



УНИВЕРСАЛЕН ВЕНТИЛАЦИОНЕН СТЕНД ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ПО „МЕХАНИКА НА ФЛУИДИТЕ“

*Петко Цанков, Виктор Станев,
Красимир Иванов*

Резюме: В настоящата статия е показан един подход за създаване на универсален стенд по „Механика на флуидите“ за изследване на линейни и местни хидравлични загуби, измерване на дебит, скоростен профил на флуидно течение. Приведени са и примерни резултати от изследвания доказващи вярност на методиката и нагледност на теоретични изводи за линейните и местни загуби - $\Delta p_L = f(Q)$; $\lambda_{op} = f(Re)$; $\Delta p_m = f(Q, d_{dp})$; $\zeta = f(Re; d_{dp})$.

Ключови думи: лабораторен стенд по Механика на флуидите, методика на хидравлични изследвания, линейни и местните хидравлични загуби

1. Въведение

Изучаването на основните зависимости в „Механика на флуидите“ – уравнение за непрекъснатост, уравнение за енергиен баланс, разбирането на параметрите на флуидно течение – налягане, скорост, дебит се постига най-добре в практически упражнения, изследвания и демонстрации [1,2,3,9,10]. Актуалността на задачата днес се определя и от изискванията за оптимизация на проектирането, за енергийната ефективност на хидравличните съоръжения и тяхното оразмеряване, за намаляване на хидравличните и топлинни загуби [7,8,9].

UNIVERSAL VENTILATION STAND FOR LABORATORY EXERCISES OF "FLUID MECHANICS"

*Petko Tsankov, Viktor Stanev,
Krasimir Ivanov*

Abstract: This article shows an approach to create a "Fluid Mechanics" universal bench for the study of linear and local hydraulic losses, flow rate measurement, fluid flow velocity profile. Also, exemplary results from studies proving the correctness of the methodology and the visibility of theoretical conclusions about linear and local losses – $\Delta p_L = f(Q)$; $\lambda_{op} = f(Re)$; $\Delta p_m = f(Q, d_{dp})$; $\zeta = f(Re; d_{dp})$.

Key words: Laboratory bench in Fluid Mechanics, Hydraulic Research Methods, Linear and Local Hydraulic Losses

1. Introduction

The study of the basic dependencies in Fluid Mechanics - continuity equation, equilibrium equation, understanding the parameters of fluid flow - pressure, velocity, flow is best achieved in practical exercises, researches and demonstrations [1,2,3,9,10]. The urgency of the task today is also determined by the requirements for optimization of design, energy efficiency of hydraulic installations and their sizing, reduction of hydraulic and heat losses [7,8,9].

2. Разработване на лабораторен стенд за упражнения по „Механика на флуидите”

Целта на работата е изграждане на комплексен лабораторен стенд за цикъл от лабораторни упражнения по механика на флуидите, за определяне на:

- линейни загуби в права цилиндрична тръба;
- коефициента на линейно съпротивление на права цилиндрична тръба;
- тарировъчна характеристика на дроселен дебитомер – тип “бленда”;
- коефициент на местно съпротивление (колоно, разширение, дросел и др.);
- скоростен профил на въздушно течение в кръгла тръба.

Изискванията, на които трябва да отговаря стенда са :

- многофункционалност и компактност на лабораторния стенд;
- простота и нагледност на провежданите изследвания и демонстрации;
- възможност за доработване и относителна мобилност на стенда.

След анализ на няколко методики [3,4,5,6] и практически реализации на лабораторни изследвания в областта на механика на флуидите, като са отчетени целите и изискванията към лабораторния стенд, е предложена принципна схема - фиг. 1 и идея за конструктивна схема - фиг. 2 на лабораторната уредба. Хидравличните изследвания ще се реализират с работен флуид – въздух и за целта ще се използва високонапорен вентилатор. Предвижда се възможност за работа основно в смукателния участък на системата – поради по-облекчения метод за измерване на обемния дебит със смукателна еталонна дюза.

Принципната схема на стенда и конструктивното изпълнение дават

2. Design of laboratory stand for exercises in "fluid mechanics"

The purpose of the work is to build a complex laboratory bench for a cycle of laboratory exercises in fluid mechanics, to determine:

- linear losses in a straight cylindrical tube;
- coefficient of linear resistance of the cylindrical tube
- charging characteristic of a throttle flowmeter - aperture type;
- coefficient of local resistance (knee, extension, throttle, etc.);
- a velocity of the air flow in a round tube.

