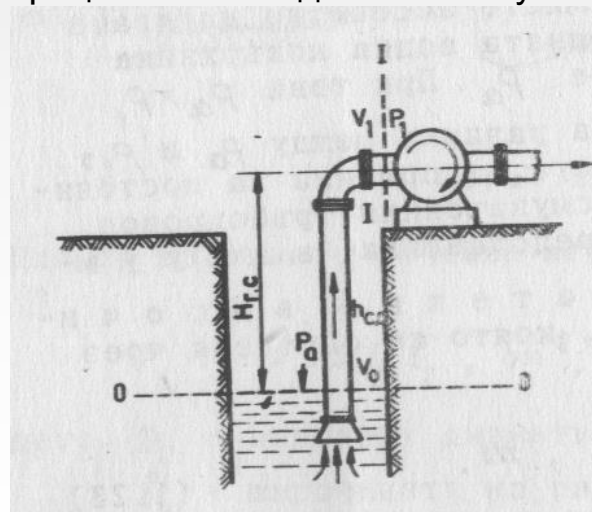


Въпрос 7

Смукателна височина, кавитация и
кавитационни характеристики

1) Смукателна височина на центробежна помпа

- Смукателната височина е строго ограничена от физическите закони.
 - Геодезична смукателна височина
 - Вакууметрична смукателна височина
- Геодезичната смукателна височина представлява разликата между котите на геометричния център на входната част на работното колело на центробежната помпа и свободното водно ниво в резервоара, от който черпи помпата.
 - Тази дефиниция важи за всички центробежни помпи – хоризонтални, вертикални, едностъпални и многостъпални
 - Геодезичната смукателна височина може да бъде положителна, равна на нула или отрицателна (в зависимост от котите). При отрицателна геодезична смукателна височина помпата е естествено залята.



1) Смукателна височина на центробежна помпа

- При работа на центробежна помпа – на входа на работното колело се получава вакуум, който създава на това място абсолютно налягане p_1 .
 - В същото време на свободната водна повърхност действа атмосферно налягане p_a
 - $p_a > p_1$
 - Тази разлика между p_a и p_1 е причината за придвижване на водата по смукателния тръбопровод и се нарича вакууметрична смукателна височина на центробежна помпа
- Вакууметрична смукателна височина на центробежна помпа:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_a - p_1}{\gamma}, \text{ m}$$

- Допустимата вакууметрична височина зависи от конструкцията на помпата и може да достигне до 8 m.
- Вакууметричната смукателна височина може да не бъде със същия знак, както геодезичната, особено когато съпротивленията в смукателната линия са достатъчно големи.

1) Смукателна височина на центробежна помпа

- Съществува зависимост между геодезичната и вакууметричната смукателна височина, която може да се изведе от уравнението на Бернули:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} = const$$

за сечение 0–0:

$$0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g}$$

за сечение I–I:

$$H_{ГС} + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_{cc},$$

където: $\frac{p_1}{\gamma}$ – абсолютен напор в смукателна тръба

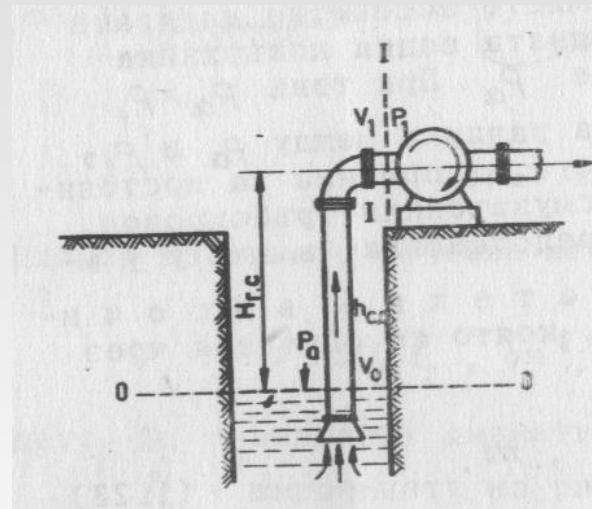
непосредствено до помпата, *m*

v_1 – скорост на водата на това място, *m/s*

$\frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g}$ – напорът от скоростта в смукателната тръба (I–I), *m*

$H_{ГС}$ – геодезична смукателна височина, *m*

h_{cc} – загуба на напор в смукателния тръбопровод вследствие на хидравлични съпротивления, *m*



1) Сдукателна височина на центробежна помпа

➤ Като се сравнят двата израза:

$$0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot g} = H_{ГС} + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_{cc}$$

$$H_{ГС} = \frac{p_a - p_1}{\gamma} - \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} - h_{cc}, m$$

, където :

$$\frac{p_a - p_1}{\gamma} = H_{\text{вак}} - \text{вакууметрична сдукателна височина, } m$$

$$\Rightarrow H_{ГС} = H_{\text{вак}} - \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} - h_{cc}, m$$

или :

$$H_{\text{вак}} = H_{ГС} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_{cc}, m$$

➡ Вакууметричната височина е сумата от геодез. сдукателна височина с нейния знак, от скоростното налягане при входа на помпата и от помпата и от напорните загуби в сдукателния тръбопровод.

