

Практичне заняття №2

Тема: Проектування шахтної водовідливної установки

Порядок розрахунку

1. Розрахунок годинної подачі установки
2. Вибір кількості та типу насосів, схеми трубопроводу
3. Розрахунок трубопроводів
4. Розрахунок характеристики зовнішньої мережі
5. Розрахунок та побудова характеристики насоса. Визначення робочого режиму установки
6. Розрахунок потужності приводного двигуна
7. Визначення фактичного часу роботи насосів
8. Визначення річної витрати електроенергії на водовідлив

1. Основні вихідні положення при проектуванні

Вихідні дані для розрахунку

Розрахувати та обрати електромеханічне обладнання водовідливної установки для наступних вихідних даних:

№	глибина шахти H_{III} , м	нормальний добовий приток води Q_H , м ³ /доб	максимальний добовий приток води Q_M , м ³ /доб	тривалість підвищеного притоку води, діб	вода нейтральна з щільністю ρ , кг/м ³ .
1	250	6000	9000	80	1020
2	225	4500	7000	70	1030
3	145	4800	6500	70	1040
4	325	3500	7000	60	1020
5	520	2500	5200	60	1050
6	250	4200	8000	60	1030
7	300	5850	7200	80	1020
8	400	4900	6800	70	1040
9	420	5950	8200	60	1050
10	300	6200	8770	80	1020
11	165	3800	6200	60	1050
12	180	3950	5900	60	1030
13	225	4100	6500	60	1040
14	180	2500	5500	60	1020
15	520	5500	8000	80	1040
16	420	4250	6300	70	1030
17	345	3850	6350	60	1020
18	400	3420	6250	75	1040
19	140	1950	4200	50	1030
20	230	3650	5600	50	1020

2. Зразок розрахунку шахтних водовідливних установок

2.1. Вихідні данні.

Розрахувати та обрати електромеханічне обладнання водовідливної установки для наступних вихідних даних:

- глибина шахти $H_{\text{ш}} = 300$ м;
- нормальний добовий приток води $Q_H = 5260$ м³/доб;
- максимальний добовий приток води $Q_M = 8150$ м³/доб;
- тривалість підвищеного притоку води – 60 діб;
- вода нейтральна з щільністю $\rho = 1020$ кг/м³.

Розрахунок виконується в наступній послідовності.

2.2. Розрахункова годинна подача установки.

$$Q_P = \frac{Q_H}{T}, \text{ м}^3/\text{год};$$

$$Q_P = \frac{5260}{20} = 263 \text{ м}^3/\text{год}.$$

де: $T = 20$ год – розрахунковий час роботи установки на протязі доби по відкачуванню нормального притоку.

2.3. Вибір кількості та типу насосів, схеми трубопроводу.

Оскільки годинний приток води більше 50 м³/год і розрахункова подача може бути забезпечена одним насосом, згідно ПБ приймаємо до установки три насоси та два напірні трубопроводи.

Найпростіша типова схема такої ШВУ показана на мал. 1, де $H_{\Gamma} = H_B + H_H$ - геодезична висота.

Висота всмоктування зазвичай залежить від типу насосу та практично лежить в межах 2-5 м. Висота нагнітання визначається глибиною шахти та різницею відміток рівня РД, підлоги насосної камери, вісі насоса, а також величиною перевищення вихідного перерізу напірного трубопроводу над устям ствола (мал. 1).

Розрахунковий напір, який повинен розвивати насос з врахуванням гідравлічних опорів в трубопроводі, приблизно може бути прийнятий на 5-10% більше геодезичної висоти.

Приймаємо для розрахунку втрати насоса в трубопроводі, рівні 8%. У відповідності з приведеними вище рекомендаціями геодезична висота складе $H_{\Gamma} = 300 + 4 = 304$ м; розрахунковий напір - $H_P = 1,08 \cdot H_{\Gamma} = 1,08 \cdot 304 = 328$ м.

Для визначення типу насоса наносимо графік областей промислового використання шахтних відцентрових насосів типу ВНС (мал. 2) точку з розрахунковими даними

$Q_P = 263$ м³/ч та $H_P = 328$ м. Ця точка розташовується в робочій зоні насоса типу ВНС

300-120-600 з $n = 1475$ об/хв, який і приймаємо до установки.

3

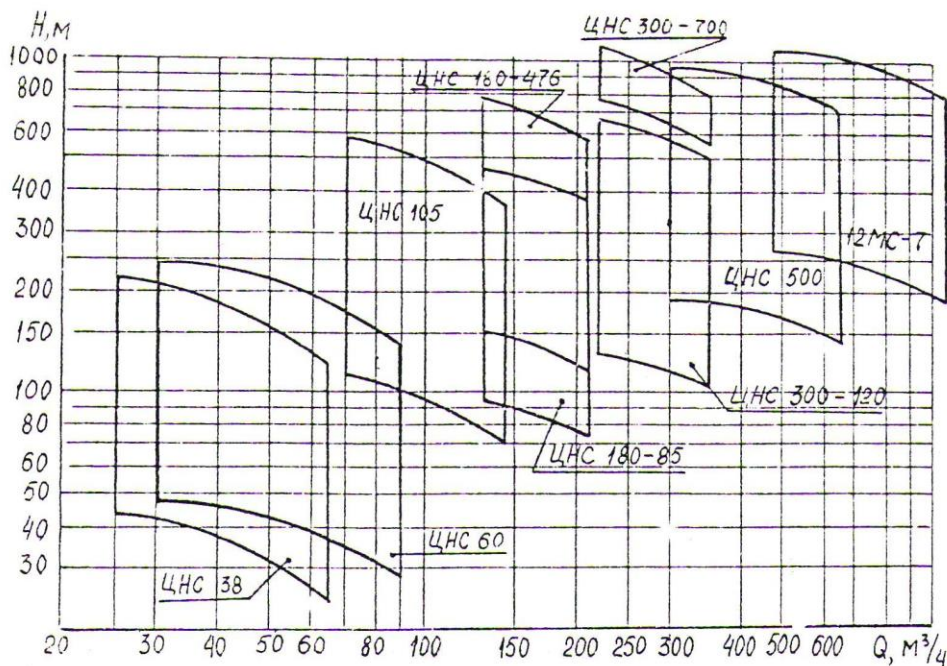


Рис. 2. - Область промислового використання насосів типу ВНС.

2.4. Розрахунок трубопроводів.

При розрахунку напірного та всмоктувального трубопроводів прийняті наступні позначення:

- $d_{H.3}, d_{H.BH}$ - зовнішній та внутрішній діаметри напірного трубопроводу;
- $d_{B.3}, d_{B.BH}$ - зовнішній та внутрішній діаметри всмоктувального трубопроводу.

Оптимальний зовнішній діаметр напірного трубопроводу, виходячи з мінімального значення сумарних капітальних та експлуатаційних витрат, а також з врахуванням корозійного зношення зовнішньої та внутрішньої поверхні труб, визначається по формулі:

$$d_{H.3} = K \cdot 0,0131 \cdot Q_p^{0,476}, \text{ м.}$$

Тут Q_p - розрахункова подача насоса, м³/год; K - коефіцієнт, який залежить від кількості напірних трубопроводів, приймається: при двох трубопроводах $K = 1$, при трьох $K = 0,752$. Оскільки прийнято два трубопроводи, то $K = 1$.

$$d_{H.3} = 1 \cdot 0,0131 \cdot 236^{0,476} = 0,185 \text{ м.}$$

По ГОСТ 8732-78 (табл. 1) приймаємо стандартне значення зовнішнього діаметра труб напірного трубопроводу $d_{H.3} = 194 \text{ мм}$.