The requirements to be met by the stand are:

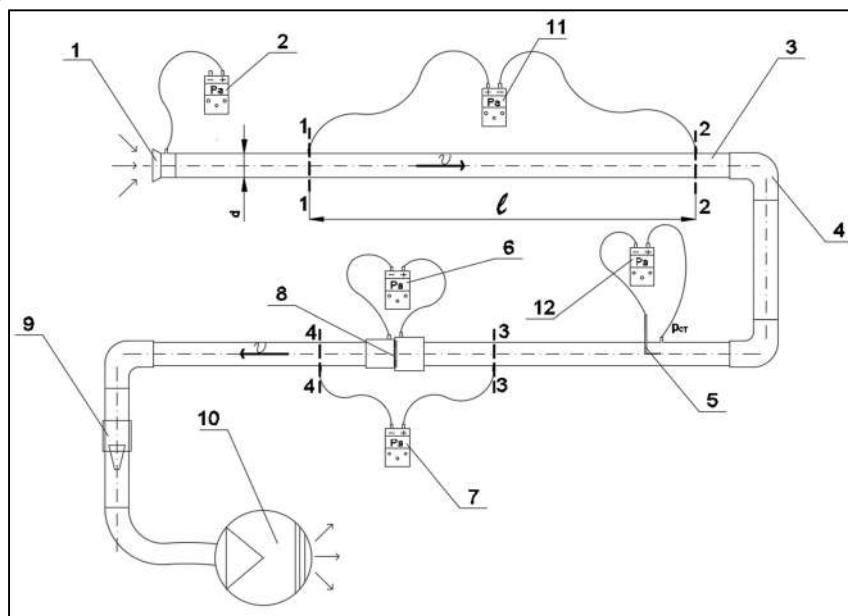
- multifunctionality and compactness of the laboratory bench;
- Simplicity and visibility of conducted research and demonstrations
- Opportunity to work and relative mobility of the stand.

After analyzing several methods [3,4,5,6] and practical implementations of laboratory tests in the field of fluid mechanics, taking into account the objectives and the requirements for the laboratory stand, a schematic diagram is proposed - fig. 1 and an idea for a construction scheme - fig.2 of the laboratory plant. Hydraulic tests will be carried out with a working fluid - air and a high-pressure fan will be used for this purpose. It is possible to work mainly in the suction area of the system - due to the easier method of measuring the volume flow with suction reference nozzle.

The principle scheme of the stand and the construction design allow for

възможност за вариативност: на различно включване на изследвани елементи (местни съпротивления), добавяне на допълнителни устройства (дроселен дебитомер 8, регулиращо устройство на скоростомерна тръба 5). Предвижда се и дроселно устройство 9 за плавно изменение на дебита на въздуха в работните участъци.

variation: different inclusion of the studied elements (local resistors), addition of additional devices (throttle flow meter 8, speedometer 5 regulating device). A throttle device 9 is also provided for smoothly varying the air flow rate in the working sections.

