1975) динамичното налягане е от 10 до 30 % от пълното налягане, в работната област на вентилаторните характеристики. Много често тази енергия се губи на изхода на вентилаторните системи. Препоръки за целесъобразно проектиране на вентилационни системи са дадени в стандарта (EN 13779: 2006). Един от начините за намаляване на загубите във вентилаторни системи е поставяне на дифузор на изхода на системата. Известно е, че при системи с дифузор на изхода дебита се увеличава в сравнение с система без дифузор на изхода

¹⁴ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Топлотехника, хидравлика и пневматика“ на 27 октомври 2023 г. с оригинално заглавие на български език: ВЛИЯНИЕ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕТО НА ДИФУЗОРА ВЪРХУ СЪПРОТИВИТЕЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВЕНТИЛАТОРНИТЕ СИСТЕМИ

(A. Bruk et al, 1975). В някои случаи може да се окаже, че режимът с повишен дебит (точка 2' на фиг. 1) е по-енергийно ефективен от първоначалния, без дифузор (точка 1 на фиг. 1). Освен това съществува възможност за допълнителна икономия на енергия, ако след монтиране на дифузор, с помощта на намаляване честотата на въртене (от n_1 до $n_2 < n_1$ на фиг.1), се възстанови първоначалният дебит в системата, при ново, по-ниско налягане – точка 2.



Фиг. 1. Промяна режима на работа на вентилатор със система: точка 1 – без дифузор на изхода; точка 2' – с дифузор на изхода; точка 2 – с дифузор, при запазване на първоначалния дебит в системата.

Изследвания в тази насока за конусните дифузори са публикувани в (Popov G. et al, 2020b) и (Popov G. et al, 2022), а за правоъгълните дифузори (Kliment Klimentov et al, 2023). В цитираните работи дифузорът е монтиран на изхода на вентилаторната система. В настоящата работа е проведено изследване относно влиянието на местоположението на дифузора върху съпротивителните характеристики на вентилаторните системи и по-конкретно ефектът на дифузора, когато е монтиран между тръби в сравнение с дифузор на изхода на системата и в система без дифузор.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обекти и методика на изследването

Обектите на изследване в настоящата работа са вентилаторни системи с правоъгълен и конусен дифузор, съответно на изхода или разположени между тръби. Аналитични зависимости за определяне коефициента на местно съпротивление ζ_d на конусен дифузор между две тръби са публикувани в (I. Idel'chik, 1960) и (Y. Gotseev et al. 2018). Данни за ζ_d са публикувани в (I. Idel'chik, 1960) и (D. Miller, 1990). Известно е, че влияние върху коефициента на местно съпротивление на дифузора оказва дължината на правия участък преди дифузора, независимо дали е монтиран на изход или между тръби ((I. Idel'chik, 1960)). Изследвания относно това влияние са публикувани в (G. Popov et al, 2020a) и (L. Voytovich et al., 1985). В настоящата работа са използвани данни за коефициента на местно съпротивление на дифузор, монтиран между тръби - ζ_d , и на изхода на системата - $\zeta_{d,out}$, публикувани в (I. Idel'chik, 1960). Дължината на правия участък пред дифузора е приета $l_1 = 10d$. При конусни дифузори d_1 е диаметърът на тръбата пред дифузора, а при правоъгълни – хидравличният диаметър, изчислен по формулата (I. Idel'chik, 1960):

$$d_1 = \frac{2ab}{a+b}, \quad (1)$$

където a и b са размерите на сечението на тръбата пред дифузора.

Изследваните правоъгълни дифузори са със следните параметри:

- ъгъл на разширение $\alpha = 8^\circ, 10^\circ, 14^\circ, 20^\circ$.

- степен на разширение $n = \frac{S_2}{S_1} = 2, 4, 6$.