1) Сдукателна височина на центробежна помпа


- Напорът вследствие на атмосферното налягане зависи от височината над морското равнище – колкото е по-голяма надморската височина, толкова е по-малко атмосферното налягане
- Производителите на помпи дават допустима вакууметрична сдукателна височина при атмосферно налягане 0,1 МРа (10,3 m воден стълб).
- Ако помпата се монтира на място, където атмосферното налягане се различава от (10,3 m) за избраната помпа трябва да се внесат поправки.
- Допустимата вакууметрична сдукателна височина се определя от:

$$H'_{\text{вак}} = H_{\text{вак}} - 10,3 + H_a, \text{ m}$$

$H_{\text{вак}}$ – допустима сдукателна височина по каталог, m

H_a – напорна височина от атмосферно налягане

в мястото на монтажа, m воден стълб




Височина над морското равнище, m	-600	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
Напор на наситените пари, m воден стълб	11,3	10,3	10,2	10,1	10	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,4

1) Смукателна височина на центробежна помпа

- Вакууметричната смукателна височина зависи и от температурата на изпомпваната вода
- При по-висока температура смукателната височина е по-малка
- В каталози на производители се дава за температура от 20° C
- При изпомпване на вода с друга температура геодезичната смукателна височина се дава с формулата:

$$H_{ГС} = H_{вак} - h_{сс} - \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} - h_{ен}, m$$

$h_{ен}$ – напор на водните пари в m воден стълб
при дадена температура на водата, m



Температура, C°	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Налягане на наситените пари, m воден стълб	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,02	3,17	4,82	7,14	10,35

1) Срукателна височина на центробежна помпа

- Загубите в срукателния тръбопровод h_{cc} се изчислява по формулата:

$$h_{cc} = J_{cm} \cdot L_{cm} + \sum \xi_{m.i} \cdot \frac{V_{cm}^2}{2 \cdot g}, m$$

$\sum \xi_{m.i} \cdot \frac{V_{cm}^2}{2 \cdot g}$ – загуби на напор от местни съпротивления

(срукателна решетка, обратна клапа, коляно и др.), m

v – скорост на водата в срукателния тръбопровод, m / s

L – дължина на срукателния тръбопровод, m

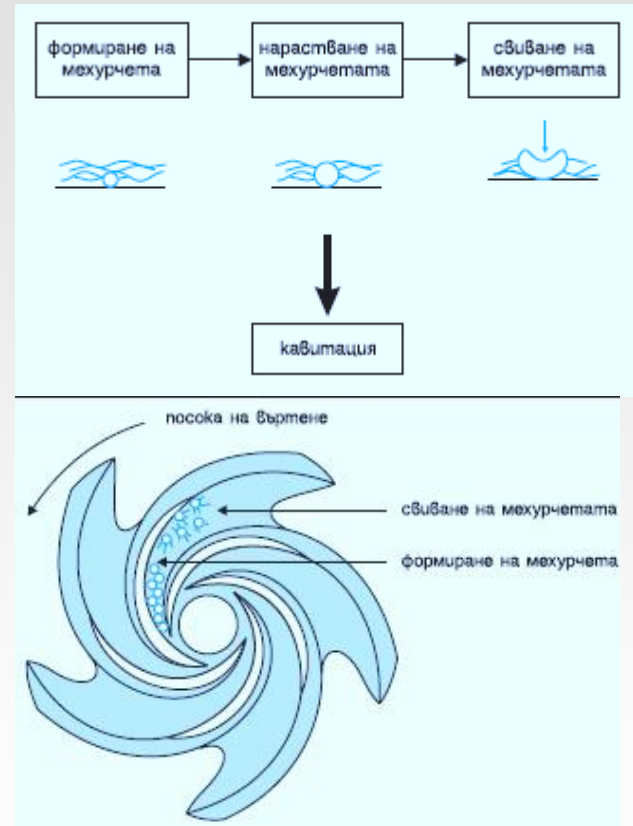
- Главно условие за нормална работа на центробежна помпа при наличие на положителна геодезична срукателна височина е да не се допусне кавитация
- Най-голямата допустима срукателна височина е тази, при която все още не се е появила кавитация.