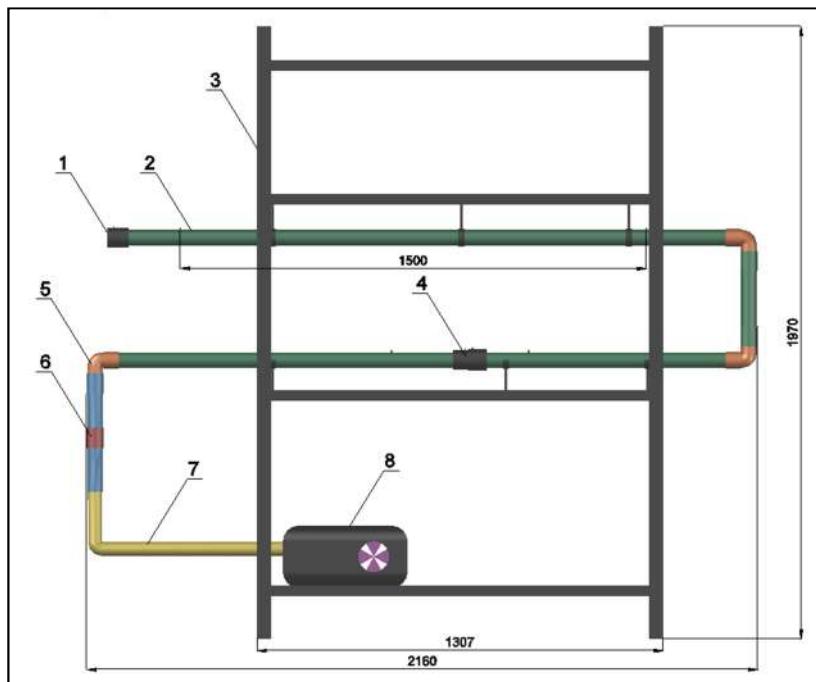


Фиг.1. Принципна схема на лабораторната уредба

- 1 - смукателна дюза;
- 2, 6, 7, 11, 12 - диференциален манометър;
- 3 - тръбопровод;
- 4 - коляно;
- 5 - тръба на Пито;
- 8 - дроселен дебитомер (бленда);
- 9 - регулиращо устройство;
- 10 – вентилатор

Fig.1. The basic scheme of the laboratory system

- 1 - suction nozzle;
- 2, 6, 7, 11, 12 - differential pressure gauge;
- 3 - pipeline;
- 4 - knee;
- 5 - Pitot tube;
- 8 - throttle flowmeter;
- 9 - adjusting device;
- 10 - fan



Фиг.2. Конструктивна схема на лабораторен стенд

- 1 - смукателна дюза;
- 2 - тръбопровод;
- 3 - работен стелаж;
- 4 - дроселен дебитометър;
- 5 - коляно;
- 6 - регулиращо устройство;
- 7 – гъвкав маркуч;
- 8 – вентилатор

Лабораторният стенд е оборудван със следните измервателни устройства (фиг.3):

- за налягане - диференциални микроманометри - Testo 510 (5 kPa) и HD755 (7 kPa);
- за дебит - еталонна смукателна дюза (конусен дифузор);
- термометър и барометър - за измерване на температурата на работния флуид - въздух и атмосферното налягане.

Fig.2. Construction drawing of a laboratory stand

- 1 - suction nozzle;
- 2-pipeline;
- 3 - work rack;
- 4 - throttle flowmeter;
- 5 - knee;
- 6 - adjusting device;
- 7 - flexible hose;
- 8 – fan

The laboratory stand is equipped with the following measuring devices (fig.3):

- differential pressure micrometers - Testo 510 (5 kPa) and HD755 (7 kPa);
- for flow - reference suction nozzle (cone diffuser);
- thermometer and barometer - for measuring the temperature of the working fluid - air and atmospheric pressure.



Фиг.3. Измервателни устройства – манометри и дебитомер

Fig.3. Measuring devices - manometers and flowmeter

3. Методика за провеждане на лабораторните изследвания

Методиката на лабораторните хидравлични изследвания включва:

- измерване на Δp_Q - пада на налягането в смукателната дюза, необходим за определяне на дебита в тръбопровода;
- измерване на Δp_L – пада на налягането (загуби на налягане) в изследвания елемент (примерно линейния участък с дължина l);
- определяне (изчисляване) на:

a) обемния дебит в тръбопровода

$$Q = \mu \frac{\pi d_d^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta p_Q}{\rho}}$$

където:

μ – коефициент на дебита на еталонната смукателна дюза, $\mu = f(Re)$;

d_d – диаметър на дюзата;

ρ – плътност на въздуха, $\rho = f(t; p_{bar})$

б) средната скорост на въздуха в тръбопровода

$$V_m = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

където d – диаметър на тръбопровода.

в) числото на Рейнолдс:

$$Re = \frac{V_m \cdot d}{v}$$

където:

v – кинематичния коефициент на

3. Methodology for conducting laboratory studies

The methodology of laboratory hydraulic tests includes:

- measurement of Δp_Q - pressure drop in the suction nozzle required to determine the flow rate in the pipeline;
- measurement of Δp_L - pressure drop (loss of pressure) in the research element (approximately - the linear section with length l);
- distribution of:

a) the volume flow in the pipeline

(1)

where

μ - the flow rate of the reference suction nozzle, $\mu = f(Re)$;

d_d - nozzle diameter;

ρ - density of air, $\rho = f(t; p_{bar})$.

b) the average air velocity in the pipeline:

(2)

d - diameter of the pipeline.

c) the number of Reynolds:

(3)

v - kinematic coefficient of air viscosity, $v = f(t)$.

