

## УПРАЖНЕНИЕ № 12

### ТЕМА: ОПРЕДЕЛЯНЕ ЗАГУБИТЕ ОТ ЛИНЕЙНИ СЪПРОТИВЛЕНИЯ

**ЦЕЛ:** Студентите да придобият умения за определяне на загубите от линейни хидравлични съпротивления при ламинарни и турбулентни течения в тръбопроводи, при различни състояния на повърхността на обтечените стени и различен температурен режим на флуида.

#### Теоретична част.

Загубите от линейни съпротивления се определят от израза:

$$\Delta p_{з.л.с} = p_1 - p_2 = \lambda \frac{l}{d} \cdot \rho \frac{V_m^2}{2}, \quad (12.1)$$

където:

$p_1$  е налягането в началото на линейния участък,

$p_2$  е налягането в края на линейния участък,

$\lambda$  е коефициентът на линейно съпротивление,

$l$  е дължината на тръбопровода,

$d$  – диаметър на тръбопровода,

$\rho$  - плътността на флуида,

$V_m$  е средната скорост на флуида, определена от уравнението за непрекъснатост.

В общия случай коефициентът на триене  $\lambda$  зависи от режима на движение на флуида и от височината на грапавините на стената на тръбата -  $k$ .

Стойността на числото на Рейнолдс определя характера на движение на флуида – ламинарен или турбулентен:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu},$$

където  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$  е коефициентът на кинематична вискозност на флуида.

Като характеристика, показваща влиянието на грапавостта на стената на тръбата върху нейното хидравлично съпротивление, се използва отношението  $d/k$ , което се дефинира като *относителна гладкост* или реципрочната стойност т.н. *относителна грапавост*  $k/d$ .

Общата функционална зависимост за коефициента на линейно съпротивление  $\lambda$  има вида:

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{d}{k}\right). \quad (12.2)$$

Възможни са три случая на изменение на коефициента на линейно съпротивление:

1. Коефициентът на линейно съпротивление  $\lambda$  зависи само от режима на движение, т.е.  $\lambda = f(\text{Re})$ , а грапавостта не оказва влияние върху хидравличното съпротивление - този случай се дефинира като хидравлически гладка повърхност.

2. Коефициентът на линейно съпротивление зависи и от двата параметъра, т.е.  $\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{d}{k}\right)$  - този случай се дефинира като преходна зона.

3. Коефициентът  $\lambda$  се определя само от грапавостта на тръбата  $\lambda = f\left(\frac{d}{k}\right)$  и не зависи от режима на движение, и този случай се дефинира като хидравлически грапава повърхност.

При ламинарен режим на течението – при  $\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} < \text{Re}_{\text{кр}} = 2320$  където  $\text{Re}_{\text{кр}} = 2320$  е критичната стойност на числото на Рейнолдс, определяща границата между ламинарен и турбулентен режим на движение на флуидите в *кръгла тръба*.

В този случай коефициентът на линейно съпротивление зависи само от числото на Рейнолдс  $\lambda = f(\text{Re})$  и се определя по формулата:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (12.3)$$

При турбулентен режим на движение и при хидравлически гладки тръби.

При този режим на течението, коефициентът на линейно съпротивление зависи само от числото на Рейнолдс  $\lambda = f(\text{Re})$ . За изчисляването на коефициента на линейни съпротивления  $\lambda$  се използва формулата на Блазиус, която е валидна за стойности на числото на Рейнолдс до  $\text{Re} = 1.10^5$ :

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} \quad (12.4)$$

За по-високи стойности на числото на Рейнолдс  $\text{Re} > 1.10^5$  за изчисляване на коефициента на линейно съпротивление се използва формулата на Конаков.

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg \text{Re} - 1,5)^2} \quad (12.5)$$

При турбулентен режим и преходна зона

При този режим на течение, коефициентът на линейно съпротивление зависи от числото на Рейнолдс и грапавините на повърхността -

$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{d}{k}\right)$ , и се използва степенната формула на Алтшул:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{k}{d} \right)^{0,25} \quad (12.6)$$

При турбулентен режим при течение с хидравлически грапави тръби

В тази област, наречена квадратична (автомоделна) област на съпротивленията, режимът на движение не оказва влияние върху съпротивлението на тръбата и загубите на енергия зависят от квадрата на скоростта. За изчисляване на коефициента на линейни съпротивления  $\lambda$  се използва формулата на Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d}{2k} + 1,74\right)^2} \quad (12.7)$$

За решаване на инженерни задачи е разработен алгоритъм и блок схема за определяне на коефициента на линейни съпротивления  $\lambda$  - *фиг. 12.1*:

