

FRI-9.2-1-THPE-09

---

## STUDYING THE IMPACT OF A COMBINATION OF DIFFUSERS ON THE VENTILATION SYSTEMS CURVE<sup>22</sup>

---

**Prof. Gencho Popov, PhD**

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

**Assoc. Prof. Boris Kostov, PhD**

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,  
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse  
Phone: +359 82 888 580  
E-mail: bkostov@uni-ruse.bg

**Eng. Lachezar Kamenov, PhD Student**

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

***Abstract:** Energy losses in ventilation systems depend on the length of the pipelines and the influence of elements with a complex shape in these systems. The influence of straight pipe sections on losses in the system is an easy task to calculate from an engineering point of view, but of great interest and more complex to calculate are the elements with complex shapes in these systems. One type of complex shaped element in these systems is the diffuser. There are systems without a diffuser, with a diffuser at the outlet, with a diffuser between two straight pipe sections. This paper investigates the influence of the diffuser on the resistance characteristic of fan systems. Variants without a diffuser, with a diffuser at the outlet, with a diffuser between two straight sections and a variant with a diffuser between two straight sections and a diffuser at the outlet were compared. The comparison was made under equal conditions and under different (diffuser angles -  $\alpha$  ; diffuser expansion coefficient -  $n$  ; relative length of the straight section before the diffuser -  $l/d$  ).*

***Keywords:** Diffuser, Ventilation systems, Pipe.*

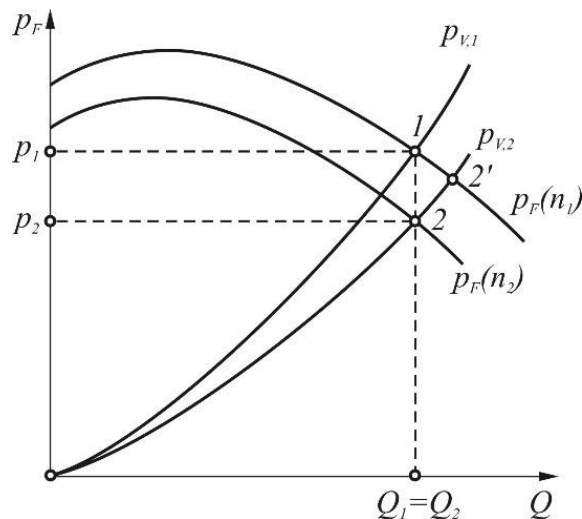
### ВЪВЕДЕНИЕ

Вентилаторите са машини предназначени за транспортиране на газове и по точно основно 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 (A.Bruck 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. В стандарта (EN 13779: 2006) са дадени насоки и изисквания за проектиране на вентилационни системи. Един от начините за намаляване на

---

<sup>22</sup> Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Топлотехника, хидравлика и пневматика“ на 25 Октомври 2024 г. с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА КОМБИНАЦИЯ ОТ ДИФУЗОРИ ВЪРХУ СЪПРОТИВИТЕЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВЕНТИЛАТОРНИТЕ СИСТЕМИ.

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 (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 (KlimentKlimentov et al, 2023). В цитираните работи дифузорът е монтиран на изхода на вентилаторната система. В (Popov G et al, 2023) е изследвано 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. Настоящата работа надгражда това изследване и изследва влиянието на комбинация от дифузори или по точно сравнява ефекта от два дифузора един поставен между две тръби в комбинация с дифузор монтиран на изхода и вариант в който е монтиран само един дифузор между две тръби.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### Обектни методика на изследването

Обектите на изследване в настоящата работа са вентилаторни системи с правоъгълен и конусен дифузор. Разгледана е 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  $\zeta_d$ , а на изхода – дифузор със същите ъгъл и степен на разширение, но с коефициент на местно съпротивление  $\zeta_{d,out}$ . Аналитични зависимости за определяне коефициента на местно съпротивление  $\zeta_d$  на конусен дифузор между две тръби са публикувани в (I.Idel'chik, 1960) и (Y. Gotseev et al. 2018). Данни за  $\zeta_d$  са публикувани в (I.Idel'chik, 1960) и (D. Miller, 1990). 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 влиянието на правия участък преди дифузора са публикувани в (G. Popov et al, 2020a) и (L. Voytovich et al., 1985). Данните които са използвани за коефициента на местно съпротивление на дифузор, монтиран между тръби -  $\zeta_d$ , и на изхода на системата -  $\zeta_{d,out}$ , са

взети от (I. Idel'chik, 1960). Дължината на правия участък пред дифузора е приета  $l_1 = 10d$ . 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.