Конусните дифузори са със следните параметри:

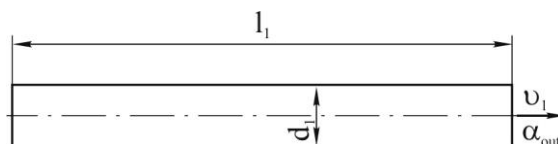
- ъгъл на разширение $\alpha = 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, 20^\circ$.

- степен на разширение $n = \frac{S_2}{S_1} = 2, 4, 6$.

Изчисленията са проведени при числа на Рейнолдс $Re = \frac{v_1 d_1}{\nu} = 50\,000, 100\,000, 200\,000, 400\,000$ за правоъгълни дифузори и $Re = 100\,000, 200\,000$ - за конусни. Правият участък след дифузора е с относителна дължина $\frac{l_2}{d_2} = 2, 4, 6, 8, 10$ при двата вида дифузори, а скоростта v_1 се определя от уравнението за неперкъснатост:

$$v_1 = \frac{Q}{S_1}. \quad (2)$$

Изследвани са три случая на вентилаторна система. В първия случай (фиг. 2) въздуховодната система се състои от прав тръбен участък с постоянен диаметър d_1 и дължина $l_1 = 10d_1$. Скоростта на въздуха при изхода тръбата е v_1 , а коефициентът на кинетична енергия в същото сечение е приет - $\alpha_{out} \approx 1$.



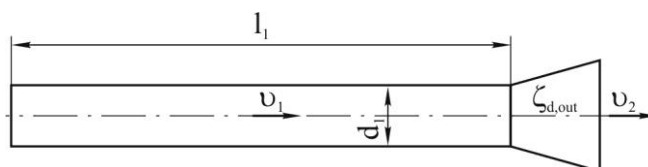
Фиг. 2. Схема на системата без дифузор на изхода.

В този случай загубите на налягане се определят по формулата:

$$p_{v1} = \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \alpha_{out} \right) \rho \frac{v_1^2}{2}, \quad (3)$$

където λ_1 е коефициентът на триене в участъка.

Във втория случай въздуховодната система се състои от прав участък, който завършва с дифузор (фиг. 3). Коефициентът на местно съпротивление на дифузора е $\zeta_{d,out}$ и отчита освен загубите от местно съпротивление и триене в самия дифузор и загубената кинетичната енергия $\rho \frac{v_2^2}{2}$ след изхода на дифузора, където ρ е плътността на въздуха.

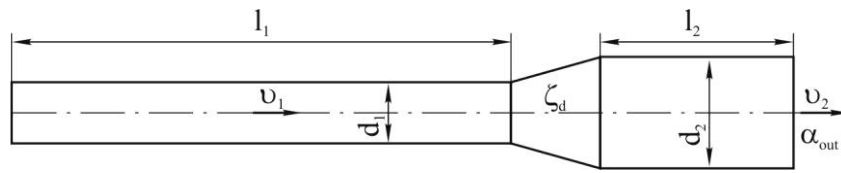


Фиг. 3. Схема на системата с дифузор на изхода.

Загубите на налягане във втория случай се определят по зависимостта:

$$p_{v2} = \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \zeta_{d,out} \right) \rho \frac{v_1^2}{2}, \quad (4)$$

В третия случай е разгледана система, която се състои от два тръбни участъка с диаметри d_1 и d_2 , между които е монтиран дифузор с коефициент на местно съпротивление ζ_d . Скоростта при изхода на втория прав участък е v_2 , а коефициентът на кинетична енергия в същото сечение - $\alpha_{out} \approx 1$ (фиг. 4).



Фиг. 4. Схема на системата с дифузор между две тръби.