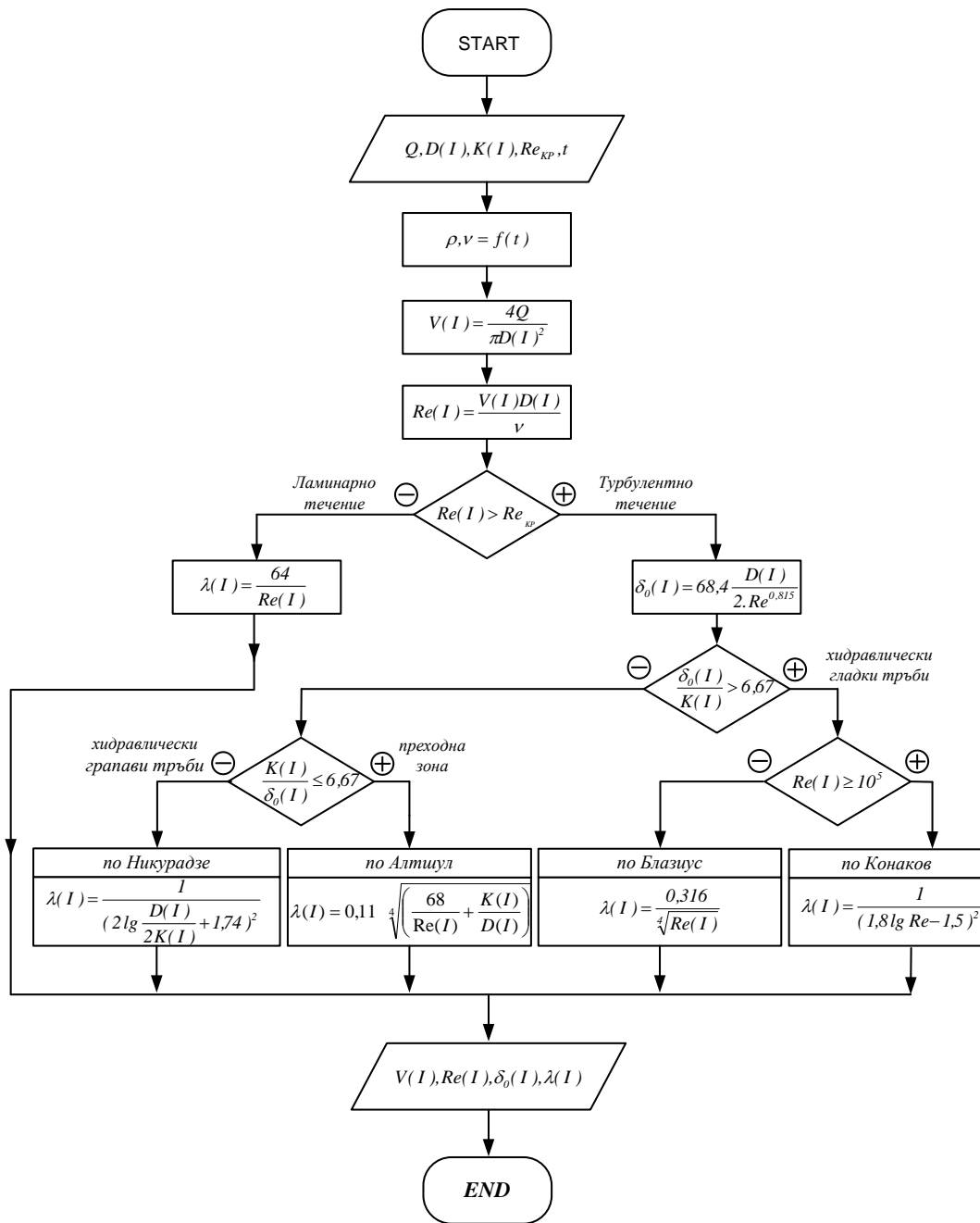
При определяне на относителната гладкост могат да се приемат стойностите за еквивалентната грапавост  $k$  за най-често срещаните тръби в практиката от табл. 12.1.