2) Кавитация

- Когато налягането при входа на работното колело на центробежна помпа спадне под налягането на наситените водни пари при работна температура на водата, настъпва кавитация.
- Причини за понижение на налягането (кавитация) могат да бъдат:
 - Ниско атмосферно налягане, когато помпата е монтирана високо над морското равнище
 - Голямата вакууметрична смукателна височина (по-голяма от даден вид помпа)
 - Високата температура на препомпваната вода
 - Големи загуби на напор в смукателния тръбопровод
 - Големи загуби на напор в работното колело на помпата
- Кавитацията представлява комплекс от явления:
 - 1) Отделяне на пари и разтворени газове от водата в мястото, където налягането на течността не е равно на налягането на наситените ѝ пари.
 - 2) Увеличаване на скоростта на водата в мястото на възникване на парообразуване и хаотично движение на течността.
 - 3) на парните мехурчета, увлечени от водния поток в доведени в областта с повишено налягане.

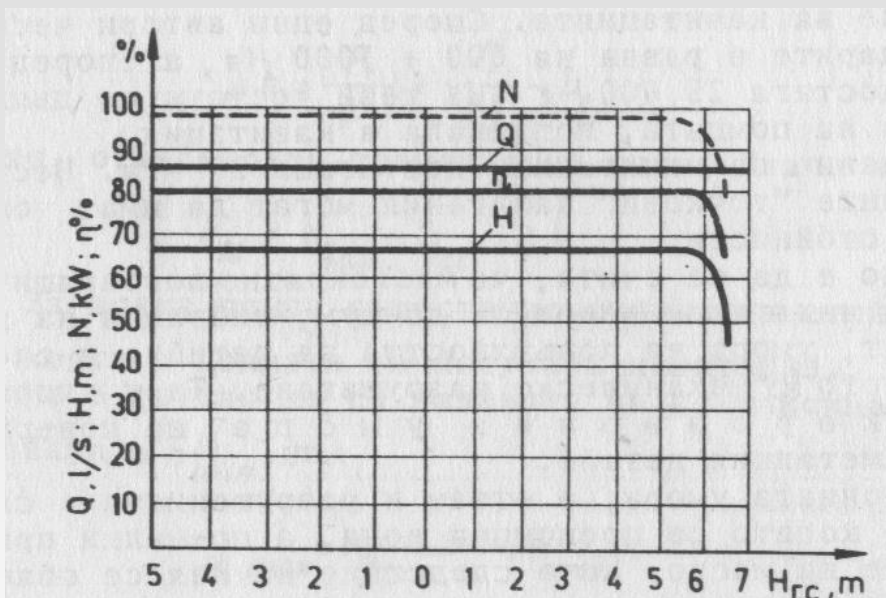
2) Кавитация

- 3) Кондензация на парните мехурчета: в този процес водата се движи ускорено към центровете на парните мехурчета. При пълната им кондензация настъпва сблъскване на течността, което предизвиква внезапно повишаване на налягането. Кондензацията на мехурчетата става, както в самата течност, така и по повърхността на стените на работното колело. Във втория случай ударите са по-силни и довеждат до механично разрушаване на стените на каналите и на лопатките на работното колело. Този процес се нарича ерозия и е най-опасното явление вследствие на кавитацията.
- 4) Химично разрушаване на метала в зоната на кавитацията от кислорода във въздуха, разтворен във водата и отделил се от нея при преминаването ѝ през зоната на понижено налягане. Този процес се нарича корозия.
 - Кавитация може да настъпи не само в работното колело, но и в направляващия апарат или в спиралната камера.
 - Под действие на кавитацията вследствие на ерозията и корозията повърхностите на частите на помпата се износват много бързо и от наносите.
 - Най-неустойчиви на кавитация са стоманата и чугунът, а най-устойчиви – неръждаема стомана и бронз.
 - Кавитацията намалява КПД, дебита и напора на помпата, като при продължителна кавитация помпата престава да работи.



2) Кавитационни характеристики

- Съставят се кавитационни характеристики (чрез изпитвания)



- Ясен показател за наличието на кавитация по време на експлоатация са генерирането на силни шумове, вибрации и нестабилна работа на помпата.
- Намаляване на кавитацията се постига чрез вкарване на въздух в смукателната тръба.
- Опитно се определя това количество въздух.
- Може да доведе до прекъсване на работата на помпата. Освен това засмукваният въздух намалява КПД.

2) Кавитационни характеристики

- Кавитационен запас (излишен смукателен напор)
 - За безкавитационна работа на центробежната помпа е необходимо налягането p_1 на входа ѝ да бъде по-голямо от критичното, т.е напора на наситените водни пари.

$$p_1 > p_{вп}$$

$$\Delta h = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \cdot g} - h_{вп},$$

или

$$H_{ГС} = H_{вак} - h_{сс} - \Delta h$$

- За всяка помпа съществува минимална стойност Δh_{\min} , под която в помпата се получава кавитация.

$$H_{ГС\max} = H_{вак} - h_{сс} - \Delta h_{\min}$$

- За оптимална смукателна геодезична височина се получава:

$$H_{ГС\opt} = H_{вак} - h_{сс} - \Delta h_{\opt}$$

$$\Delta h_{\opt} = \varphi \cdot \Delta h_{\min}$$

$$\varphi = 1,1 \div 1,5$$