Для зменшення ймовірності появи кавітації діаметр всмоктувального трубопроводу, як правило, приймається на 25-50 мм більше напірного, тобто

$$d_{B.3.} = d_{H.3.} + 50 = 194 + 50 = 244 \text{ мм.}$$

Стандартне значення зовнішнього діаметра всмоктувального трубопроводу по ГОСТ 8732-78 приймаємо рівним $d_{B.3.} = 245 \text{ мм.}$

Розрахункова товщина стінки труб (мм) в залежності від припустимого тиску та матеріалу труб визначається по формулі

$$\delta = 100 \frac{\left[\frac{10n \cdot p \cdot d_3}{2(R_1 + n \cdot p)} + (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot T_1 \right]}{100 - K_1},$$

де: $n = 1,4$ – коефіцієнт, який враховує запас міцності;

p - тиск в нижній частині трубопроводу, МПа;

d_3 - зовнішній діаметр труби, см;

R_1 - розрахунковий опір матеріалу труб, МПа. Для Ст10 $R_1 = 196$, для Ст20 $R_1 = 242$;

α_1 - швидкість корозійного зносу зовнішньої поверхні труб, рівна 0,15 мм/рік;

α_2 - швидкість корозійного зносу внутрішньої поверхні труб; при нейтральних водах $\alpha_2 = 0,1 \text{ мм/рік}$;

T_1 - строк служби трубопроводу, років. Приймається рівним 8-10 рокам;

K_1 - коефіцієнт, який враховує мінусовий допуск товщини стінки, $K_1 = 13,5\%$.

Приймаємо матеріал труби Ст10: $p = 0,1 \cdot H_p = 0,1 \cdot 328 = 32,8 \text{ кгс/см}^2$ або $p = 3,3 \text{ МПа}$; $T_1 = 10$ років. Тоді

$$\delta = 5,47 \text{ мм.}$$

Приймаємо (по табл.1) стандартне значення $\delta = 6 \text{ мм}$; визначаємо: внутрішній діаметр напірного трубопроводу $d_{H.BH} = 182 \text{ мм}$; для всмоктувального трубопроводу зовнішній діаметр $d_{B.3} = 245 \text{ мм}$ та мінімальну стандартну товщину стінки $\delta = 7 \text{ мм}$. Визначаємо внутрішній діаметр всмоктувального трубопроводу $d_{B.BH} = 231 \text{ мм}$.

Таблиця 1.- Труби сталіні горячечеформовані (ГОСТ 8732-78)

Зовнішній діаметр, мм	Лінійна щільність труб (кг/м) при товщині стінки (мм)													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	17	18	
95	8.98	11.10	13.17	15.19	17.16	19.09	20.96	22.79	24.56	27.97	31.17	32.70	34.18	
102	9.67	11.96	14.21	16.40	18.55	20.64	22.69	24.69	26.63	30.38	33.93	35.64	37.29	
108	10.29	12.70	15.09	17.44	19.73	21.97	24.17	26.31	28.41	32.46	36.30	38.15	39.95	
114	10.85	13.44	15.98	18.47	20.91	23.31	25.65	27.94	30.19	34.53	38.67	40.67	42.62	
121	11.54	14.30	17.02	19.68	22.29	24.86	27.37	29.84	32.26	36.94	41.63	43.60	45.72	
127	12.13	15.03	17.90	20.72	23.48	26.19	28.85	31.47	34.03	39.01	43.80	46.12	48.39	
133	12.73	15.78	18.79	21.75	24.66	27.52	30.33	33.10	35.81	41.09	46.17	48.63	51.05	
140	—	16.65	19.83	22.96	26.04	29.08	32.06	35.00	37.88	43.50	48.93	51.57	54.16	
146	—	17.39	20.72	24.00	27.63	30.41	33.54	36.62	39.66	45.57	51.30	54.08	56.82	
152	—	18.13	21.60	25.03	28.41	31.74	35.02	38.25	41.43	47.65	53.66	56.60	59.48	
159	—	18.99	22.64	26.24	29.79	33.29	36.75	40.15	43.50	50.06	56.43	59.53	62.59	
168	—	20.10	23.97	27.79	31.57	35.29	38.97	42.59	46.17	53.17	59.98	63.31	66.59	
180	—	21.58	25.75	29.87	33.93	37.95	41.93	45.85	49.72	57.31	64.71	68.34	71.91	
194	—	23.31	27.82	32.28	36.70	41.06	45.38	49.64	53.86	62.15	70.24	74.21	78.13	
203	—	—	29.15	33.84	38.47	43.06	47.60	52.09	56.52	65.25	73.79	77.98	82.12	
219	—	—	31.52	36.80	41.63	46.61	51.54	56.43	61.26	70.78	80.10	84.69	89.23	
245	—	—	—	41.09	46.76	52.38	57.95	63.48	68.95	79.76	90.36	95.59	100.77	
273	—	—	—	45.92	52.28	58.60	64.86	71.07	77.24	89.42	101.41	107.33	113.20	
299	—	—	—	—	57.41	64.37	71.27	78.13	84.93	98.40	111.67	118.23	124.74	
325	—	—	—	—	62.54	70.14	77.68	85.18	92.63	107.38	121.93	129.13	136.28	
361	—	—	—	—	67.67	75.91	84.10	92.23	100.32	116.35	132.19	140.03	147.82	
377	—	—	—	—	—	81.68	90.51	99.29	108.02	125.33	142.45	150.93	159.36	
402	—	—	—	—	—	87.23	96.67	106.07	115.42	133.96	152.31	161.41	170.46	
426	—	—	—	—	—	92.56	102.59	112.58	122.52	142.25	161.78	171.47	181.11	
450	—	—	—	—	—	97.88	108.51	119.09	129.62	150.53	171.25	181.53	191.77	

Продовження таблиці 1

Зовнішній діаметр, мм	Лінійна щільність труб (кг/м) при товщині стінки (мм)									
	9	(9,5)	10	11	12	(13)	14	(15)	16	
(465)	101,21	106,72	112,72	123,16	134,06	144,91	155,71	166,46	—	
480	104,54	110,23	115,91	127,23	138,50	149,72	160,89	172,01	—	
500	108,98	114,92	120,84	132,65	144,42	156,13	167,80	179,41	—	
530	115,64	121,95	128,24	140,79	153,30	165,75	178,66	190,51	—	
(550)	120,08	126,63	133,17	146,72	159,22	172,16	185,06	197,91	—	
560	122,30	128,97	135,64	148,93	162,17	175,37	188,51	201,61	—	
600	131,17	138,35	145,50	159,78	175,01	188,19	202,32	216,40	—	
630	137,83	145,37	152,90	167,92	182,89	197,81	212,68	227,50	—	
720	157,81	166,46	175,10	192,34	209,52	226,66	243,75	260,80	—	
820	180,00	189,89	199,76	219,46	239,12	258,72	278,28	297,79	—	

Примітка:

1. Розміри труб, взяті в скобки, при проектуванні нового обладнання застосовувати не рекомендується.
2. Лінійну щільність труб обчислюють по формулі

$$M = 0,02460 \cdot \delta(d_3 - \delta),$$

де: d_3 – зовнішній діаметр, мм;

δ – товщина стінки.