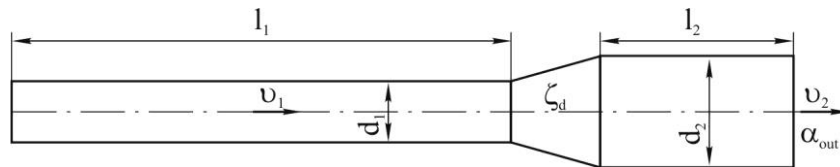
Изследваните правоъгълни дифузори са със следните параметри:

- ъгъл на разширение  $\alpha = 8^\circ, 10^\circ, 14^\circ, 20^\circ$ .
- степен на разширение  $n = \frac{S_2}{S_1} = 2, 4, 6$ .

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

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

Изследването е проведено на база на (Роров G et al, 2023) където е изследвано влиянието на местоположението на дифузора върху съпротивителните характеристики на вентилаторните системи. За сравнение е избран най-благоприятният вариант от предишната работа, а именно трети вариант (фиг. 2) 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  $\zeta_d$ . Скоростта на въздуха преди дифузора е  $v_1$ , а скоростта при изхода на втория прав участък е  $v_2$ , коефициентът на кинетична енергия в същото сечение -  $\alpha_{out} \approx 1$  (фиг. 2).



Фиг. 2. Схема на системата с дифузор между две тръби.

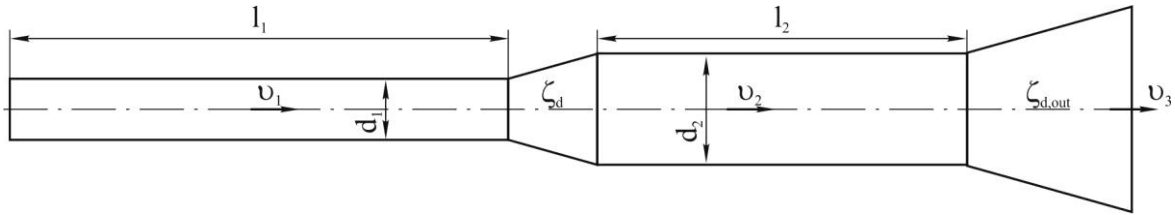
В този случай загубите на налягане се определят по формулата:

$$p_{v3} = \left( \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{1}{n^2} + \zeta_d + \frac{\alpha_{out}}{n^2} \right) \rho \frac{v_1^2}{2}. \quad (3)$$

където  $\lambda_i$  е коефициентът на триене в участъка.

Във четвъртия вариант е разгледан случай с един дифузор поставен между два тръбни участъка с диаметри  $d_1$  и  $d_2$ , в комбинация с дифузор монтиран на изхода (фиг. 3). Разгледаните дифузори са с еднакъв ъгъл и степен на разширение.

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  $\rho \frac{v_3^2}{2}$  след изхода на дифузора, където  $\rho$  е плътността на въздуха.



Фиг. 3. Схема на система с дифузор между две тръби в комбинация с дифузор на изхода.

Загубите на налягане във четвъртия вариант се определят по зависимостта:

$$p_{v4} = \left( \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{1}{n^2} + \zeta_d + \frac{\zeta_{d,out}}{n^2} \right) \rho \frac{v_1^2}{2}. \quad (4)$$

За целите на настоящото изследване са дефинирани относителните разлики в наляганията  $\Delta p_{1-3}^*$  и  $\Delta p_{1-4}^*$ , по следните зависимости:

$$\frac{p_{v1} - p_{v3}}{p_{din}} = \Delta p_{1-3}^* = 1 - \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{1}{n^2} - \zeta_d - \frac{1}{n^2}. \quad (5)$$

и

$$\frac{p_{v1} - p_{v4}}{p_{din}} = \Delta p_{1-4}^* = 1 - \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{1}{n^2} - \zeta_d - \frac{\zeta_{d,out}}{n^2}, \quad (6)$$

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

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

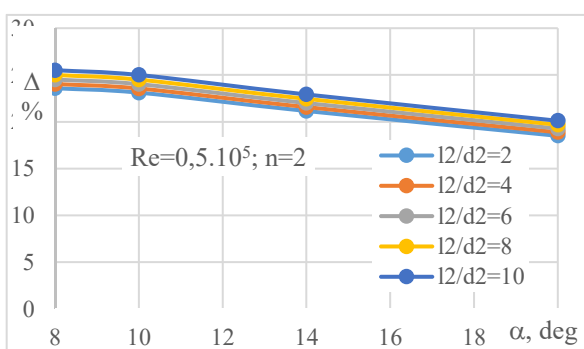
За количествена оценка на спестеното налягане във четвъртия вариант, в сравнение с третия вариант, е дефинирана относителната разлика

$$\Delta = \frac{\Delta p_{1-4}^* - \Delta p_{1-3}^*}{\Delta p_{1-3}^*} 100\%. \quad (7)$$