Ако напречното сечение на тръбопровода не е кръгло, се прилагат същите формули за изчисляване на хидравличните загуби, числото на Рейнолдс, както и за коефициента на линейно съпротивление. За целта вместо диаметъра на тръбопровода  $d$  в тези формули се използва т. нар. *хидравличен диаметър*  $d_h$ , който е равен на четворения *хидравличен радиус*  $R$ , т.е.:

$$d_h = 4R.$$

Хидравличният радиус  $R$  представлява отношение на напречното сечение  $F$  към периметъра на това сечение  $\Pi$ . За правоъгълно напречно сечение с размери  $a$  и  $b$  се получава:  $F = a \cdot b$  и  $\Pi = 2(a + b)$ . Хидравличният радиус и хидравличният диаметър са съответно:

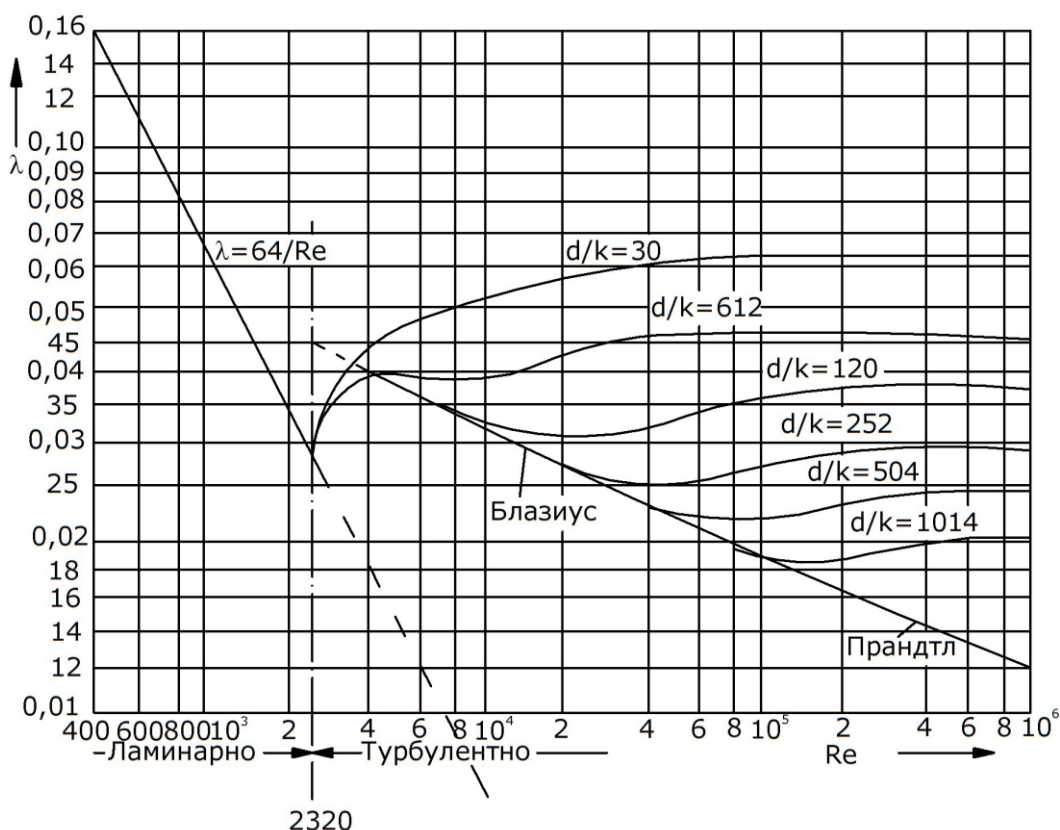
$$d_h = 4R = 2 \frac{a \cdot b}{a + b}.$$



фиг. 12.1. Алгоритъм и блок схема за определяне на коефициента на линейно съпротивление

В практиката се използва графиката на Никурадзе за определяне на коефициента на линейно съпротивление, *фиг. 12.2*. Може да се проследят отделните зони на течение в тръбите и параметрите от които зависи коефициента на линейно съпротивление при промяна на числото на Рейнолдс. Особеното на тази графика, което трябва да се има в предвид е, че при измерванията Никурадзе е създавал различните относителни грапавости с помощта на залепени една до друга сфери по обтечената повърхност, като е променял само диаметъра на сферите. По този начин се създава равномерна грапавост, която може да се приеме като идеален случай.