Продовження таблиці 1

Зовнішній діаметр, мм	Лінійна щільність труб (кг/м) при товщині стінки (мм)									
	20	22	(24)	25	(26)	28	30	32	34	
(465)	219,49	240,35	261,02	271,28	281,49	301,76	321,83	341,71	361,39	
480	—	—	—	280,52	291,10	312,12	332,93	353,55	379,97	
500	—	—	—	292,86	303,93	325,93	347,73	369,33	390,74	
530	—	—	—	311,35	323,16	346,64	369,92	393,00	415,89	
(550)	—	—	—	323,68	335,99	360,45	384,72	408,79	432,66	
560	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
720	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
820	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примітка:

1. Розміри труб, взяті в скобки, при проектуванні нового обладнання застосовувати не рекомендується.

2. Лінійну щільність труб обчислюють по формулі

$$M = 0,02460 \cdot \delta(d_3 - \delta),$$

де: d_3 – зовнішній діаметр, мм;

δ – товщина стінки.

2.5. Розрахунок характеристики зовнішньої мережі.

Характеристика мережі описується рівнянням:

$$H_T = H_\Gamma + RQ^2$$

де: H_T - повний напір трубопроводу, м;

R - постійна трубопроводу:

$$R = \frac{\Sigma h}{Q_P^2}, \text{ год}^2 \cdot \text{м}^{-5}$$

Тут Σh - сумарні втрати напору у всмоктувальному та напірному трубопроводах. Для їх визначення необхідно мати конкретну схему водовідливної установки з позначенням довжин окремих її ділянок, розташуванням та кількістю арматури та ін. Але, як вже зазначалось раніше, втрата напору в трубопроводі при відсутності конкретної схеми установки може бути прийнята орієнтовно в процентах або долях від геодезичної висоти.

Відповідно до наведених рекомендацій $\Sigma h = 0,08 H_\Gamma$, тоді

$$R = \frac{0,08 H_\Gamma}{Q_P^2}$$

або після підстановки відповідних параметрів

$$R = \frac{0,08 \cdot 304}{263^2} = 0,000352 \text{ год}^2 \cdot \text{м}^{-5}.$$

При відомих параметрах схеми трубопроводу його постійна може бути підрахована більш точно по виразу:

$$R = \left[\left(\frac{\lambda_B \cdot l_B}{d_{B.BH}} + \xi_{I.E} + \xi_E \right) \left(\frac{d_{H.BH}}{d_{B.BH}} \right)^4 + \frac{\lambda_H \cdot l_H}{d_{H.BH}} + 2\xi_3 + \xi_{O.K} + \xi_T \right] \frac{1}{2g \cdot F_{H.BH}^2} \cdot 3600 \text{ ч}^2 \cdot \text{м}^{-5}$$

де: $\lambda = 0,021 / d^{0,3}$ - коефіцієнт Дарсі для труб, які були в експлуатації;

l_B та l_H - найбільші довжини всмоктувального та напірного трубопроводів для

самого віддаленого від приймальної криниці насоса, м;

ξ - коефіцієнт місцевого опору;

$\xi_3 = 0,26$ - засувка клинова;

$\xi_{I.E} = 7$ при $d_{B.BH} = 0,1$ м; $\xi_{I.E}$ - приймальна сітка з клапаном;

$\xi_{I.E} = 6$ при $d_{B.BH} = 0,15$ м; $\xi_{I.E} = 5,2$ при $d_{B.BH} = 0,2$ м; $\xi_{I.E} = 4,5$ при $d_{B.BH} =$

0,25 м; $\xi_{I.E} = 3,7$ при $d_{B.BH} = 0,3$ м;

$\xi_{I.E} = 10$ - клапан зворотний поворотний;

$\xi_O = 1-1,5$ - трійник рівнопрохідний;

$$\xi_E = 0,6;$$

$\alpha / 90$ - сварні коліна з загальним кутом (α , град) повороту потоку;

$F_{H.BH}$ - площа прохідного перетину напірного трубопроводу, м;

g - прискорення сили тяжіння, м/с².

Характеристику зовнішньої мережі розраховуємо по формулі:

$$H_T = 304 + 0,000352Q^2.$$

Результати розрахунку зводимо в **таблицю 2**.

Витрата Q , м ³ /год	0	75	150	225	263	300	375
Напір H_T , м	304	306	312	322	328	336	354

2.6. Розрахунок та побудова характеристики насоса. Визначення робочого режиму установки.

Розрахунок характеристики багатоступеневого насоса виконується в наступній послідовності. Визначимо необхідну кількість робочих ступіней:

$$z = \frac{H_P}{h_P},$$

де: h_P - напір, який створює одна робоча ступінь насоса при розрахунковій продуктивності. Ця величина визначається по індивідуальній характеристиці ступені прийнятого насоса ВНС 300 120-600 та дорівнює $h_P = 62,5$ м (мал. 13). Тоді

$$z = \frac{328}{62,5} = 5,2.$$

Приймається насос з найближчим більшим числом ступіней $z = 6$. Далі по індивідуальній характеристиці ступені насоса для значень витрат Q , заданих табл.

2, визначаємо напір h_P , КПД (η), допустиму вакуумметричну висоту $H_B^{\partial on}$ та підраховуємо повний напір насоса.

Результати розрахунку зводимо в **таблицю 3**.

Q , м ³ /год	0	75	150	225	263	300	375
h_P , м	66,3	67,5	67,5	65	62,5	60	50
$H = z \cdot h_P$, м	398	405	405	390	375	360	300
η	0	0,36	0,56	0,72	0,72	0,68	0,64
$\dot{I}_{\dot{A}}^{\partial \dot{n}}$, м	—	—	—	6,2	6,0	4,3	1,3

По даним таблиць 2 і 3 на мал. 3 побудовані характеристики зовнішньої мережі насоса. Точка Е перетину цих характеристик визначає робочий режим установки, який характеризується наступними параметрами: продуктивність $Q_E = 328 \text{ м}^3/\text{год}$;

напір $H_E = 340 \text{ м}$; КПД насоса $\eta_E = 0,65$; допустима висота всмоктування $H_{B.E}^{\text{доп}} = 3,8 \text{ м}$.