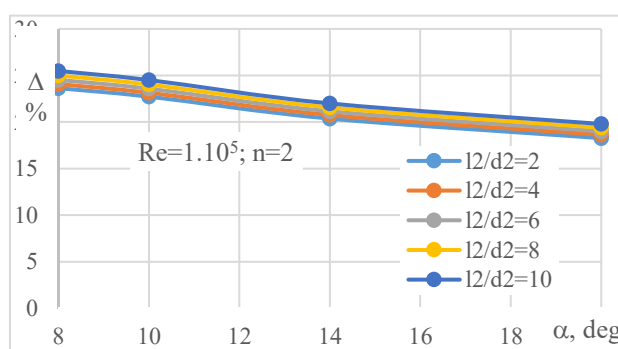
## Резултати

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 4, 5, 6, 7, 8 и 9 за правоъгълни дифузори и фигури 10, 11, 12, 13, 14 и 15 за конусни дифузори.

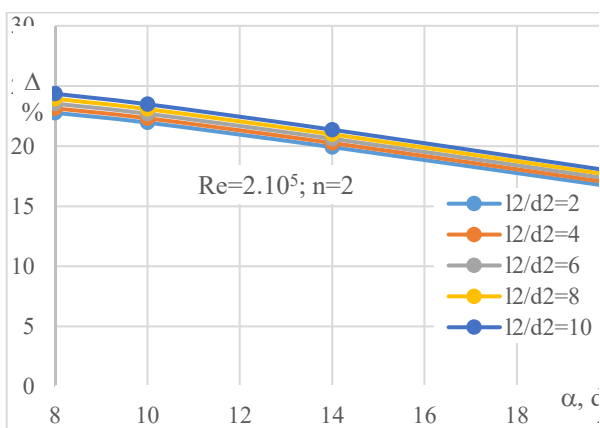
От показаното на фигури 4-9 за правоъгълни дифузори се наблюдава че, с увеличаване на ъгъла на разширение  $\alpha$ , относителната разлика  $\Delta$  намалява. При шестте изследвани комбинации от  $n$  и  $Re$ ,  $\Delta$  намалява с увеличаване на ъгъл  $\alpha$ . Най-голям ефект се наблюдава при степен на разширение  $n = 2$  и ъгъл на разширение  $\alpha = 8^\circ$ , където относителната разлика  $\Delta$  достига около 25%. С увеличаване на степента на разширение, относителната разлика намалява, като при  $n = 4$  тя достига до около 6%, докато при  $n = 6$  е в границите на едва 2-3%.



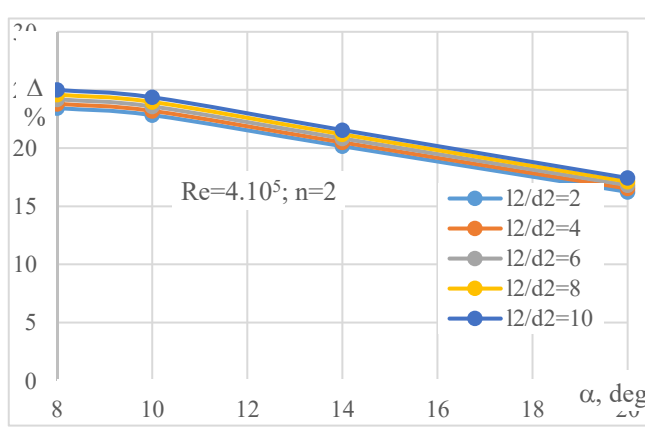
Фиг. 4. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 2$ ,  $Re = 0,5 \cdot 10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



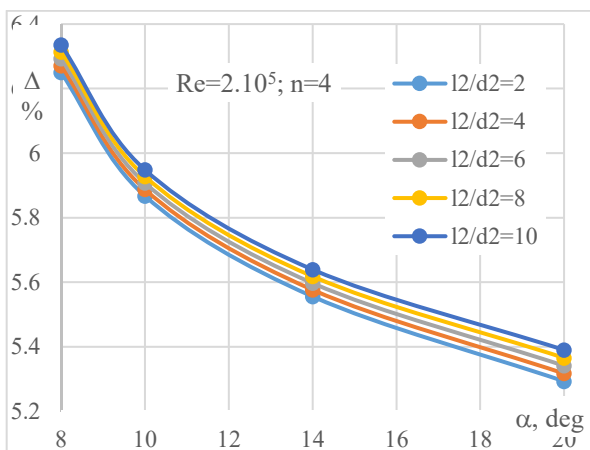
Фиг. 5. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 2$ ,  $Re = 1 \cdot 10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