Загубите на налягане в този случай се определят по зависимостта:

$$p_{v3} = \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{1}{n^2} + \zeta_d + \frac{\alpha_{out}}{n^2} \right) \rho \frac{v_1^2}{2}. \quad (5)$$

За целите на настоящото изследване са дефинирани относителните разлики в наляганията Δp_{1-2}^* и Δp_{1-3}^* , по следните зависимости:

$$\frac{p_{v1} - p_{v2}}{p_{din}} = \Delta p_{1-2}^* = 1 - \zeta_{d,out}. \quad (6)$$

и

$$\frac{p_{v1} - p_{v3}}{p_{din}} = \Delta p_{1-3}^* = 1 - \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{1}{n^2} - \zeta_d - \frac{1}{n^2}, \quad (7)$$

където $p_{din} = \rho \frac{v_1^2}{2}$.

За целите на изследването коефициентът на триене във втория прав участък е приет $\lambda_2 = 0,02$.

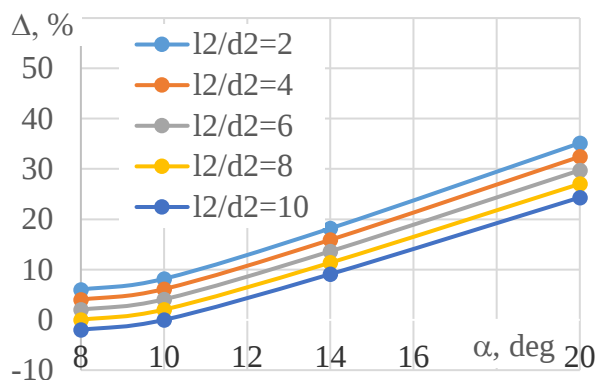
За количествена оценка на спестеното налягане в случай 3, в сравнение със случай 2, е дефинирана относителната разлика

$$\Delta = \frac{\Delta p_{1-3}^* - \Delta p_{1-2}^*}{\Delta p_{1-2}^*} 100\%. \quad (8)$$

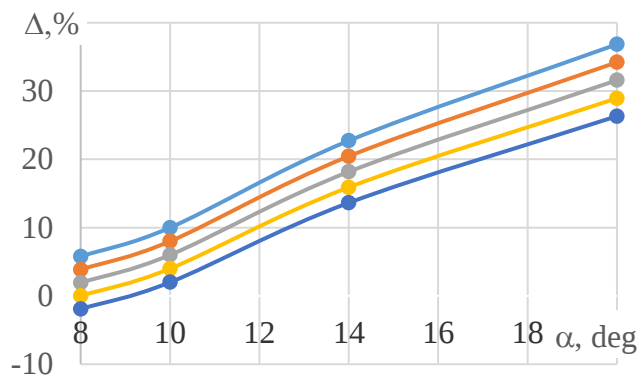
Резултати

В резултат от обработката на данните, публикувани в (I. Idel'chik, 1960), с помощта на горните формули са получени зависимости от вида $\Delta = f(\alpha)$, при различни стойности на степента на разширение n , числото на Рейнолдс Re и отношението l_2 / d_2 . Графичния вид на получените зависимости е показан на фигури 5, 6, 7, 8, 9 и 10 – за правоъгълни дифузори, и на фигури 11, 12, 13 и 14 – за конусни дифузори. Показаната на фигура 5 легенда за цветовете на кривите, при различно отношение l_2 / d_2 , е валидна за всички останали фигури от 6 до 14: тъмносин цвят - $l_2 / d_2 = 2$; червен цвят - $l_2 / d_2 = 4$; зелен цвят - $l_2 / d_2 = 6$; виолетов цвят - $l_2 / d_2 = 8$ и светлосин цвят - $l_2 / d_2 = 10$.