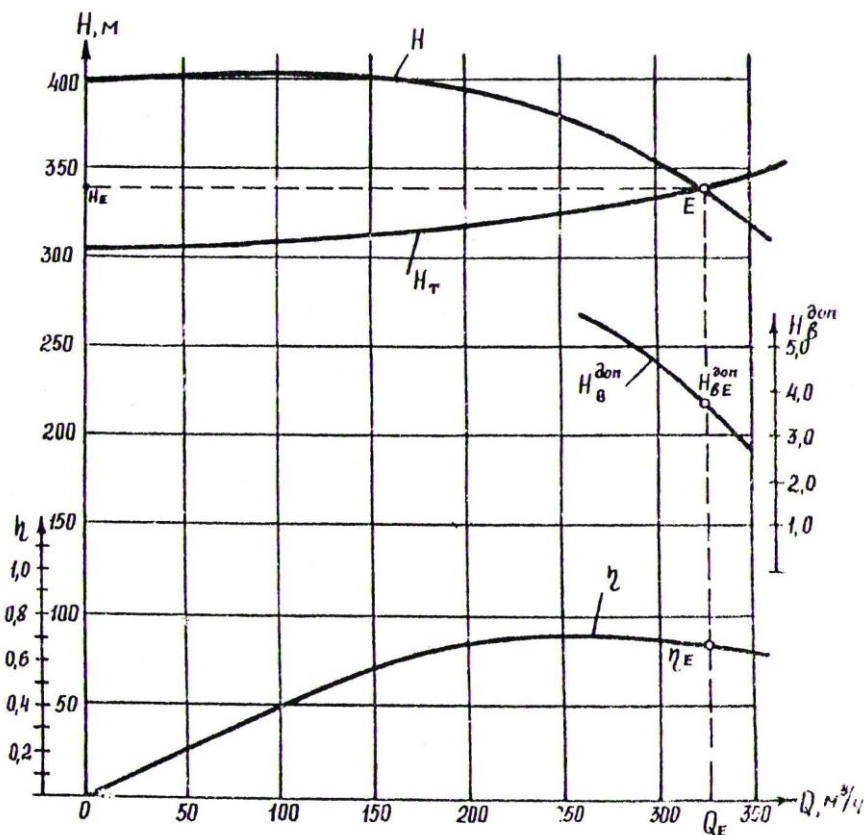


Рис. 3. - Режим роботи ШВУ.

Характеристики: H - насоса; H_T - зовнішньої мережі; $H_B^{\text{доп}}$ - допустимої вакуумметричної висоти всасування; η - ККД насоса; E - робочий режим ШВУ; H_E ,

Q_E , $H_{B.E}^{\text{доп}}$, η_E - параметри робочого режиму установки.

Перевірка по умові стійкості роботи установки

$$H_T \leq 0,95 \cdot H = 0,95 \cdot 398 = 378 \text{ м.}$$

Тут H - напір насосу при нульовій подачі. З таблиці 3 $H = 398$ м. Так як $304 < 378$ – стійкість забезпечена. У випадку невиконання даної умови кількість ступіней збільшують на одну, або обирають інший насос.

Перевірка на оптимальність режиму роботи насоса

$$\eta_E \geq 0,9\eta_{max} = 0,9 \cdot 0,72 = 0,65$$

$0,65 = 0,65$, що свідчить про достатньо високий ККД насосу.

Перевірка насоса на відсутність кавітації.

Щоб виключити появу кавітації при роботі відцентрового насоса, необхідно виконати наступну умову:

$$H_B^\Phi \leq H_{B.E}^{don},$$

де: $H_{B.E}^{don}$ - допустима вакуумметрична висота всмоктування, знайдена раніше по характеристиці насоса для робочого режиму *;

H_B^Φ - дійсна вакуумметрична висота всмоктування, яка визначається для робочого режиму по формулі:

$$H_B^\Phi = H_B + \Sigma h_B$$

$$H_B^\Phi = 4 + 2,42 = 6,42 \text{ м.}$$

Висоту всмоктування приймемо рівною 4 м.

Сумарні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі визначаються по формулі:

$$\Sigma h_B = \left(\frac{\lambda_B \cdot l_B}{d_{B.BH}} + \Sigma \zeta \right) \frac{V_B^2}{2g}$$

$$\Sigma h_B = \left(\frac{0,03 \cdot 15}{0,231} + 7 \right) \frac{2,2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,42 \text{ м,}$$

де λ_B - коефіцієнт Дарсі:

$$\lambda_B = \frac{0,0195}{\sqrt[3]{d_{B.BH}}}$$

$$\lambda_B = \frac{0,0195}{\sqrt[3]{0,231}} = 0,03.$$

Швидкість руху води у всмоктувальному трубопроводі

$$V_B = 4Q_E / \pi \cdot d_{B.BH}^2 \cdot 3600 = 2,2 \text{ м/с.}$$

Інші величини, які входять в приведені формули, розшифровані вище. Чисельні значення розрахункових величин, які використовуються при обчисленнях коефіцієнту Дарсі, швидкості води та сумарних втрат напору, взяті відповідно з приведеними раніше рекомендаціями, а також відповідно з мал. 1.

Так як в робочому режимі $H_{B.E}^{\partial on} = 3,8$ м, то необхідна умова $H_B^{\Phi} \leq H_{B.E}^{\partial on}$ не виконується ($6,42 > 3,8$).

Очевидно, необхідно або зменшити висоту всмоктування, або збільшити діаметр всмоктувального трубопроводу.

* У випадку використання в схемах ШВУ насосів типу К чи Д, а також насосів ВНС 60-50...250 та ВНС 180-500...900 необхідно пам'ятати, що на їх індивідуальних характеристиках приводяться залежності допустимого кавітаційного запасу в функції витрати рідини, тобто $\Delta h_{\partial on} = f(Q)$. Перехід від

$\Delta h_{\partial on}$ до $H_B^{\partial on}$ приведений в розділі 3 дійсних методичних вказівок.

2.7. Розрахунок потужності приводного двигуна.

Необхідна потужність двигуна:

$$N = 1,1 p \cdot g \cdot Q_E \cdot H_E / 1000 \cdot 3600 \eta_E$$

$$N = 524 \text{ кВт.}$$

Приймається двигун серії «Україна»-12-3/4, який характеризується наступними показниками: $N = 650$ кВт; $n = 1485$ об/хв, $\eta = 94,7\%$.

2.8. Фактичний час роботи насосів.

Час відкачки нормального притоку води

$$T_H = Q_H / Q_E, \text{ год}$$

$$T_H = 5260 / 328 = 16,1 \text{ год.}$$

Час відкачки максимального притоку води

$$T_M = Q_M / Q_E, \text{ год}$$

$$T_M = 8150 / 328 = 24,9, \text{ год.}$$

Таким чином, до установки приймаємо три насоса: один – робочий, другий – резервний і третій – в ремонті.

2.9. Річна витрата електроенергії на водовідлив.

Річна витрата електроенергії розраховується по формулі:

$$E = 1,05 \left[\frac{p \cdot g \cdot Q_E \cdot H_E}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_H \cdot \eta_{\partial \partial} \cdot \eta_C} \right] (305 T_H + 60 T_M), \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де: 1,05 – коефіцієнт, який враховує витрату енергії на власні потреби установки;

$\eta_H = 0,65$ - ККД насоса в робочому режимі;

$\eta_{\partial \partial} = 0,95$ - ККД двигуна;

$\eta_C = 0,95$ - ККД мережі.

Після підстановки значень в формулу знаходимо $E = 3,02 \cdot 10^6$ кВт · год/рік.

Питома витрата електроенергії на м³ води, що відкачується

$$e = E / Q_E \left(305 T_H + 60 T_M \right) = 1,78 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

Питома витрата енергії на т · км

$$e^1 = \frac{e \cdot 1000}{p \cdot H_r}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т} \cdot \text{км};$$

$$e^1 = \frac{1,78 \cdot 1000}{1,020 \cdot 304} = 5,76 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т} \cdot \text{км}.$$

Таблиця 4. Коефіцієнти аналітичних характеристик відцентрових насосів.

