

Міністерство освіти і науки України
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра «Експлуатації суднового електрообладнання
і засобів автоматики»

КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Методичні вказівки до практичних занять

для студентів спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт»
спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів
автоматики»

Комплексна автоматизація суднових технічних засобів. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики». Укл.: В.І. Цацко, А.Ю. Букарос. Одеса: ОНМУ, 2023. 18 с.

Укладачі:

Цацко В.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри "Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики"

Букарос А.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедри "Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики"

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики», протокол № 10-22/23 від 25.05.2023 року.

ВСТУП

Запропонуйте власні, отримані на протязі плавальної практики, або отримуйте у викладача вихідні варіанти завдань для розрахунку, які наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Геометричні розміри судна та трубопроводів осушувальної системи

Вар	Тип судна	$L, м$	$B, м$	$H, м$	$T, м$	$l_{TP}^*, м$	$l_{1-2}, м$	$l_{2-3}, м$	$l_{4-5}, м$	$Z_B, м$	$Z_H, м$
1	Універсальне суховантажне	96,0	14,5	5,0	3,5	14,5	60,0	5,5	17,0	0,8	2,5
2	Танкер-продуктовоз	140,0	32,2	18,2	12,6	15,4	14,2	4,0	22,0	1,0	10,4
3	Контейнеровоз	140,0	32,2	21,5	13,5	42,6	28,0	114,0	27,0	1,2	11,1
4	Навалювальне	142,0	32,3	19,5	14,1	24,7	11,0	158,0	25,0	1,1	12,1
5	Лісовоз	92,0	19,3	8,8	7,0	16,0	68,0	7,6	20,0	0,9	5,4
6	Універсальне суховантажне	120,0	29,8	15,0	10,5	27,5	122,0	9,4	22,0	1,1	8,4
7	Танкер-хімовоз	84,0	16,0	8,0	6,3	13,8	12,4	3,0	17,0	0,8	4,8
8	Контейнеровоз	132,0	32,2	18,8	12,0	28,4	4,0	133,0	24,0	1,1	9,7
9	Навалювальне	136,0	32,3	18,0	12,8	27,0	11,0	126,0	23,0	1,1	10,8
10	Танкер-продуктовоз	92,0	22,6	12,8	9,0	14,4	13,3	3,5	21,0	0,8	7,4
11	Універсальне суховантажне	118,0	28,4	14,2	10,0	24,5	118,0	9,6	22,0	1,1	8,0
12	Танкер-хімовоз	102,0	20,4	11,5	8,7	14,2	13,0	3,3	20,0	0,9	7,1
13	Контейнеровоз	118,0	29,8	16,4	10,2	28,4	28,0	92,0	22,0	1,1	8,1
14	Навалювальне	164,0	42,0	22,0	17,0	25,5	14,0	202,0	28,0	1,2	14,4
15	Універсальне суховантажне	120,0	24,0	13,0	9,0	20,0	104,0	8,8	21,0	0,9	7,4
16	Танкер	168,0	42,0	21,3	14,9	19,4	18,0	4,2	24,0	1,0	12,7
17	Контейнеровоз	102,0	22,6	11,8	8,0	21,4	33,0	59,0	21,0	0,9	6,3
18	Навалювальне	124,0	28,0	15,2	10,6	25,5	10,0	114,0	22,0	1,1	8,5
19	Комбіноване судно-майданчик/танкер	115,0	16,5	4,6	3,6	18,0	4,0	96,0	18,0	0,8	3,1
20	Універсальне суховантажне	108,0	16,7	5,5	4,8	60,0	45,0	12,0	18,0	0,8	3,5
21	Контейнеровоз	110,0	26,4	11,2	6,3	15,5	21,0	86,0	14,2	0,9	8,4
22	Навалювальне	126,0	32,2	15,6	10,2	11,2	18,2	96,0	13,5	0,9	7,4
23	Лісовоз	64,5	18,2	9,2	7,4	16,2	75,0	8,2	19,0	0,9	5,3
24	Танкер	102,0	26,0	15,2	10,3	14,3	12,0	5,1	16,0	0,9	7,1
25	Універсальне суховантажне	82,0	11,3	4,5	3,4	51,0	40,0	6,0	12,0	0,8	2,5

* - для танкерів мається у вигляді довжина машинного відділення l_{MB} .

У табл.. 2 наведені номери розрахункових схем згідно варіантів.

Таблиця 2

Розрахункові схеми осушувальних систем згідно варіантів завдання

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Схема	1	10	5	7	1	2	9	3	6	9	2	9	4	8	2	10	4	6	1	2	5	3	1	9	2