вискозитета на въздуха, $v = f(t)$.

г) уточняване на коефициента на дебит на еталонната смукателна дюза:

$$\mu = f(Re) \rightarrow \text{по методика [3,5].}$$

д) опитния и теоретичния коефициенти на линейно съпротивление:

$$\lambda_{on} = \frac{d^5}{l} \times \frac{\pi^2}{8 \cdot \rho \cdot Q^2} \times \Delta p_l \quad (4)$$

$$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{d} \right)^{0,25} \quad (5)$$

където:

l – дължина на изследвания линеен участък;

k – еквивалентна грапавост на тръбопровода;

λ_T - теоретичен коефициент на линейно съпротивление - по методика за определяне на зависимостта → [2,3,4,5] - $\lambda = f(Re; k/d)$.

4. Експериментални резултати и анализ

На така разработения стенд са направени няколко начални проверочни експеримента, с цел уточняване на диапазон на изследванията и коректност, стабилност на конструкцията, измерванията и методиката на изследванията. Конкретно са проведени изследвания за: определяне на линейните загуби и характеристики на права цилиндрична тръба; определяне на дебитната характеристика на дроселен дебитомер – тип „бленда”; определяне на местни хидравлични загуби и характеристики на местно съпротивление – тип „дросел”.

Резултати от тези изследвания са приведени в графичен вид съответно на фиг. 4 и 5; фиг. 6 ; фиг. 7 а, б.

Анализ на резултатите:

d) specification of the reference flow rate of the reference suction nozzle:

$\mu = f(Re) \rightarrow \text{according to the method [3,5].}$

e) the experimental and theoretical coefficients of linear resistance:

$$(4)$$

l - length of the examined linear plot;

k - equivalent roughness of the pipeline;

λ_T - theoretical coefficient of linear resistance - by the method of determination of dependence → [2,3,5] - $\lambda = f(Re; k/d)$.

4. Experimental results and analysis

Several initial verification experiments were performed on the stand that was designed so as to specify the range of studies and correctness, stability of the structure, measurements and methodology of the research. Specific studies have been conducted to: determine the linear losses and characteristics of a straight cylindrical tube; Determination of debit characteristic of throttle flowmeter - diaphragm type; determining local hydraulic losses and local resistance characteristics - throttle type.

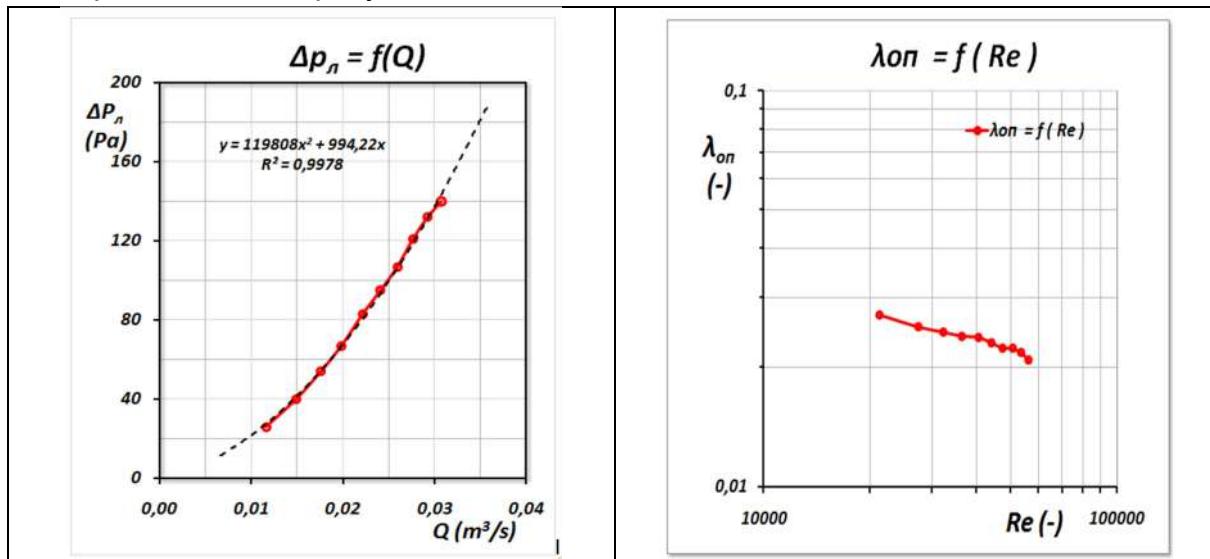
The results of these studies are plotted in Fig. 4 and 5; Fig. 6; 7a, b