Тип насоса	$A \cdot 10^3,$ год ² · м ⁻²	$B \cdot 10^6,$ год ² · м ⁻⁵	$H_0,$ м	$Q^*,$ м ³ · год ⁻¹	$H^*,$ м	η^*	z
ВНС 38-44...200	98,3	6800	28,1	38	22	0,69	2 – 10
ВНС 38-50...250	155	6870	26,5	38	25	0,5	2 – 10
ВНС 60-192...330	51	2740	39,5	60	33	0,7	6 – 10
ВНС 105-98...490	164	2020	53,9	105	49	0,68	2 – 10
ВНС 180-85...425	63,3	535	47,4	180	42,5	0,7	2 – 10
ВНС 180-476...680	79,4	954	82,0	180	68	0,72	7 – 10
ВНС 300-120...600	40,1	221	66,9	300	60	0,71	2 – 10
ВНС 300-700...1000	61,2	471	117,7	300	100	0,78	7 – 10
ВНСК 500-160...800	61,4	128	85,8	500	80	0,73	2 – 10
12МС-7	53,8	76,9	124,8	800	125	0,73	2 – 8
ВНС 300-780...1300	139	447	126,3	300	100	0,73	6 – 10

Примітка:

Q^*, H^*, η^* - відповідно номінальні значення подачі, напору та ККД насоса.

3. Характеристики відцентрових насосів

Характеристики різних типів відцентрових насосів, представлених на мал. 6-22, взяті з заводських інструкцій по експлуатації відцентрових насосів, даних центрів науково-технічної інформації, а також з каталогів ЦИНТІХІМНАФТОМАШ.

В гірничорудній промисловості широко використовуються насоси типів ВНС, К. Насоси типу ВНС 60-50...250, ВНС 105-98...490, ВНС 180-85...425, ВНС 180-476...680, ВНС 180-500...900, ВНС 300-120...600, ВНС 300-700...1000 та ВНС 300-780...1300 використовуються в якості насосів головного водовідливу шахт.

У відповідності з ГОСТ 10407-70 в позначення типорозмірів вказаних насосів входять: початкові літери – найменування насосу (ВНС: відцентровий насос секційний), цифри після літер – номінальна подача насосу (м³/год), цифри після рисочки – напір в розрахунковому режимі (м) при мінімальній та максимальній кількості ступіней.

Насоси типу ВНС 38-50...250 та ВНС 60-198...330 зазвичай використовуються для дільничного водовідливу шахт. Всі перераховані насоси призначаються для нейтральної води зі вмістом механічних домішок не більше 0,5%, по масі при розмірі твердих часток не більше 0,2 мм, мікротвердістю не більше 1,47 ГПа. Температура води, що перекачується, від 1 до 45⁰ С.

Насоси типу К 20/30, К 40/55, К 45/55, К 45/55У, К 90/85, К 90/85У, К 160/30 та К 290/30 використовують для дільничного водовідливу при невеликих водопритоках.

У відповідності до ТУ 26-06-976-77 літери та цифри, які входять в позначення насосів, означають (наприклад для насосу К 20/30): К – консольний насос відцентровий; 20 – номінальна подача, м³/год; 30 – напір, відповідний номінальній подачі, м вод. ст.

Насоси типу К призначаються для перекачування неагресивної технічної води, яка містить до 0,1% по масі зважених часток розміром не більше 0,1 мм, мікротвердістю не більше 1,47 ГПа. Нормальна температура води, яка перекачується, + 25⁰С, максимальна + 80⁰С.

Індивідуальні характеристики секційних насосів типу ВНС (мал. 6-17) наведені для однієї ступіні. Як правило, на характеристиках представлені графічні залежності напору (Н, м), який створюється ступінню насоса, споживаємої потужності (N, кВт), повного ККД насосу та допустимою вакуумметричною висотою (H_B^{don} , м) в функції витрати. На індивідуальних характеристиках насосів типу ВНС 60-50...250 та ВНС 180-500...900 замість графічної залежності допустимої вакуумметричної висоти від витрати приведена залежність допустимого кавітаційного запасу (Δh_{don} , м) від витрати. Для

переходу від допустимого кавітаційного запасу до допустимої вакуумметричної висоти при перевірці насосу на відсутність кавітації може бути використана без великих похибок наступна формула

$$H_B^{don} \cong 10 - \Delta h_{don},$$

де: H_B^{don} - допустима вакуумметрична висота, м;

10 - величина напору, відповідного одній технічній атмосфері, м;

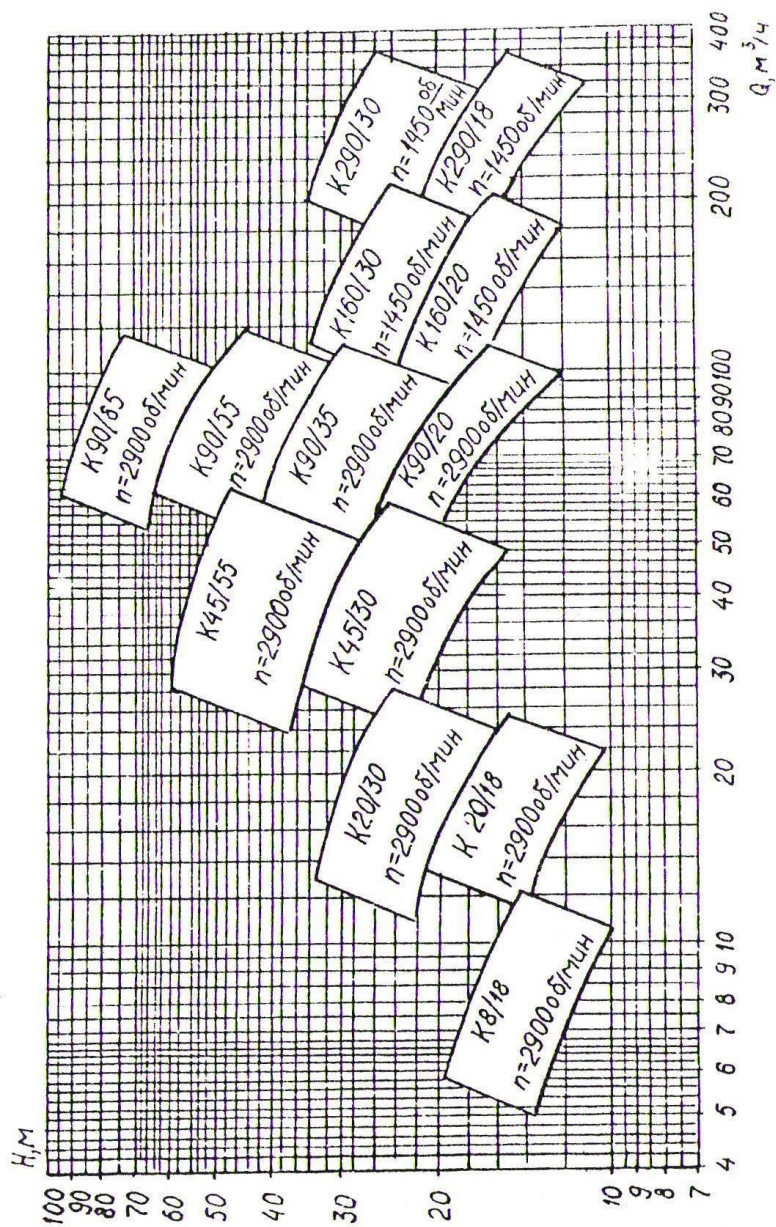
Δh_{don} - допустимий кавітаційний запас, м.