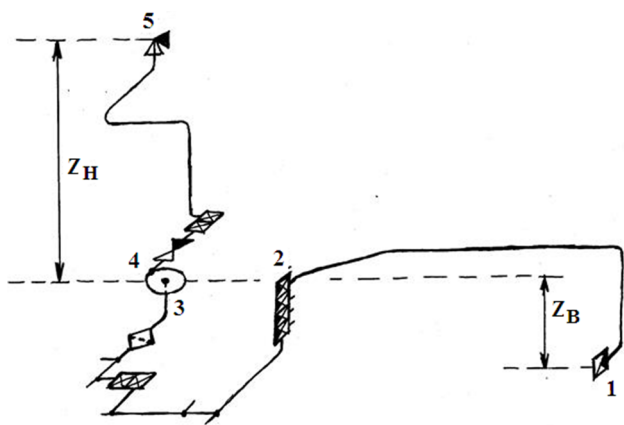


Схема 1

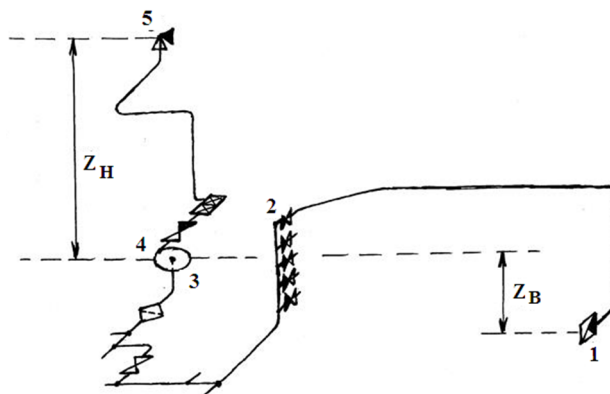


Схема 2

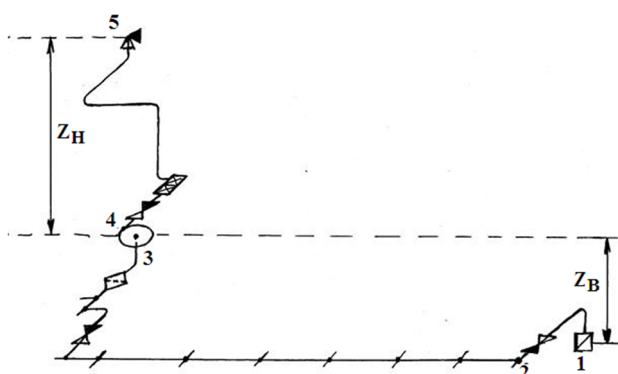


Схема 3

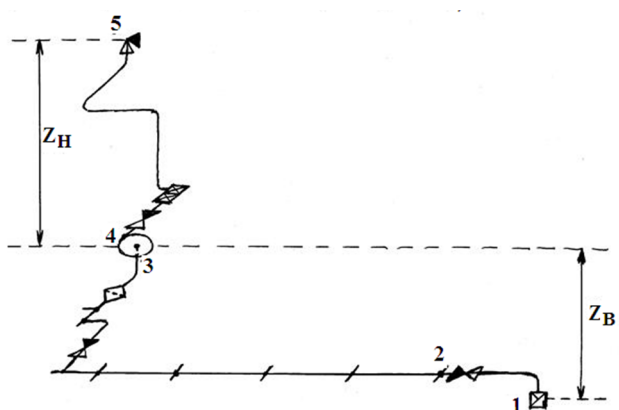


Схема 4

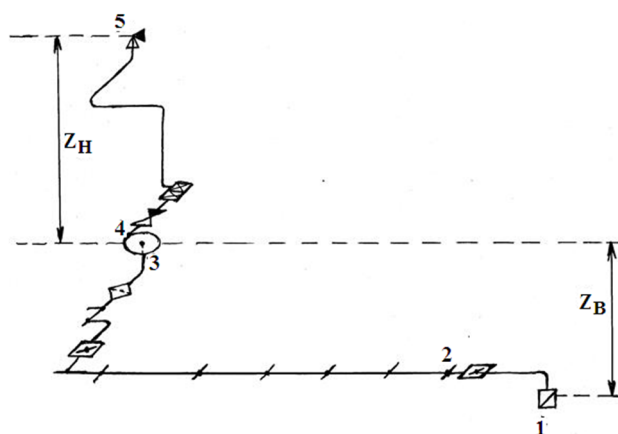


Схема 5

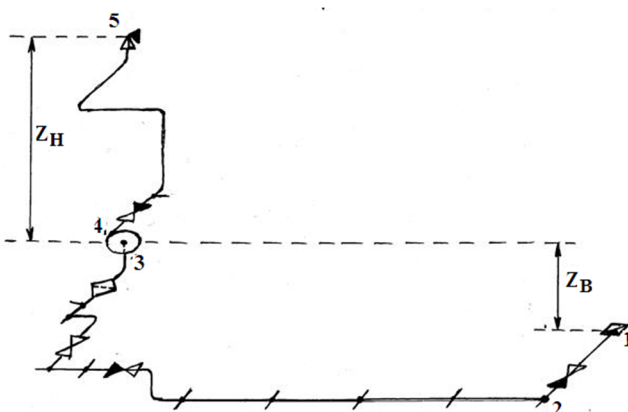


Схема 6

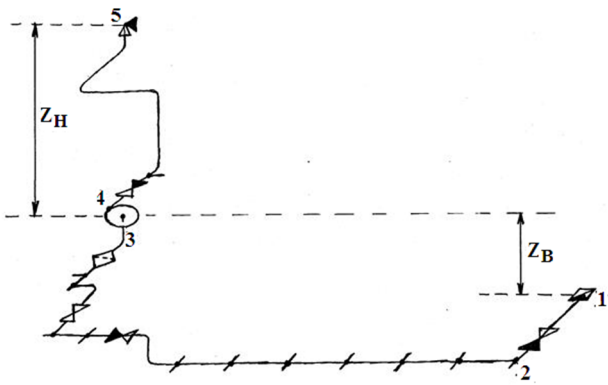


Схема 7

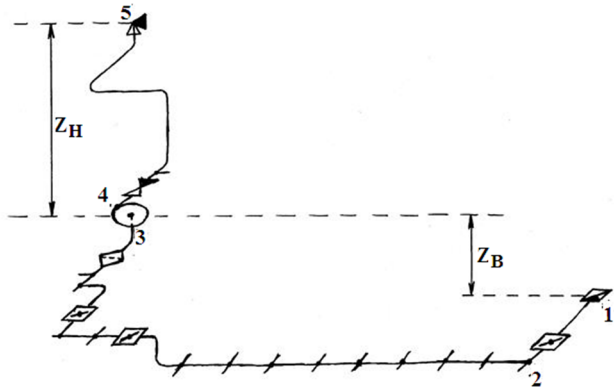


Схема 8

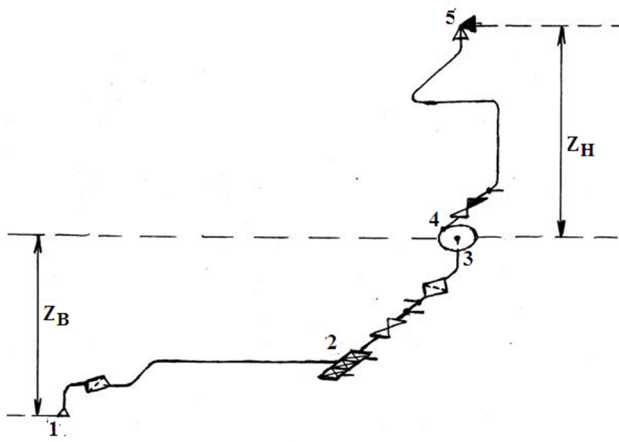


Схема 9

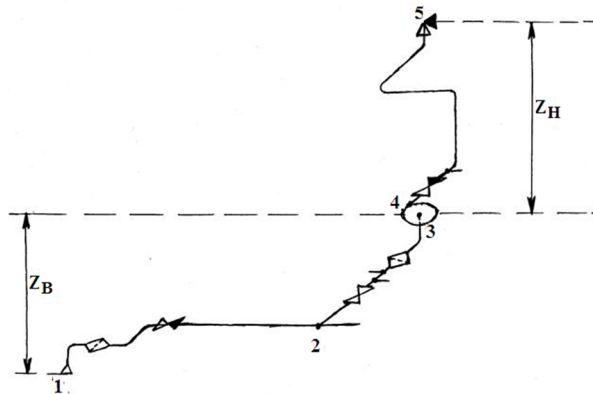


Схема 10

Завдання до практичної роботи

1. Провести розрахунок осушувальної системи:

- визначення діаметрів трубопроводів;
- вибір осушувального насосу;
- перевірка умови всмоктування для обраного насосу. (Студенти, що мають власні дані після плавальної практики перевіряють виконання вимог Регістру)

2. Скласти схему комплексної автоматизації осушувальної системи.

3. Описати правила технічної експлуатації отриманої осушувальної системи (трубопроводів, насосу, клапанів та іншого електрообладнання).