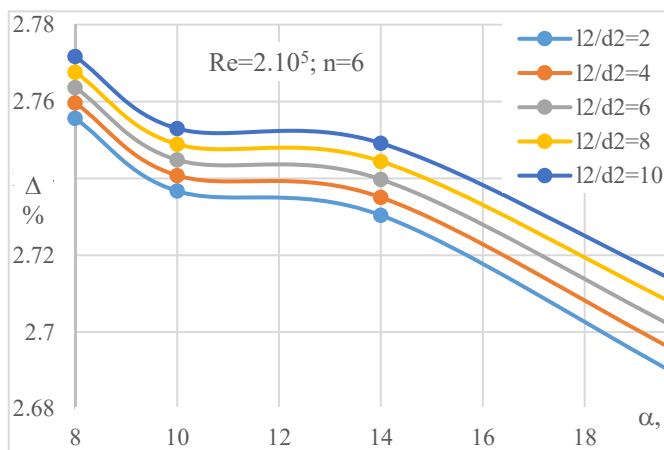
Фиг. 6. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 2$ ,  $Re = 2 \cdot 10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



Фиг. 7. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 2$ ,  $Re = 4 \cdot 10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .

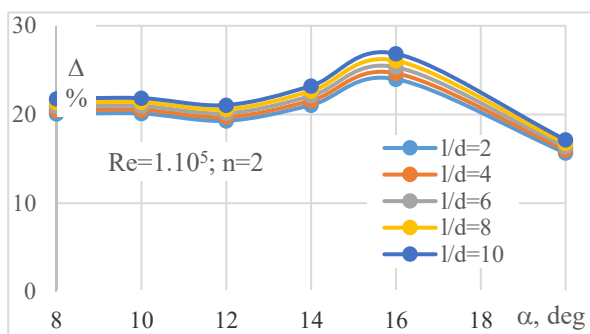


Фиг. 8. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 4$ ,  $Re = 2.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .

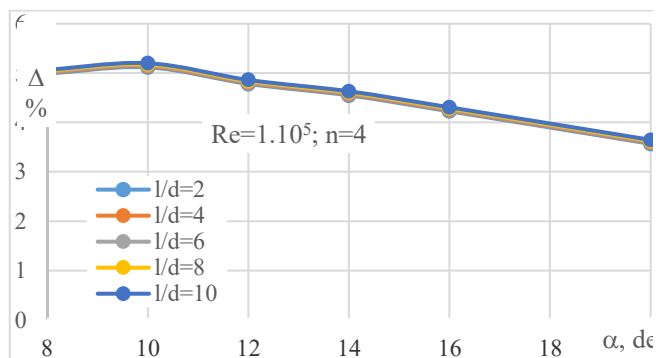


Фиг. 9. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 6$ ,  $Re = 2.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .

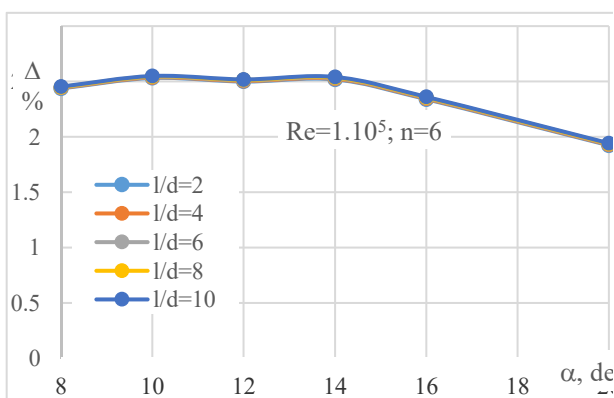
От показаното на фигури 10-15, при шестте изследвани комбинации за конусни дифузори се наблюдава че, най-голям ефект има при Рейнолдс  $Re = 1.10^5$ , степен на разширение  $n = 2$  и ъгъл на разширение  $\alpha = 16^\circ$ , където относителната разлика  $\Delta$  достига около 25%. С увеличаване на степента на разширение, относителната разлика намалява, като при  $n = 4$  тя достига до около 3-5%, докато при  $n = 6$  е в границите на едва 2-3%.