Зони промислового використання насосів визначаються діапазоном подачі при ККД насосу $\eta \geq 0,9\eta_{\max}$.

На індивідуальних характеристиках насосів типу ВНС 300-120...600, ВНС 300-700...1000 та ВНС 300-780...1300 відсутні графічні залежності допустимої вакуумметричної висоти або допустимого кавітаційного запасу від витрати. Це пояснюється тим, що насоси вказаних типів комплектуються вертикальними бустерними насосами типу ВП-340, вбудованими в їх всмоктувальні патрубки (трубопроводи). Індивідуальна характеристика бустерного насоса приведена на мал. 15. У випадку використання насосів типу ВНС 300... остаточну характеристику водовідливної установки необхідно будувати для двох послідовно працюючих насосів.

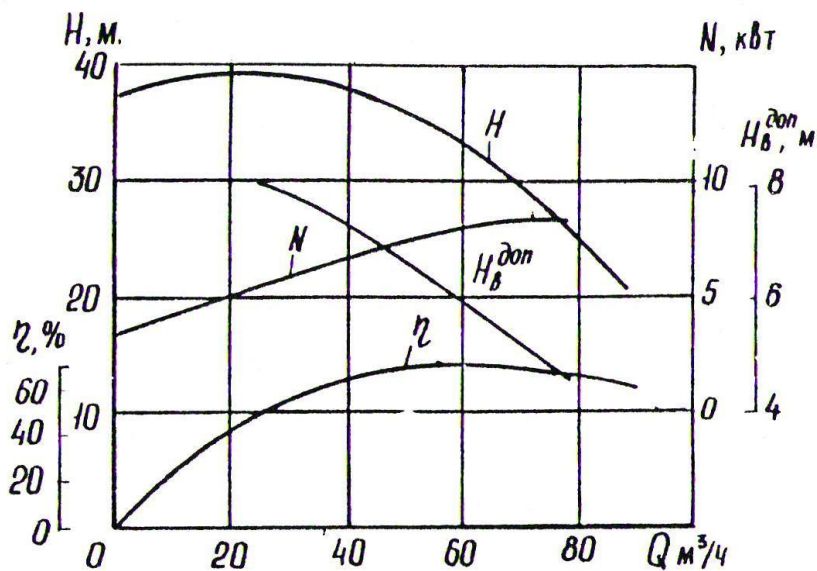
Номінальна частота обертання вала насоса приводиться в підмалюнку підписі. Ця частота лежить в основі вибору приводного двигуна та перерахунку характеристик насоса для іншої частоти його обертання.

На індивідуальних характеристиках насосів типу К 45/55, К 90/85, К 160/70 та К 290/30 (мал. 18-22) представлені графічні залежності напору, який створюється колесом, споживаємої потужності, ККД та допустимого кавітаційного запасу від витрати. На характеристиці насосів типу К 20/30 замість залежності кавітаційного запасу дана залежність допустимої вакуумметричної висоти від витрати.

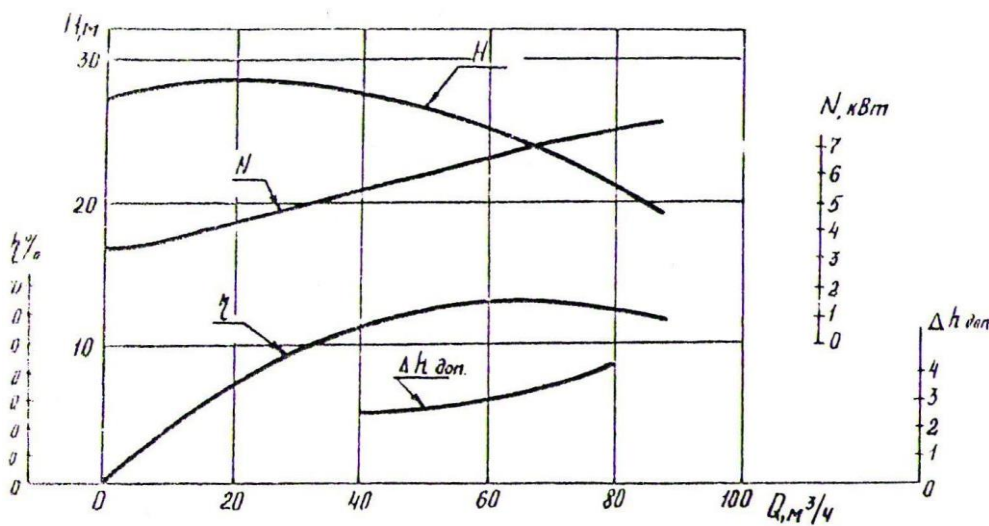


Мал. 5. Поля робочих режимів насосів типу К.

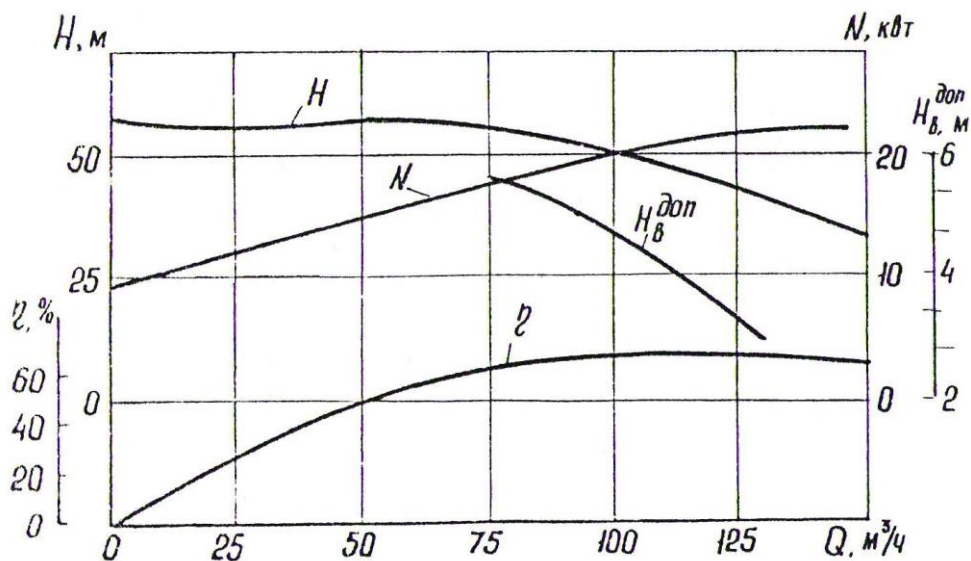
Мал. 6. Характеристика насоса ВНС 38-50...250; $n = 1475$ об/хв