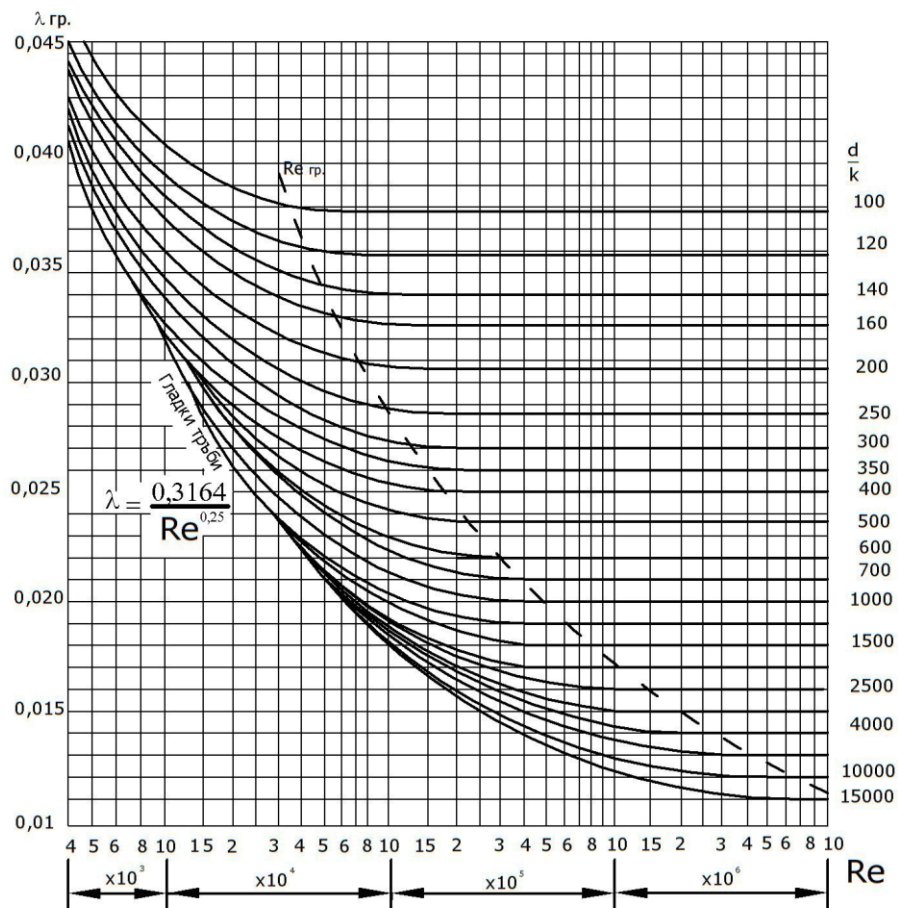
При случай на грапавост, която е различна по форма и големина за стоманени тръбопроводи може да се използва графиката на Мурин *фиг. 12.3*. На фигурата с прекъсната линия е показана границата между преходната и хидравлически грапавата област. Особеното в случая е, че преходът не става така внезапно както в опитите на Никурадзе.



*фиг. 12.2. Графика на Никурадзе за определяне на коефициента на линейно съпротивление*

Еквивалентна грапавост  $k$  на различни видове тръби и канали Табл. 12.1

Материал	Състояние на тръбата	$k$ , mm
Изтеглени тръби от стъкло, мед, месинг, бронз, алуминий и леки сплави, пластмаси и др	Нови технически гладки	0 до 0,0015
Изтеглени стоманени тръби	Нови	0,01 до 0,05
Заварени стоманени тръби	Нови Умерено ръждясали, леко корозирали Силно корозирали	0,05 до 0,10 0,15 до 0,2 до 3
Нитовани стоманени тръби	Според вида на нитовката	1 - 3
Галванизирани стоманени тръби	Нови	0,12 - 0,15
Чугунени тръби, включително и центробежно излят чугун (свързка чрез фланци и муфи)	Нови, измазани с цимент или асфалт Нови, неизмазани За ръждясали Силно ръждясали и корозирали	до 0,12 0,25 до 1,5 до 3
Дървени тръби	Нови (гладкостта се увеличава през време на експлоатацията)	0,2 - 1
Азбесто-циментови тръби (етернит и др.)	Нови	до 0,1
Бетонни тръби и канали	Нови: стоманобетон с грижливо загладена замазка Нови: центробежен бетон със загладена замазка Нови: без замазка Канали от стоманобетон със загладена замазка след дългогодишна експлоатация	до 0,15 0,15 0,2 - 0,8 0,2-0,3 и повече



фиг. 12.3. Графика на Мурин за определяне на коефициента на линейно съпротивление за стоманени тръби

Еквивалентна грапавост  $k$  на стоманени тръби

Таблица 12.2

Вид на тръбата	$k$ , mm
Нови изтеглени тръби	0,08-0,1
Изтеглени тръби със заварени съединения при незначителна корозия	0,2
Паропроводи за прегрята пара и водни топлопроводи при обезвъздушаване и химическо почистване на питателната вода	0,1
Паропровод за наситена пара и водни топлопроводи при незначителна утечка на водата (до 0,5%) и обезвъздушаване на питателната вода	0,2
Периодически работещи паропроводи и	0,5

кондензатопроводи с открита система за връщане на кондензата	
Въздухопроводи за сгъстен въздух от бутални и турбокомпресори	0,8
Кондензатопроводи, работещи периодически и водни топлопроводи без обезвъздушаване и химическо почистване на водата и при значителни утечки (до 3%)	1