Analysis of results:

1. The precision of the so-called bench and the accuracy of the

1. Прецизността на така изработения стенд и верността на използваните методики за провеждане на посочените изследвания са доказани с експерименталните резултати.

methodologies used to conduct the above-mentioned studies have been proven by the experimental results.

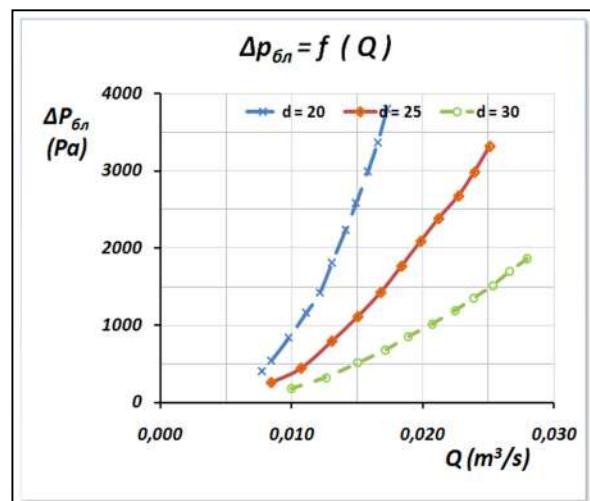


Фиг.4. Линейни загуби в тръбопровода в зависимост от дебита - $\Delta p_L = f(Q)$

Fig.4. Linear losses in the pipeline depending on the flow - $\Delta p_L = f(Q)$

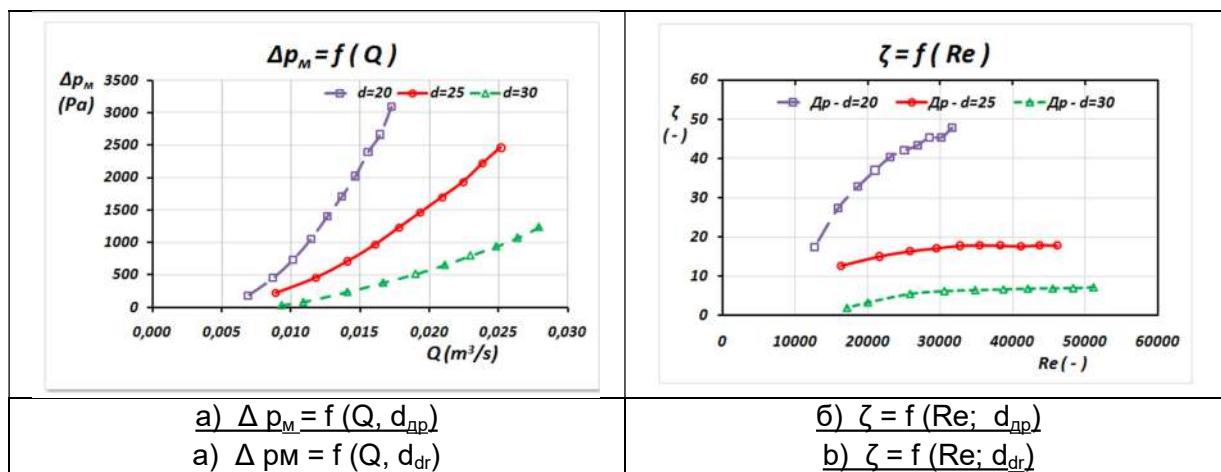
Фиг.5. Коефициент на линейно съпротивление в зависимост от числото на Рейнолдс – $\lambda_{op} = f(Re)$

Fig.5. Coefficient of linear resistance according to the number of Reynolds – $\lambda_{op} = f(Re)$



Фиг.6. Тарировъчни характеристики на дроселен дебитомер тип “бленда” – $\Delta p_{bl} = f(Q)$ за три типоразмера бленди