Нижче наведені розрахункові формули та приклади розрахунку осушувальних систем.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИМОГИ ДО ОСУШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

У нормальних умовах експлуатації судна в його приміщеннях накопичується трюмна вода, яка надходить через нещільності в трубопроводах, арматурі, зануреній частині корпусу, а також внаслідок конденсації водяної пари, миття настилів, промивання трубопроводів. Ця вода повинна своєчасно вилучатися за борт. Крім того, осушувальна система використовується для відкачування аварійної води, не заборонений водовідливною системою, або води, поданої на вогнище пожежі системою водогасіння. Осушувальною системою можна також видаляти залишки баластної води з диферентних цистерн або наповнювати цистерни у випадку якщо переміщення водяного баласту для зменшення диференту.

Кількість води, що відкачується, заздалегідь підрахувати практично неможливо, тому що трюмна вода накопичується в різних приміщеннях не однаково за один і той же час. Тому діаметри труб, швидкості води і продуктивність насосів визначають на підставі нормативних документів [9, 11].

На морських транспортних судах слід передбачати не менше двох осушувальних насосів з механічним приводом. Як осушувальні можуть застосовуватися незалежні баластні, санітарні насоси або насоси загальносуднового призначення достатньої продуктивності, причому на судах довжиною до 91,5 м в якості одного з осушувальних насосів може бути використаний насос з приводом від головного механізму або ежектор.

Осушувальні відцентрові насоси повинні мати або самостійне всмоктування або мати пристрій, що всмоктує повітря. Рекомендується установка одного з насосів поршневого типу. Кожен осушувальний насос повинен мати продуктивність, яка визначається з умови, щоб розрахункова швидкість води в приймальній магістралі, діаметр якої обчислюється за формулою (1.1), була не менше 2 м/с. Один з осушувальних насосів може бути замінений двома, загальна продуктивність яких повинна бути не менше зазначеної вище.

Внутрішній діаметр осушувальної магістралі або прийомних відростків, безпосередньо підключених до насоса, визначається за формулою

$$d_M = 1,68\sqrt{L(B + H)} + 25, \text{ мм}, \quad (1.1)$$

де L, B - довжина та ширина судна відповідно, м; H - висота борту, м.

Внутрішній діаметр прийомних відростків, приєднаних до магістралі

$$d_{ВД} = 2,15\sqrt{l(B + H)} + 25, \text{ мм}, \quad (1.2)$$

де l - довжина осушувального відсіку по його дну, м.

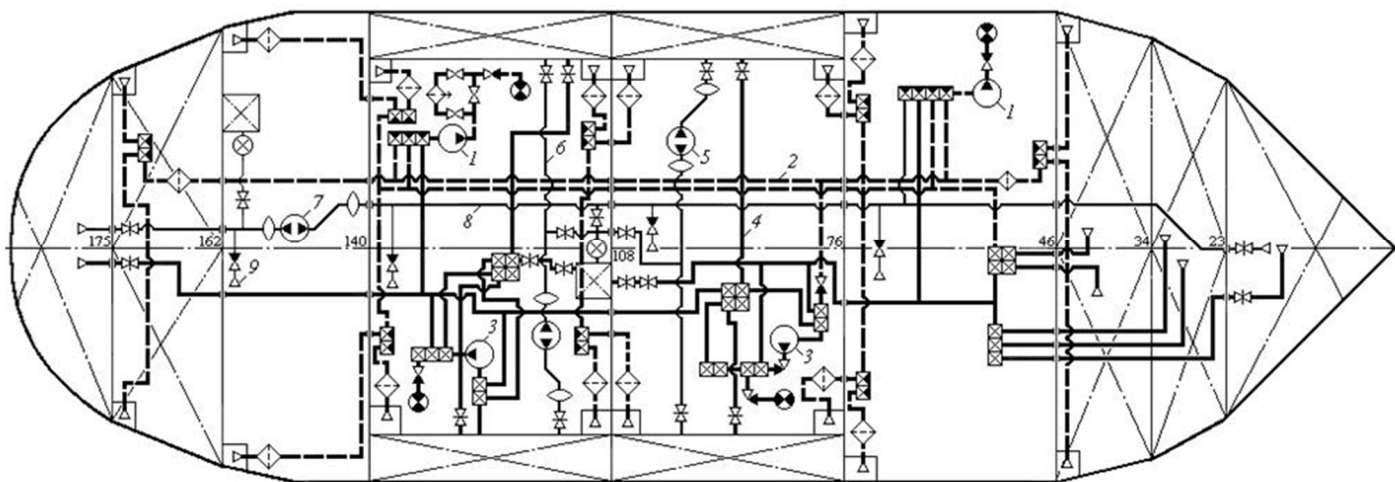


Рис.1.1. Принципові схеми осушувальної, баластної, кренової і диферентної системи
 1 – осушувальний насос; 2 – осушувальна магістраль; 3 – баластний насос;
 4 – баластний трубопровід; 5 – креновий насос; 6 – магістраль кренової системи;
 7 – диферентний насос; 8 – магістраль диферентної системи; 9 – приймач системи
 відливу води

Внутрішній діаметр магістралі і прийомних відростків повинен бути не менше 49 мм, але у всіх випадках він не повинен бути менше приймального патрубку осушувального насоса. Площа перерізу трубопроводу, який з'єднує розподільну приймальню коробку з магістраллю, повинна бути не менше сумарної площі двох найбільших відростків, приєднаних до цієї коробки, але не більше площі перетину магістрального трубопроводу.

На танкерах, де осушувальні насоси призначені для осушення тільки машинних відділень, площа перетину осушувальної магістралі повинна бути не менше подвоєної площі перетину відростка, діаметр якого визначається за формулою (1.2).

Розташування осушувальних трубопроводів і їх відростків має бути таким, щоб забезпечувалася можливість осушення будь-якого водонепроникного відсіку будь-яким з насосів. Система повинна бути влаштована так, щоб виключалася можливість надходження забортної води всередину судна, а також води з одного водонепроникного відсіку в інший. Для цього прийомні клапани розподільних коробок і клапани на прийомних відростках від магістралі повинні бути безповоротно-запірного типу. Кожен незалежний осушувальний насос повинен мати свій прийомний відросток з відсіку, де він знаходиться. Більше двох таких відростків з одного відсіку не потрібно. При цьому вони повинні розташовуватися по бортах, а діаметр визначається за формулою (1.2).