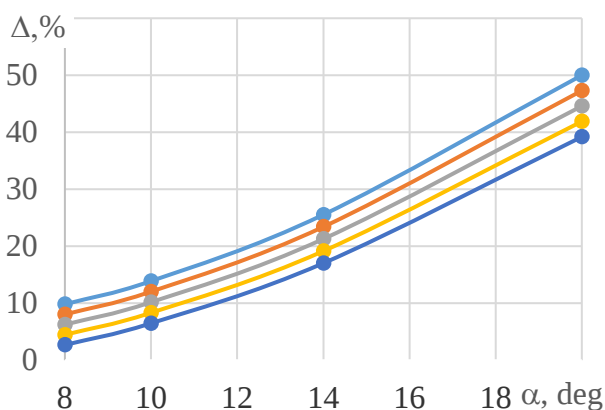
Влиянието на ъгъла на разширение α върху величината Δ ясно личи от зависимостите, показани на фигури 5-10, за правоъгълни дифузори. При шестте изследвани комбинации от n и Re , Δ нараства с увеличаване на ъгъл α . Най-голям ефект се наблюдава при степен на разширение $n=2$ и ъгъл на разширение $\alpha=20^\circ$, където относителната разлика Δ достига между 40 и 50%, в зависимост от отношението l_2 / d_2 . С увеличаване на степента на разширение, относителната разлика намалява, като при $n=4$ тя достига до 15-20%, докато при $n=6$ е в границите на едва 2-3%.



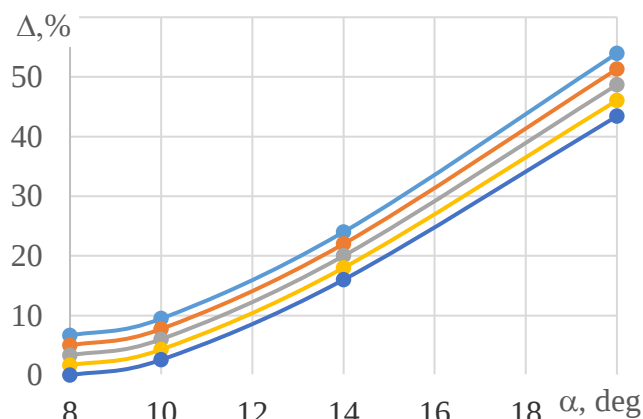
Фиг. 5. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=2$, $Re=0,5 \cdot 10^5$ и $l_2/d_2 = 2..10$ за правоъгълни дифузори.



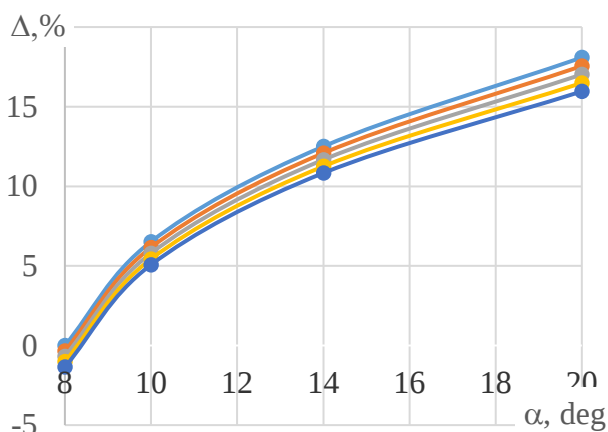
Фиг. 6. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=2$, $Re=1.1 \cdot 10^5$ и $l_2/d_2 = 2..10$ за правоъгълни дифузори.



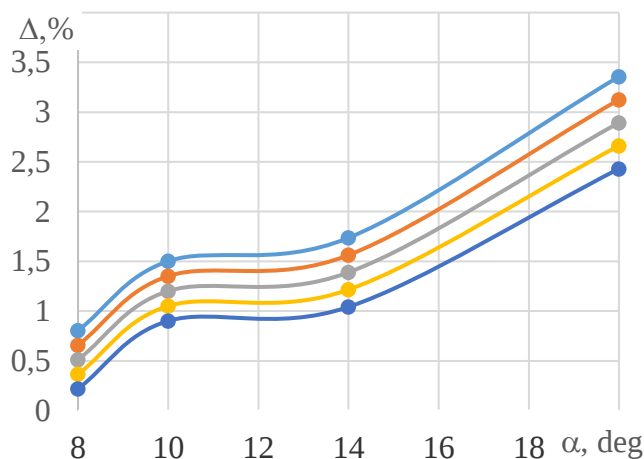
Фиг. 7. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=2$, $Re=2.1 \cdot 10^5$ и $l_2/d_2 = 2..10$ за правоъгълни дифузори.