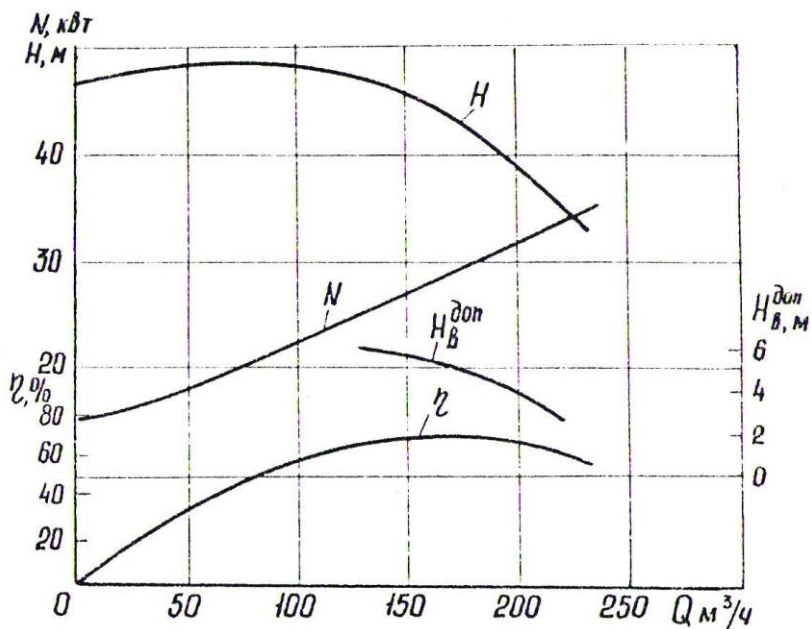
Мал. 7. Характеристика насоса ВНС 60-198...330; $n = 1475$ об/хв



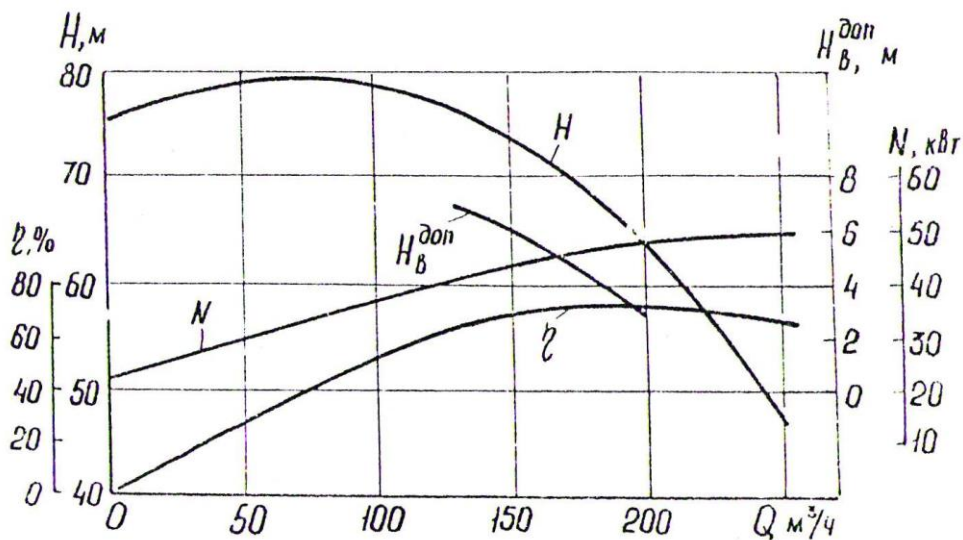
Мал. 8. Характеристика насоса ВНС 60-50...250; $n = 1475$ об/хв



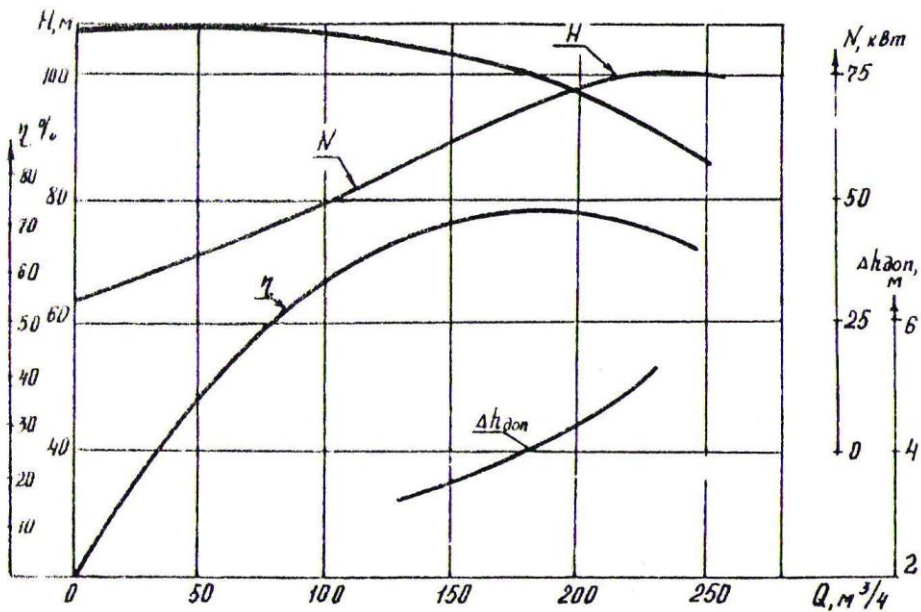
Мал. 9. Характеристика насоса ВНС 105-98...490; $n = 1475$ об/хв



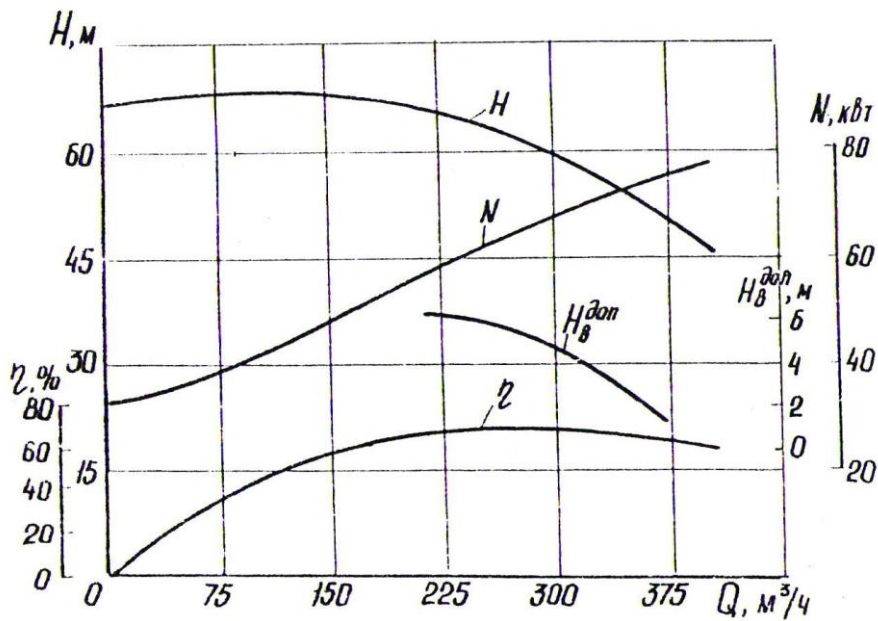
Мал. 10. Характеристика насоса ВНС 180-85...425; $n = 1475$ об/хв