Осушна система дозволяє відкачувати трюмні води з різних відсіків незалежними трубопроводами, прокладеними поза міждонних простору, осушувати машинні і котельні приміщення окремо від трюмів. Трюмна вода повинна концентруватися в льялах і збірних колодязях, що встановлюються в міждонному просторі у вигляді вкладних кишень. Днище збірного колодязя повинно відстояти від основної лінії корпусу не менше, ніж на 460 мм. Обсяг колодязя повинен бути достатнім для

розміщення в ньому води, що зливається з приймальні осушувальної труби після припинення дії системи. Приймачі повинні бути розташовані так, щоб забезпечувати осушення відсіку або його водонепроникною частини як в прямому положенні судна, так і при нахилі до 15 ° на будь-який борт і диференті до 5 °. Усмоктувальні кінці прийомних відростків постачають сітками з отворами 8 ÷ 10 мм, загальною площею живого перерізу не менше потроєної площі поперечного перерізу приймальні труби. Прийомні сітки повинні легко демонтуватися або мати кришки для можливості очищення їх від бруду. Безпосередньо перед насосами встановлюються грязьові коробки. Залежно від типу і розміром судна, кількості машинно-котельних відділень, роду вантажів, що перевозяться осушувальну систему виконують з централізованого або децентралізованого принципу. Трубопроводи виготовляють із сталевих труб або труб з антикорозійним покриттям, арматуру - з бронзи (латуні) або зі сталі.

2. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ОСУШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

2.1. МЕТА РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ

Метою розрахунку системи є:

- визначення діаметрів трубопроводів;
- вибір осушувального насоса;
- перевірка умови всмоктування для обраного насоса.

2.2. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ І РОЗРАХУНКОВІ ФОРМУЛИ.

2.2.1. Попередній розрахунок внутрішнього діаметра осушувальної магістралі здійснюється за формулою:

$$d_M = 1,68\sqrt{L(B + H)} + 25, \text{мм}, \quad (2.1)$$

де L і B - довжина і ширина судна відповідно, м; H - висота борту, м. З сортаменту труб обирається трубопровід з найближчим більшим діаметром.

Приклад: Параметри судна: довжина L = 96,4 м, ширина B = 14,4 м, висота борту H = 7,9 м.

$$d_M = 1,68\sqrt{14(14,4 + 7,9)} + 25 = 103 \text{мм}.$$

Вибираємо з сортаменту сталевих безшовних труб трубу із зовнішнім діаметром 108 мм і товщиною стінки 4,5 мм (108х4,5), умовний прохід Ду100.

2.2.2. Попередній розрахунок внутрішнього діаметра приймальних відростків, приєднаних до магістралі, здійснюється за формулою:

$$d_{ВД} = 2,15\sqrt{l(B + H)} + 25, \text{мм}, \quad (2.2)$$

де l - довжина осушувального відсіку по його дну, м. З сортаменту труб вибирається трубопровід з найближчим більшим діаметром.

Приклад: Довжина осушувального відсіку по днищу $l = 14$ м.

$$d_{ВІД} = 2,15\sqrt{14(14,4 + 7,9)} + 25 = 63 \text{ мм}.$$

Вибираємо з сортаменту сталевих безшовних труб трубу із зовнішнім діаметром 76 мм і товщиною стінки 3,5 мм (76х3,5), умовний прохід Ду70.

Примітка: На нафтоналивних судах, на яких осушувальні насоси призначені для осушення тільки машинного відділення, згідно з Правилами реєстра площа перетину осушувальної магістралі повинна бути не менше подвоєної площі перетину прийомних відростків, яка визначається за формулою

$$d_{MB} = 2,15\sqrt{l_{MB}(B + H)} + 25, \text{ мм}, \quad (2.3)$$

де l_{MB} - довжина машинного відділення.

$$S_M = 2S_{ВІД}; \frac{\pi d_M^2}{4} = \frac{\pi d_{ВІД}^2}{4}, \quad (2.4)$$

звідки

$$d_M = \sqrt{2} d_{ВІД}. \quad (2.5)$$

Приклад: Ширина танкера $B = 32$ м, висота борту $H = 17$ м, довжина машинного відділення танкера $l_{MB} = 21$ м.

Розраховуємо діаметр прийомних відростків:

$$d_{ВІД} = 2,15\sqrt{21(32 + 17)} + 25 = 94 \text{ мм}$$

вибираємо трубопровід 108х4,5, умовний прохід Ду100, тобто $d_{ВІД} = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$.

Тоді діаметр магістралі:

$$d_M = \sqrt{2} \cdot 0,1 = 0,141 \text{ м}.$$

Вибираємо з сортаменту сталевих безшовних труб трубу із зовнішнім діаметром 159 мм і товщиною стінки 4,5 мм, умовний прохід Ду150 (найближчий більший діаметр).

2.2.3. Розраховуємо подачу і здійснюємо вибір осушувального насоса. Згідно з Правилами Регістра, кожен осушувальний насос повинен мати подачу не менше тієї, що визначається за формулою:

$$Q = 5,65 \cdot 10^{-3} d_M^2, \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (2.6)$$

З ряду існуючих насосів вибирається насос з найближчої більшою подачею.

Приклад: Діаметр осушувальної магістралі $d_M = 100$ мм. Тоді розрахункова подача осушувального насоса:

$$Q = 5,65 \cdot 10^{-3} 100^2, = 56,5 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Вибираємо насос НЦВС 63/ 20М - насос відцентровий вертикальний зі самостійним всмоктуванням, з наступними параметрами: подача $63 \text{ м}^3 / \text{год}$, напір 20 м, потужність 6,6 кВт. Тоді подача $Q = 63 \text{ м}^3 / \text{год} = 0,0175 \text{ м}^3 / \text{с}$.

2.2.4. Перевіряємо швидкість в трубопроводах системи. Згідно РД 5.5270-85 «Системи трюмні і баластні суднові. Правила і норми проектування», швидкість в нагнітальній магістралі не повинна перевищувати 3,25 м/с. Якщо умова не виконується, слід взяти найближчий більший стандартний діаметр трубопроводу і знову провести перевірку швидкості, і так до тих пір, поки умова не буде виконуватися. На нагнітальну магістраль ця умова не поширюється, для неї перевірка не виконується - діаметр нагнітальної магістралі приймається рівним діаметру нагнітального патрубку насоса.

Приклад: Діаметр осушувальної магістралі $d_M = 100$ мм, діаметр відростка $d_{ВД} = 65$ мм, подача насоса $Q = 63 \text{ м}^3 / \text{год} = 0,0175 \text{ м}^3 / \text{с}$. Тоді швидкість в трубопроводах:

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

$$v_M = \frac{4 \cdot 0,0175}{\pi(0,1)^2} = 2,23 \text{ м/с} - \text{умова для магістралі виконується.}$$

$$v_{ВД} = \frac{4 \cdot 0,0175}{\pi(0,07)^2} = 4,54 \text{ м/с} - \text{умова для відростка не виконується.}$$

Слід збільшити діаметр відростка. Вибираємо з сортаменту сталевих безшовних труб трубу із зовнішнім діаметром 89 мм і товщиною стінки 4,5 мм (89х4,5), умовний прохід Ду80.

$$v_{ВД} = \frac{4 \cdot 0,0175}{\pi(0,08)^2} = 3,48 \text{ м/с} - \text{умова для відростка не виконується.}$$

Приймаємо наступний більший діаметр відростка - трубу із зовнішнім діаметром 108 мм і товщиною стінки 4,5 мм (108х4,5), умовний прохід Ду100, як і для магістралі. Умова для цього трубопроводу виконується.