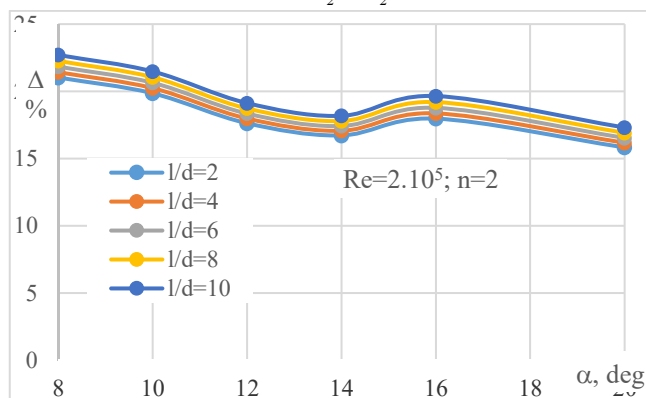
Фиг. 10. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 2$ ,  $Re = 1.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



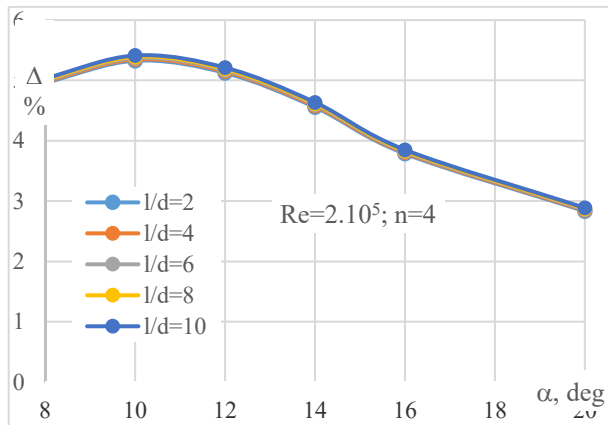
Фиг. 11. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 4$ ,  $Re = 1.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



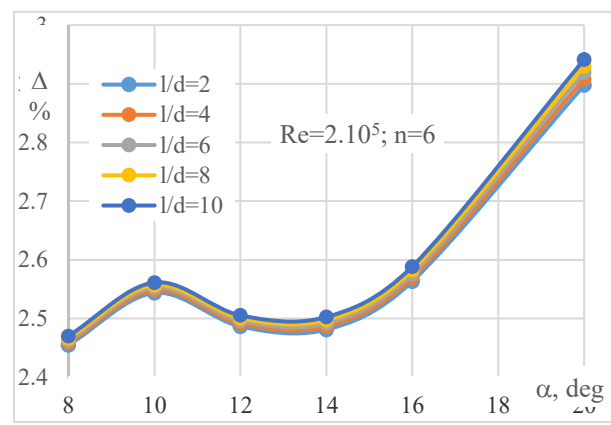
Фиг. 12. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 6$ ,  $Re = 1.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



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



Фиг. 14. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 4$ ,  
 $Re = 2.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .



Фиг. 15. Зависимости  $\Delta = f(\alpha)$  при  $n = 6$ ,  
 $Re = 2.10^5$  и  $l_2 / d_2 = 2..10$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат от проведеното изследване за влиянието на комбинация на дифузори, съответно между два тръбни участъка и на изхода на системата в системи с конусни и правоъгълни дифузори, става ясно че е целесъобразно да се използва такава комбинация с цел пестене на енергия. Ясно се откроява че при степен на разширение  $n=2$  и в системи с правоъгълни и в ситеми с конусни дифузори относителната разлика  $\Delta$  достига около 25%. При другите степени на разширение на дифузора -  $n=4$  и  $n=6$ , независимо от ъгъла на разширение -  $\alpha$  и числото на Рейнолдс  $Re$  относителната разлика  $\Delta$  е незначителна - в рамките на 2-6%.

## REFERENCES

- Bruck, A., T. Matikashvili, M. Nevelson, G. Raer, T. Solomahova, E. Yudin, (1975) Centrobezhnayeventilyataray. 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 Izdatel'stvo.
- Klimentov, K. 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. Тужаров (2008). Уравнения на характеристиките на центробежни помпи // Сп. Энергетика, 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.

Popov, G., K. Klimentov, B. Kostov, L. Kamenov(2023)*Influence of the diffuser location on the ventilation system curve.*62nd Annual Science Conference of Ruse University and Union of Scientists – Ruse. 115-121.

Voytovich, L., G. Emel'yanova. (1985) *Experimental'noe I teoreticheskoe issledovanie gidravlicheskovo soprovleniya konicheski hdifuzorov s sherohovatoypoverhnostyu.* Uchenayezapiski CAGI, XVI, 4.