Фиг. 8. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=2$, $Re=4.1 \cdot 10^5$ и $l_2/d_2 = 2..10$ за правоъгълни дифузори.

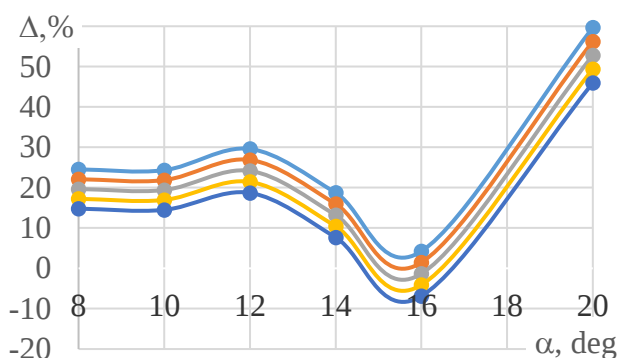


Фиг. 9. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=4$, $Re=2.1 \cdot 10^5$ и $l_2/d_2 = 2..10$ за правоъгълни дифузори.

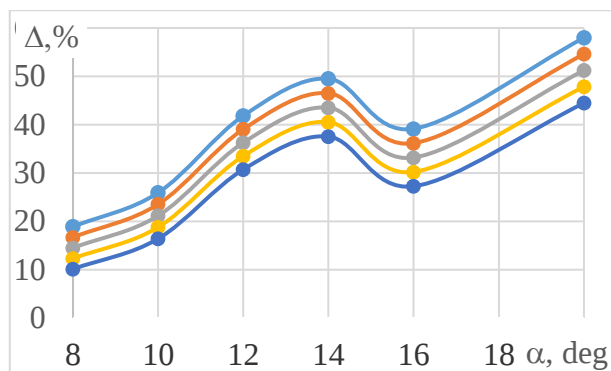


Фиг. 10. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=6$, $Re=2.1 \cdot 10^5$ и $l_2/d_2 = 2..10$ за правоъгълни дифузори.

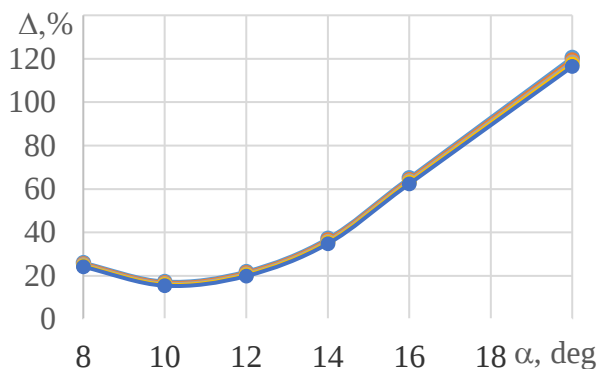
Влиянието на числото на Рейнолдс личи от фигури 5, 6, 7 и 8. Вижда се, че с увеличаване на Re , относителната разлика Δ нараства. При $Re=0,5 \cdot 10^5$, $n=2$ и $l_2/d_2=2$, $\Delta \approx 35\%$, докато при $Re=4 \cdot 10^5$, $n=2$ и $l_2/d_2=2$, достига до $\Delta \approx 55\%$.