2.2.5. Для перевірки умов роботи насоса в системі розраховуємо втрати напору в трубопроводах системи. Згідно РД 5.76.038-84 «Методика гідравлічних розрахунків судових розгалужених трубопроводів», розрахунок всмоктувальної магістралі проводиться для самого віддаленого від насоса приймального відростка. Розрахунок всмоктувальної і нагнітальної магістралі проводиться окремо. При цьому магістраль розбивається на розрахункові ділянки з постійною витратою і параметрами середовища (щільність, в'язкість).

Для кожної ділянки послідовно розраховуються:

- Швидкість течії середовища:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (2.7)$$

де Q - витрата на ділянці, $\text{м}^3 / \text{с}$; d - діаметр трубопроводів на ділянці, м.

- Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (2.8)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, $\text{м}^2 / \text{с}$.

- Коефіцієнт тертя λ . Залежно від отриманого значення числа Рейнольдса для розрахунку коефіцієнта тертя можна застосовувати такі формули:

В інтервалі $4000 < Re < 3 \times 10^6$ - формула Кольбрука;

$$\lambda = (1,8 \lg Re - 1,52)^{-2}.$$

- Коефіцієнти місцевих опорів ξ_M , що містяться на ділянці.

Для входу в трубу коефіцієнт втрат $\xi = 0,5$; для виходу з труби в простір, який заповнений рідиною, $\xi = 1$.

- Коефіцієнт втрат для закругленого коліна (відведення) розраховується за формулою:

$$\xi = \xi_M + \xi_{TP} = A_1 B_1 C_1 + 0,0175 \frac{R_0}{d} \delta \lambda,$$

де R_0 - радіус заокруглення труби, м; d - діаметр труби, м; λ - коефіцієнт тертя трубопроводу; δ - кут вигину труби, $^\circ$; A_1 - коефіцієнт, що залежить від кута δ (для $70^\circ < \delta < 100^\circ$ коефіцієнт $A_1 = 1$; для $\delta < 70^\circ$ коефіцієнт A_1 розраховується за формулою: $A_1 = 0,9 \sin \delta$ [РД 5.76.038-84, стор. 163].); B_1 - коефіцієнт, що залежить від відношення

R_0/d (при $R_0/d > 1$ $B_1 = \frac{0,21}{\sqrt{R_0/d}}$); C_1 - коефіцієнт, що враховує витягнутість

поперечного перерізу трубопроводу (для труб круглого перетину $C_1 = 1$). Згідно з Правилами РМРС, ставлення R_0/d приймають рівним 2,5. Коефіцієнти втрат для трійників, клапанів, клапанних коробок, фільтрів, грязьових коробок та інших елементів можуть бути визначені за допомогою «Довідника по гідравлічним опорам» І.С. Ідельчика і РД 5.76.038-84 «Методика гідравлічних розрахунків суднових розгалужених трубопроводів».

- Повний коефіцієнт втрат на ділянці:

$$\xi = \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi_M,$$

де l - довжина прямих труб на ділянці, м; d - діаметр труб на ділянці, м; λ - коефіцієнт тертя на ділянці; $\Sigma \xi_M$ - сума коефіцієнтів втрат всіх місцевих опорів на ділянці.

- Втрата напору на ділянці:

$$\Delta h = \xi \frac{v^2}{2g}, \text{ м,}$$

де ξ - повний коефіцієнт втрат на ділянці; v - швидкість течії середовища на ділянці, м / с.

Після розрахунку всіх ділянок визначаємо повну втрату напору в системі:

$$\Delta h = \Delta h_{ВСМ} + \Delta h_{НАГН},$$

де $\Delta h_{ВСМ}$ - втрата напору у всмоктувальній магістралі, $\Delta h_{НАГН}$ - втрата напору на нагнітальній магістралі.

Приклад: Зробимо розрахунок для системи, розрахункова схема якої представлена на рис. 2.1. Вважаємо, що насос відкачує воду з найбільш віддаленого трюму. При розрахунку нагнітальної магістралі вважаємо, що відкачка відбувається через

сепаратор трюмних вод 6. Таким чином, розрахункова магістраль представляється лінією 1-2-3-4-5-6-7-8.

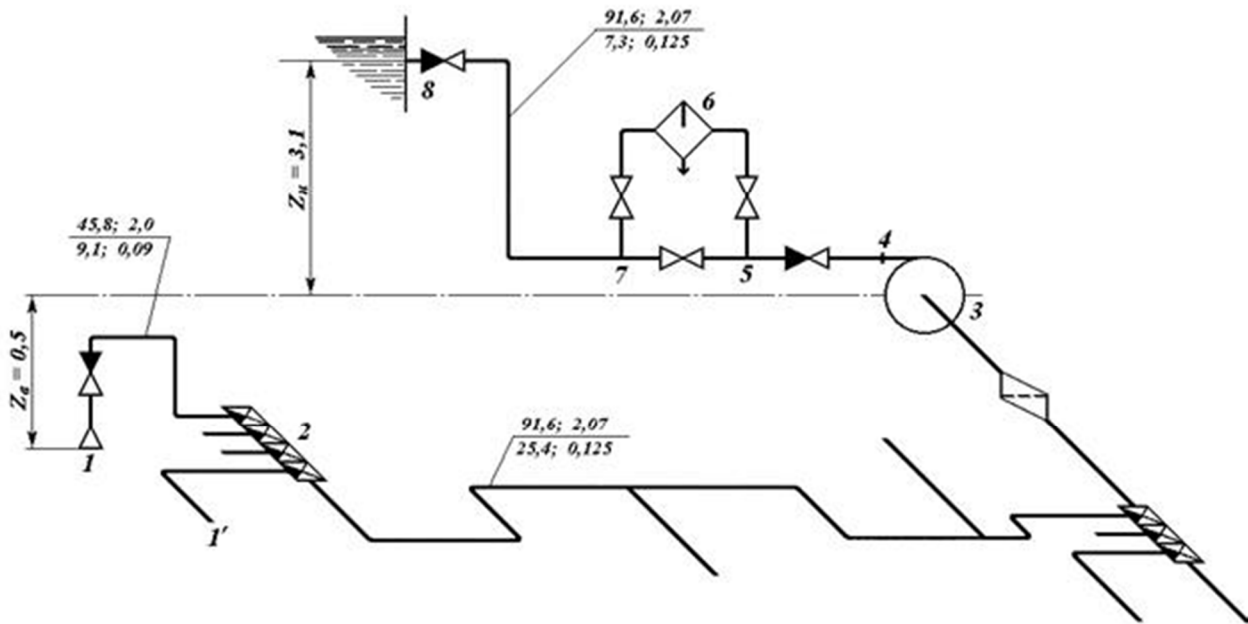


Рис. 2.1. Розрахункова магістраль сушильної системи

Розрахунок ділянки 1-2 (приймальний відросток).