Fig.6. Characterization characteristics of throttle flow diaphragm - $\Delta p_{bl} = f(Q)$ for three dimensional blends



Фиг.7. Характеристики на местни съпротивления тип "дросели"

2. Получената зависимост за линейните хидравлични загуби в тръбопровода от дебита има точно доказан квадратичен характер, потвърден от избраната аналитична зависимост (линия на тренда) описваща $\Delta p_L = f(Q)$ – фиг.4;

$$y = 11980 \cdot x^2 + 994,22 \cdot x$$

3. Опитната логаритмична характеристика на зависимостта на коефициента на линейно съпротивление от критерия на Рейнолдс $\lambda_{op} = f(Re)$ потвърждава класическата зависимост при турбулентно течение в преходна област когато коефициента зависи както от числото на Re , така и от относителната грапавост k/d - $\lambda = f(Re; k/d)$ – фиг. 5. Това практически е част от класическата диаграма на Moody – Никурадзе [2,3,4,5].

4. При определянето на местните хидравлични загуби в хидравлично съпротивление дросел тип „бленда“ във функция от обемния дебит отново са получени квадратични зависимости $\Delta p_m = f(Q)$ и за трите типоразмера дросели, което категорично доказва коректността на изследванията и верността на измерванията (дебит, налягане) – фиг. 7a. Много ясно са очертават различията

Fig.7. Characteristics of local resistors type "throttles"

2. The dependence on the linear hydraulic losses in the flow line has a precisely proven quadratic character confirmed by the chosen analytical dependence (trend line) describing $\Delta p_L = f(Q)$ - fig.4;

3. The experimental logarithmic characteristic of the linear coefficient dependence on the Reynolds criterion $\lambda_{op} = f(Re)$ confirms the classical dependence on the turbulent flow in the transition area when the coefficient depends on both the number of Re and the relative roughness k/d - $\lambda=f(Re; k/d)$ – Fig. 5. This is practically part of the classic Moody - Nikuradze chart [2,3,4,5].

4. In determining the local hydraulic losses in hydraulic resistance, a diaphragm throttler in function of the volumetric flow is again obtained quadratic dependencies $\Delta p_m = f(Q)$ for all three type of throttle sizes, which conclusively proves the correctness of the studies and the accuracy of the measurements (flow rate, pressure) - Fig. 7a. The differences in the characteristics of the different throttle are very clear

характеристиките на различните дросели при увеличаването на съпротивленията (намаляване диаметъра на дросела):

$$\Delta p_{M20} = f(Q); \quad \Delta p_{M25} = f(Q); \quad \Delta p_{M35} = f(Q)$$

И за трите дросела, коефициента на местно съпротивление ζ при развито турбулентно течение показва устойчива тенденция за приемане на постоянна стойност – фиг. 7б, съответстващо на теоретичните постановки от класическите изводи [1,3,4] и специфични за конкретните съпротивления. Това отново точно съответства на очаквания резултат за $\zeta = f(Re)$. Тези постоянни стойности за различните дросели са съответно (фиг. 7б):

$$\zeta_{20} = 7; \quad \zeta_{25} = 18; \quad \zeta_{30} = 45$$

5. Резултатите отнасящи се до тариривъчните характеристики на дроселните дебитомери тип „бленда“ $\Delta p_{bl} = f(Q)$ фиг. 6, също потвърждават очаквания квадратичен характер на зависимостите и за трите дебитомера с очертана „линейна работна зона“.

5. Заключение

Настоящата работа е едно обобщение по проектирането, изработването и изпитването на лабораторен стенд за упражнения по „Механика на флуидите“. Този стенд притежава качествата на универсален вентилационен стенд защото на него могат да се реализират няколко упражнения и демонстрации:

- за определяне на линейни и местни хидравлични загуби;
- за определяне на коефициентите на линейно и местно хидравлични съпротивления;
- за тарирание на дроселен дебитомер тип „бленда“ по еталонен;
- за снемане на скоростен профил на въздушно течение в кръгъл тръбопровод

when increasing resistances (reducing the diameter of the throttle):

For the three thrusters, the local resistance coefficient ζ in the developed turbulent flow shows a steady tendency to accept a constant value – Fig.7b, corresponding to the theoretical statements of the classical conclusions [1, 3, 4] and specific to the concretely resistances. This again corresponds exactly to the expected result for $\zeta = f(Re)$. These constant values for the various throttle are respectively (fig.7b):

$$\zeta_{20} = 7; \quad \zeta_{25} = 18; \quad \zeta_{30} = 45$$

5. The results concerning the charging characteristics of throttle diaphragm type diaphragms $\Delta p_{bl} = f(Q)$ Fig. 6 also confirms the expected quadratic nature of the dependencies for all three flow meters with a "linear working zone" outlined.