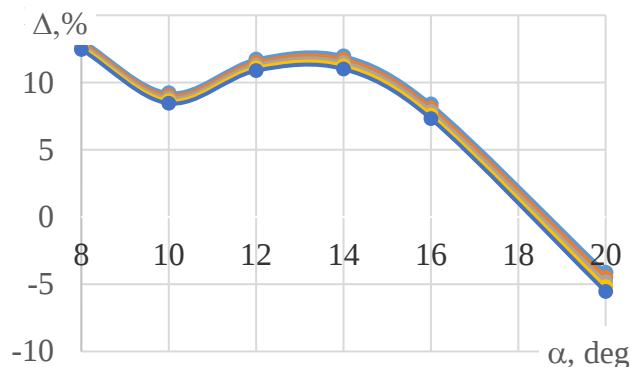
Фиг. 11. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=2$, $Re=1.10^5$ и $l_2/d_2=2..10$ за конусни дифузори.



Фиг. 12. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=2$, $Re=2.10^5$ и $l_2/d_2=2..10$ за конусни дифузори.



Фиг. 13. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=4$, $Re=2.10^5$ и $l_2/d_2=2..10$ за конусни дифузори.



Фиг. 14. Зависимости $\Delta = f(\alpha)$ при $n=6$, $Re=2.10^5$ и $l_2/d_2=2..10$ за конусни дифузори.

При изследваните конусни дифузори (фиг. 11-14) относителната разлика Δ се променя по различен начин и в различна степен в зависимост от числото на Рейнолдс и степента на разширение на дифузорите. Най-голям ефект се наблюдава при $n=4$, $Re=2.10^5$ и $\alpha=20^\circ$. При степен на разширение $n=6$, Δ намалява с увеличаване на α .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат от проведеното изследване относно влиянието на мястото на правоъгълни и конусни дифузори върху съпротивителната характеристика на вентилаторни системи става ясно, че мястото на монтиране на дифузор върху въздуховодите, с цел икономия на кинетична енергия, оказва влияние върху стойността на спестената енергия в системата. При по-голямата част от разгледани случаи монтирането на дифузор между тръби води до по-голяма икономия на енергия в сравнение с монтиране на изхода на системата. В повечето от разглежданите случаи относителната разлика Δ , дефинирана с формула (8), нараства с увеличаване на ъгъла на разширение на дифузора. При използване на дифузор за подобряване енергийната ефективност на вентилаторни системи е целесъобразно да се направи предварителен анализ относно влиянието на местоположението му върху намаляването на налягането в системата. За целта може да се използва предложената методика.

REFERENCES

- Bruck, A., T. Matikashvili, M. Nevelson, G. Raer, T. Solomahova, E. Yudin, (1975) Centrobezhnaye ventilyataray. Moskva: Mashinostroenie.
- EN 13779: 2006 Ventilation for Non-Residential Buildings — Performance Requirements for Ventilation and Room-Conditioning System.

Gotseev, Y., A. Obukhovskiy, S. Salenko. (2018) *On head losses in conical diffusers*. AIP Conference Proceedings 2027, 030048 <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5065142>

Idel'chik. I. (1960) *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam*. Moskva-Leningrad: Gosudarstvennoe Energeticheskoe Izdatelstvo.

Kliment Klimentov et al 2023 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1290 012001

Klimentov, K., G. Popov, K. Tujarov. (2008). Equations of centrifugal pumps' characteristics. *Energetica*, 6-7, Sofia, 60-63. (**Оригинално заглавие:** Климентов, Кл., Г. Попов, Кр. Тузаров (2008). Уравнения на характеристиките на центробежни помпи // Сп. Енергетика, бр. 6-7, София, 2008, 60-63).

Miller, D. (1990). *Internal flow systems*, BHRA, The Fluid Engineering Centre

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, 64 68,

Popov G, Klimentov K, Kostov B and Dimitrova R (2020) *Increasing the energy efficiency of fan systems by using outlet diffuser* 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 4, pp 1-4, doi: 10.1051/e3sconf/202020704004

Voytovich, L., G. Emel'yanova. (1985) *Experimental'noe I teoreticheskoe issledovanie gidravlicheskovo soprovleniya konicheskikh difuzorov s sherohovatoy poverhnostyu*. Uchenaye zapiski CAGI, XVI, 4.