Витрата води на ділянці:

$$Q_{1-2} = 0,0175 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Діаметр трубопроводу прийомного відростка $d_{1-2} = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$. Тоді швидкість води в трубопроводі:

$$v_{1-2} = \frac{4 \cdot 0,0175}{\pi(0,1)^2} = 2,23 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості води при температурі 15°C складає $\nu = 1,14 \times 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$, тоді число Рейнольдса:

$$Re_{1-2} = \frac{2,23 \cdot 0,1}{1,14 \cdot 10^{-6}} = 195614.$$

Отримане значення вкладається в інтервал ($4000 < Re < 3 \times 10^6$), на якому для розрахунку коефіцієнта тертя трубопроводу λ_1 може бути використана формула Кольбука:

$$\lambda_{1-2} = (1,8 \lg(195614) - 1,52)^{-2} = 0,0156.$$

На ділянці 1-2 присутні наступні місцеві опори: вхід в трубу з приймальні сіткою (коефіцієнт втрат ξ_1), безповоротний клапан (коефіцієнт втрат ξ_2), три відведення з кутом $\delta = 90^\circ$ (коефіцієнт втрат ξ_3), коробка з чотирьох клапанів незворотно-запірна (коефіцієнт втрат ξ_4).

Для входу в трубу коефіцієнт втрат $\xi_1 = 0,5$.

Для безповоротного клапана при $Dy100$ коефіцієнт втрат $\xi_2 = 4,8$ [РД 5.76.038-84, с. 219].

Коефіцієнт втрат відведення:

$$\xi_3 = A_1 B_1 C_1 + 0,0175 \frac{R_0}{d_{1-2}} \delta \lambda_{1-2}.$$

Для відводу з кутом $\delta = 90^0$:

$$\frac{R_0}{d} = 2,5; \delta = 90^0; A_1 = 1; B_1 = \frac{0,21}{\sqrt{R_0/d}} = 0,0132; C_1 = 1.$$

Тоді коефіцієнт втрат для відводу дорівнює:

$$\xi_3 = 0,132 + 0,0175 \cdot 2,5 \cdot 0,0156 \cdot 90^0 = 0,197.$$

Коефіцієнт втрат коробки з чотирьох незворотно-запірних клапанів $\xi_4 = 5$.

Довжина прямих труб на ділянці $l_{1-2} = 9,1 \text{ м}$.

Тоді повний коефіцієнт втрат для ділянки I-II дорівнює:

$$\xi_{1-2} = \lambda_{1-2} \frac{l_{1-2}}{d_{1-2}} + \xi_1 + \xi_2 + 3\xi_3 + \xi_4.$$

$$\xi_{1-2} = 0,01561 + 0,5 + 4,6 + 3 \cdot 0,197 + 5 = 13,015.$$

Втрата напору на ділянці 1-2 дорівнює:

$$\Delta h_{1-2} = 13,015 \frac{2,23^2}{2 \cdot 9,81} = 4,21 \text{ м}.$$

Розрахунок ділянки 2-3.

Витрата на ділянці $Q = 0,0175 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Швидкість води в трубопроводі:

$$v_{2-3} = \frac{4 \cdot 0,0175}{\pi (0,1)^2} = 2,23 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса:

$$Re_{2-3} = \frac{2,23 \cdot 0,1}{1,14 \cdot 10^{-6}} = 195614.$$

Отримане значення вкладається в інтервал ($4000 < Re < 3 \times 10^6$), на якому для розрахунку коефіцієнта тертя трубопроводу λ може бути використана формула Кольбрука:

$$\lambda_{2-3} = (1,8 \lg(195614) - 1,52)^{-2} = 0,0156.$$

На ділянці 2-3 присутні наступні місцеві опори: сім відводів з кутом $\delta = 90^0$ (коефіцієнт втрат ξ_3), коробка з трьох клапанів (коефіцієнт втрат ξ_4), два трійника на прохід (коефіцієнт втрат ξ_5), фільтр (грязьова коробка) (коефіцієнт втрат ξ_6).

Коефіцієнт втрат відведення:

$$\xi_3 = \xi_M + \xi_{TP} = A_1 B_1 C_1 + 0,0175 \frac{R_0}{d} \delta \lambda_{2-3}$$

Для відводу з кутом $\delta = 90^0$:

$$\frac{R_0}{d} = 2,5; \delta = 90^0; A_1 = 1; B_1 = \frac{0,21}{\sqrt{R_0/d}} = 0,0132; C_1 = 1.$$

Тоді коефіцієнт втрат відведення дорівнює:

$$\xi_3 = 0,132 + 0,0175 \cdot 2,5 \cdot 0,0156 \cdot 90^0 = 0,197.$$

Для коробки з трьох клапанів при $Dy100$ $\xi_4 = 2,3$.

Для трійника на прохід коефіцієнт втрат при $Re > 10^4$ може бути розрахований за формулою [РД 5.76.038-84, с. 217]:

$$\xi_5 = \frac{12,4}{Re^{0,294}} = \frac{12,4}{(195614)^{0,294}} = 0,345.$$

Для грязьової коробки коефіцієнт втрат $\xi_6 = 0,7$.

Довжина прямих труб на ділянці $l_{2-3} = 25,4$ м.

Тоді повний коефіцієнт втрат для ділянки 2-3 дорівнює:

$$\xi_{2-3} = \lambda_{2-3} \frac{l_{2-3}}{d_{2-3}} + 7\xi_3 + \xi_4 + 2\xi_5 + \xi_6.$$

$$\xi_{2-3} = 0,0156 \frac{25,4}{0,1} + 7 \cdot 0,197 + 2,3 + 2 \cdot 0,345 + 2,2 = 10,522.$$

Втрата напору на ділянці 2-3 дорівнює:

$$\Delta h_{2-3} = 10,522 \frac{2,23^2}{2 \cdot 9,81} = 2,67 \text{ м}.$$

Сумарна втрата напору на всмоктувальній магістралі:

$$\Delta h_{BCM} = \Delta h_{1-2} + \Delta h_{2-3} = 4,21 + 2,67 = 6,88 \text{ м}.$$

Розрахунок нагнітальної магістралі (ділянка 4-8).

Витрата води на ділянці:

$$Q_{4-8} = 0,0175 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Тоді швидкість води в трубопроводі:

$$v_{4-8} = \frac{4 \cdot 0,0175}{\pi(0,1)^2} = 2,23 \text{ м} / \text{с}$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості води при температурі 15°C складає $\nu = 1,14 \times 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$, тоді число Рейнольдса:

$$Re_{4-8} = \frac{2,23 \cdot 0,1}{1,14 \cdot 10^{-6}} = 195614$$

Отримане значення вкладається в інтервал ($4000 < Re < 3 \times 10^6$), на якому для розрахунку коефіцієнта тертя трубопроводу λ може бути використана формула Кольбрука:

$$\lambda_{4-8} = (1,8 \lg(195614) - 1,52)^{-2} = 0,0156.$$

На ділянці 4-8 присутні наступні місцеві опори: чотири відведення з кутом $\delta = 90^\circ$ (коефіцієнт втрат ξ_3), два трійника на поворот (коефіцієнт втрат ξ_7), два клапана прохідних зворотно-запірних (коефіцієнт втрат ξ_8), два клапана прохідних запірних (коефіцієнт втрат ξ_9), сепаратор трюмних вод (коефіцієнт втрат ξ_{10}).