5. Conclusion

The present work is a summary of the design, development and testing of a laboratory bench for exercises in "Fluid Mechanics". This bench has the qualities of a universal ventilation bench because it can perform several exercises and demonstrations:

- for determining linear and local hydraulic losses;
- for determining the coefficients of linear and local hydraulic resistances;
- for tare calibration of a standard diaphragm flow meter;
- for removing the velocity profile of the air flow in a circular pipeline

и др. Резултатите от изследванията показват много добро потвърждение на теоретичните зависимости от „Механика на флуидите“ относно линейните и местни хидравлични съпротивления – коефициенти и загуби. Стендът има възможност за доработване, надграждане и провеждане на допълнителни хидравлични изследвания.

and the like.

The results of the studies show very good confirmation of the theoretical dependences on Fluid Mechanics regarding linear and local hydraulic resistances - coefficients and losses. The stand has the opportunity to refine, upgrade and carry out additional hydraulic tests.

6. Литература

- [1] Young, D., B. Munson, T. Okiishi , W. Huebsch. (2011). A Brief Introduction to Fluid Mechanics – Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc., pp.523. ISBN 13-978-0470-59679-1
- [2] Shaughnessy, E. Jr., I. Katz, J. Schaffer. (2005). Introduction to Fluid Mechanics. New York Oxford, Oxford University press, pp.1057. ISBN 978-0-195154-51-1
- [3] White, F. (1991). Viscous Fluid Flow - Second Edition. McGraw-Hill, Inc., pp.638. ISBN 0-07-06971 2-4
- [4] Stankov, P., I. Antonov. (1986). Manual for Exercises and Collection of Problems in Fluid Mechanics. Publishing house "Tehnika" - 1986, pp.233 (in Bulgarian)
- [5] Zheleva, I., G. Popov et al. (2006). Manual for Fluid Mechanics Exercises. Publishing house of University of Russe A. Kanchev, pp.158. (in Bulgarian)
- [6] Antonov, I., V. Yankov. (1990). Manual for Exercises in Fluid Mechanics. National publishing house Yambol, Bulgaria, pp.167. (in Bulgarian)
- [7] Georgieva, N., Z. Zlatev, I. Binev. (2013). Experimental study of heat and environmental characteristics of gas burner operating under water-heating installations. Applied research on technics, technologies and education ARTTE, 1 (1), pp.36-41.
- [8] Binev, I. (2018). Possibilities for ground water use for conditioning of the faculty "Technics and technology" building in Yambol. ARTTE, 6 (2), pp 166-169. ISSN 1314-8788 (print), ISSN 1314-8796 (online)
- [9] Vasile, A. (2012). Simulation of hydraulic load in pipes, using the working medium "Adina". Acta technica corviniensis – Bulletin of Engineering, Fascicule 3 [July–September], pp.97-100. ISSN 2067-3809
- [10] Virtual labs - Fluid Mechanics labs, <http://fm-nitk.vlabs.ac.in/> (available on 21.11.2019)

Контакти

доц. д-р инж. Петко Цанков
e-mail: ptsankov@abv.bg

инж. Виктор Станев
e-mail: victor.stanev@abv.bg

ас. инж. Красимир Иванов
e-mail: krasimirivanov1978@abv.bg

Тракийски университет – Стара Загора
Факултет „Техника и технологии“
Ямбол, България

Contacts

Asooc. Prof. Petko Tsankov, PhD, eng.
e-mail: ptsankov@abv.bg

Eng. Viktor Stanev
e-mail: victor.stanev@abv.bg

Assist. Prof. Krasimir Ivanov
e-mail: krasimirivanov1978@abv.bg

Trakia University – Stara Zagora
Faculty of Technics and Technologies
Yambol, Bulgaria