Коефіцієнт втрат відведення:

$$\xi_3 = \xi_M + \xi_{TP} = A_1 B_1 C_1 + 0,0175 \frac{R_0}{d} \delta \lambda_{4-8}$$

Для відводу з кутом $\delta = 90^\circ$:

$$\frac{R_0}{d} = 2,5; \delta = 90^\circ; A_1 = 1; B_1 = \frac{0,21}{\sqrt{R_0/d}} = 0,0132; C_1 = 1.$$

Тоді коефіцієнт втрат відведення дорівнює:

$$\xi_3 = 0,132 + 0,0175 \cdot 2,5 \cdot 0,0156 \cdot 90^0 = 0,197.$$

Для трійника на поворот коефіцієнт втрат $\xi_7 = 1,2$ [РД 5.76.038-84, с. 191].

Для клапана прохідного вороття-запірного при Ду100 коефіцієнт втрат $\xi_8 = 4,8$ [РД 5.76.038-84, с. 221].

Для клапана прохідного запірного при Ду100 коефіцієнт втрат $\xi_9 = 4,8$ [РД 5.76.038-84, с. 226].

Для сепаратора трюмних вод коефіцієнт втрат $\xi_{10} = 15$ [Александров А.В., «Суднові системи», с. 135].

Довжина прямих труб на ділянці $l_{4-8} = 7,3$ м.

Тоді повний коефіцієнт втрат для ділянки 4-8 дорівнює:

$$\xi_{4-8} = \lambda_{4-8} \frac{l_{4-8}}{d_{4-8}} + 4\xi_3 + 2\xi_7 + 2\xi_8 + 2\xi_9 + \xi_{10}$$

$$\xi_{4-8} = 0,0156 \frac{7,3}{0,1} + 4 \cdot 0,197 + 2 \cdot 2,12 + 2 \cdot 4,8 + 2 \cdot 4,8 + 15 = 38,544$$

Втрата напору на нагнітальній магістралі:

$$\Delta h_{НАГН} = \Delta h_{4-8} = \xi_{4-8} \frac{v_{4-8}^2}{2g}.$$

$$\Delta h_{НАГН} = 38,544 \frac{2,13^2}{2 \cdot 9,81} = 8,91 \text{ м.}$$

Повна втрата напору в системі:

$$\Delta h = \Delta h_{ВСМ} + \Delta h_{НАГН}.$$

3.2.5. Будуємо характеристику мережі. Рівняння повної характеристики трубопроводу можна представити у вигляді:

$$H_C = H_{СТ} + kQ^2,$$

де: $H_{СТ}$ - статичний напір:

$$H_{СТ} = Z_H + Z_B,$$

де $Z_H + Z_B$ - різниця висот рівнів, на яких знаходяться приймальний і відливний патрубки; $kQ^2 = \Delta h$ - втрати напору в трубопроводах системи.

Тоді коефіцієнт k :

$$k = \frac{\Delta h}{Q^2}.$$

За знайденим значенням k і $H_{СТ}$ за допомогою рівняння характеристики мережі знаходимо значення H_C для 6 - 10 значень витрати Q (починаючи з 0). Значення зводяться в таблицю, на підставі якої будується графік залежності $H_C = f(Q)$.

При цьому повинна бути виконана перша умова узгодження системи і насоса: робоча точка повинна укладатися в робочий діапазон насоса, вказаний на характеристиці. Причому чим ближче до номінального значення подачі, тим краще.

Приклад: $Z_B = 0,5$ м; $Z_H = 3,1$ м. Статичний напір: $H_{СТ} = 3,1 + 0,5 = 3,6$ м

$Q = 63 \text{ м}^3 / \text{год}$; $Dh = 15,57$ м. Знайдемо коефіцієнт k : $k = \frac{15,57}{63^2} = 0,004325$.

За допомогою рівняння характеристики мережі знаходимо значення H_C при різних значеннях Q і заносимо в табл. 2.1.

Залежність H_C від витрати Q

$Q, \text{м}^3 / \text{год}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$H_C, \text{м}$	3,6	4,03	5,33	7,49	10,52	14,41	19,17	24,79	31,28

За даними табл.2.1 будуюмо характеристику мережі (рис. 2.2)

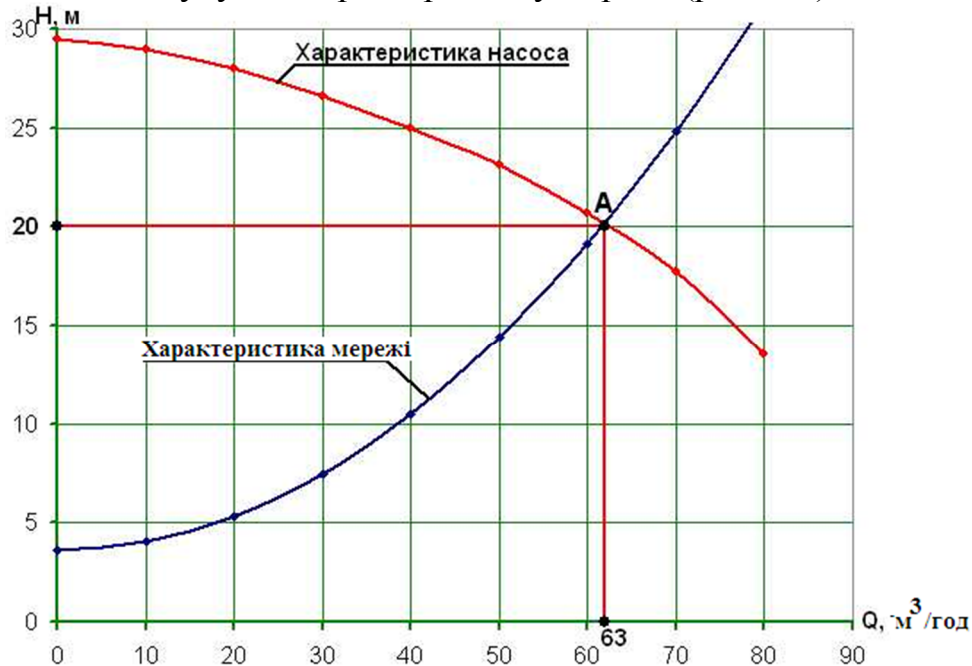


Рис.2.2. Поєднання характеристик мережі і насоса

Накладемо характеристику обраного насоса НЦВС-63/20М на отриману раніше характеристику мережі (рис. 2.2). На перетині характеристик знаходиться робоча точка А системи, параметри в даній точці: $Q_z = Q_n = 63 \text{ м}^3/\text{год}$; $H_C = H_H = 20 \text{ м}$.

Примітка: Дії при невиконанні першої умови узгодження системи і насоса. Якщо робоча точка виходить за ліву межу робочого діапазону насоса, потрібно зменшити втрати напору, збільшивши діаметр трубопроводів до наступного більшого стандартного значення. Якщо ж робоча точка виходить за праву межу робочого діапазону насоса або знаходиться дуже близько до його кордону, слід ввести додатковий опір на нагнітальній магістралі. Величина цього додаткового опору знаходиться графічно - проводимо перпендикуляр від значення номінальної подачі до характеристики насоса, і знаходимо значення $\Delta h_{\text{дод}}$ від точки перетину цієї лінії з характеристикою системи до точки перетину з характеристикою насоса. Цю додаткову втрату додаємо до втрати на нагнітальній магістралі, і по оновленим даними знову будуюмо характеристику мережі.

3.2.6. Здійснюємо перевірку другого умови узгодження насоса і системи - умови всмоктування. Для цього будуюмо окремо характеристику всмоктувальної магістралі. Рівняння характеристики:

$$H_{BCM} = Z_B + k_{BCM} Q^2,$$

$kQ^2 = \Delta h_{BCM}$ - втрати напору у всмоктувальній магістралі.

Знаходимо коефіцієнт $k_{BCM} : k_{BCM} = \frac{\Delta h_{BCM}}{Q^2}$.

За знайденими значеннями k_{BCM} і Z_B за допомогою рівняння характеристики всмоктувальної магістралі знаходимо значення H_{BCM} для 6 - 10 значень витрати Q (починаючи з 0). Значення зводяться в таблицю, на підставі якої будується графік залежності $H_{BCM}=f(Q)$. Умова всмоктування виконується, якщо отримана характеристика всмоктувальної магістралі в робочому режимі проходить нижче лінії допустимої вакуумметричної висоти всмоктування (знімається з характеристик обраного насоса).

Приклад: $Z_B = 0,5$ м; $Q = 63$ м³ / год; $Dh_{BCM} = 6,66$ м. Знайдемо коефіцієнт k_{BCM} :

$$k_{BCM} = \frac{6,66}{63^2} = 0,00185.$$

За допомогою рівняння характеристики всмоктувальної магістралі знайдемо значення H_{BCM} при різних значеннях Q (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Залежність H_{BCM} від витрати Q

$Q, \text{м}^3 / \text{год}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$H_{BCM}, \text{м}$	0,50	0,68	1,24	2,16	3,46	5,12	7,16	9,56	12,34

За отриманими значеннями будемо характеристику і накладаємо її на лінію допустимої вакуумметричної висоти всмоктування насоса НЦВС-63/20М (рис. 2.3).

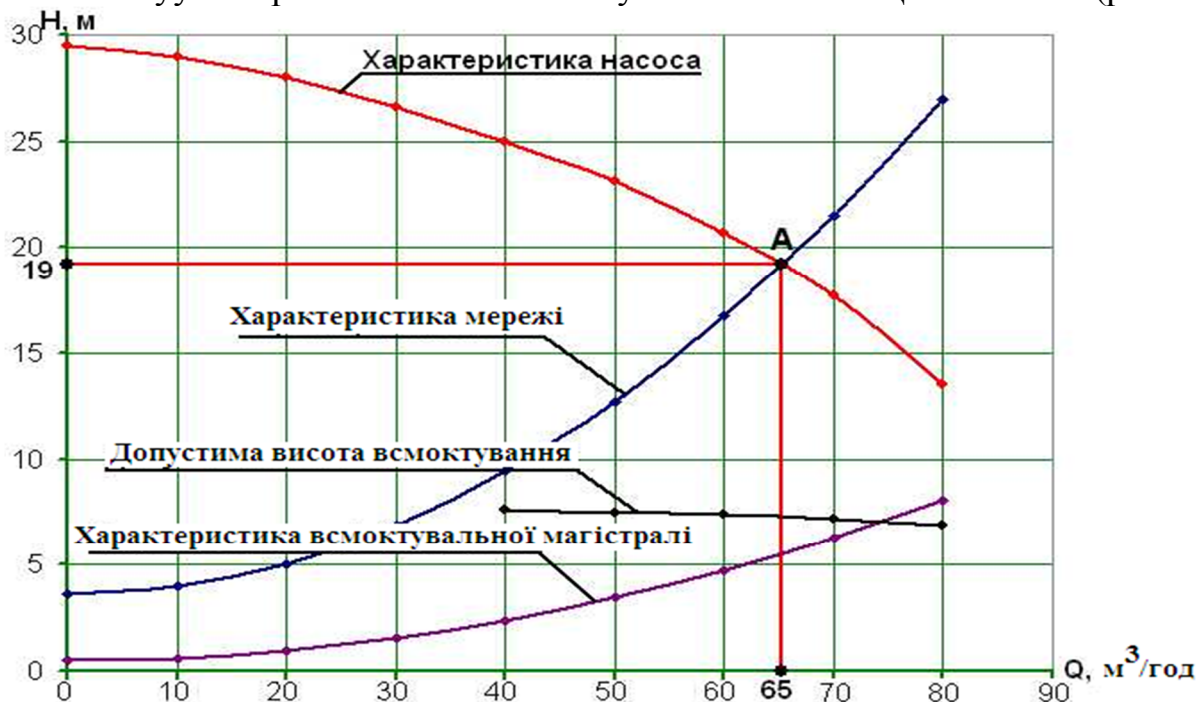


Рис.2.3. Характеристика всмоктувальної магістралі, поєднана з лінією допустимої вакуумметричної висоти всмоктування.

Умова всмоктування виконується, якщо в робочому режимі характеристика H_{BCM} проходить нижче лінії допустимої вакуумметричної висоти всмоктування. З графіка видно, що ця умова виконується - в розрахунковому режимі роботи системи повна

втрата напору на всмоктувальній магістралі $H_{BCM} = 5,5$ м, і не перевищує величину допустимої вакуумметричної висоти всмоктування насоса, що становить в даному режимі $H_{доп.вак} = 7,28$ м.

Звідси випливає, що обраний насос НЦВС-63/20М задовольняє заданим умовам роботи осушувальної системи.

Примітка: Якщо ця умова не виконується, то існують два способи узгодження насоса і системи. Перший - це введення (або збільшення, якщо воно було введено раніше для виконання першої умови) додаткового опору на нагнітальній магістралі. Обмеженням застосування даного способу є ліва межа робочого діапазону на характеристиці. Якщо це спосіб не забезпечує виконання умови, слід збільшити діаметр трубопроводів нагнітальній магістралі (в першу чергу відростків, якщо їх діаметр був прийнятий менше діаметра магістрального трубопроводу). У цьому випадку розрахунок нагнітальної магістралі виконується заново і будується нова характеристика.