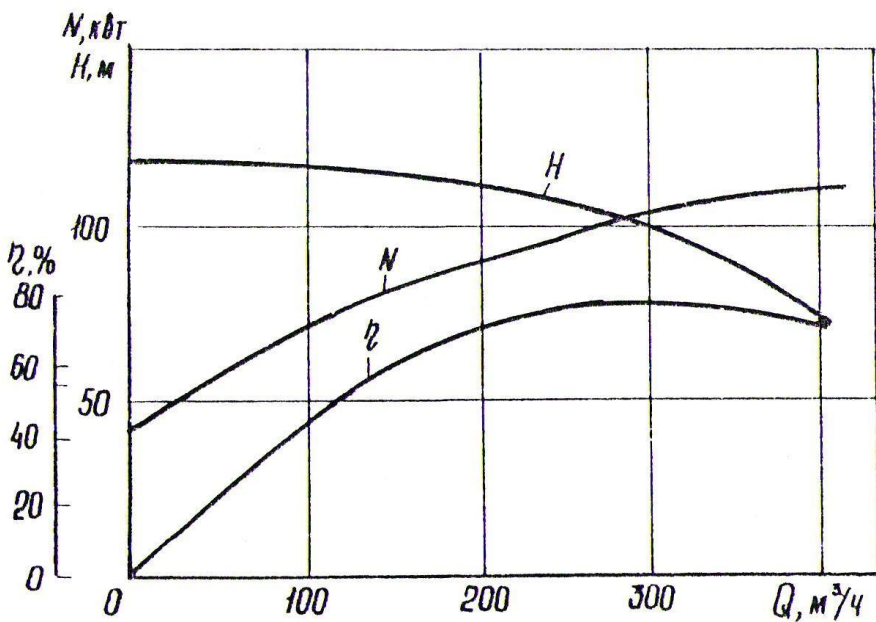
Мал. 11. Характеристика насоса ВНС 180-476...680; $n = 2950$ об/хв



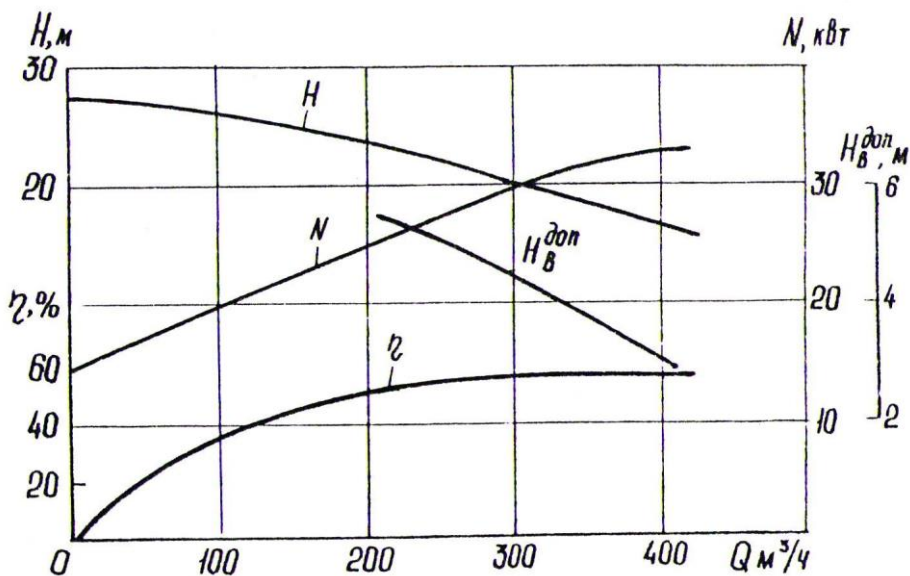
Мал. 12. Характеристика насоса ВНС 180-500...900; $n = 2950$ об/хв



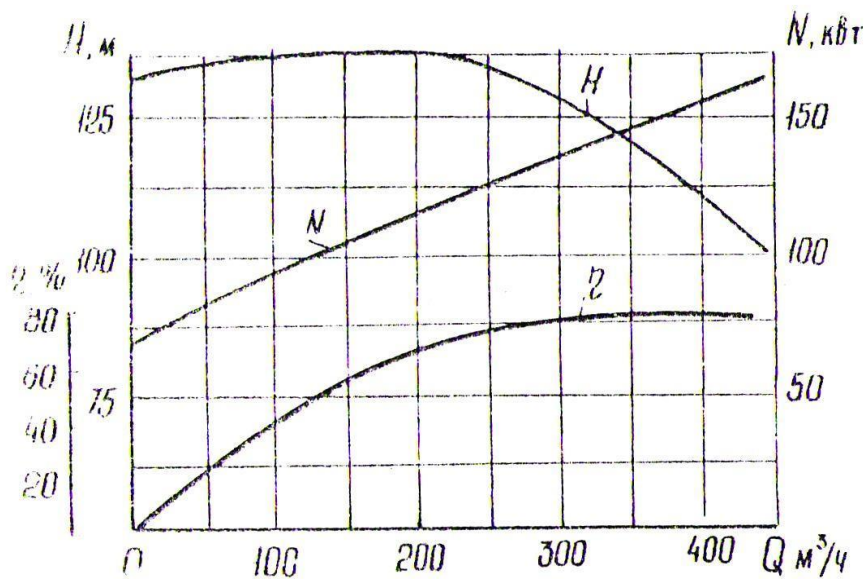
Мал. 13. Характеристика насоса ВНС 300-120...600; $n = 1475$ об/хв



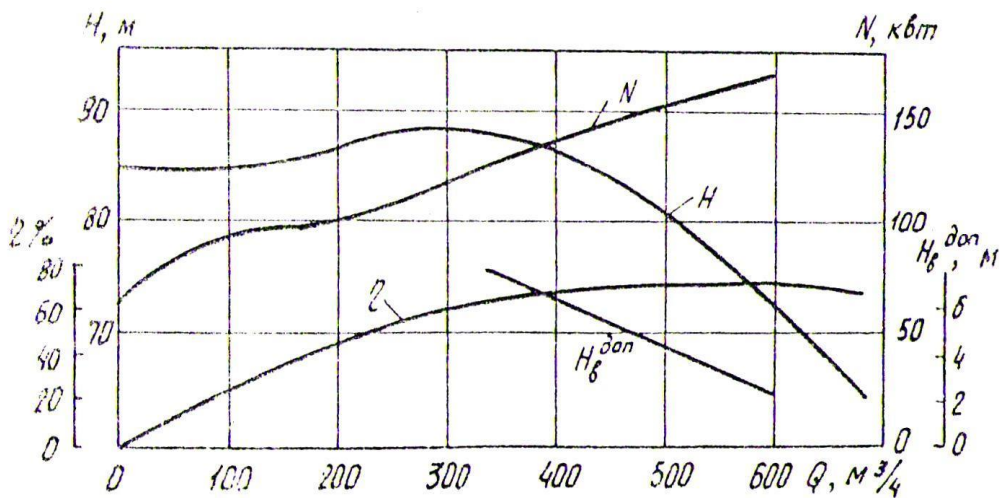
Мал. 14. Характеристика насоса ВНС 300-700...1000; $n = 2950$ об/хв



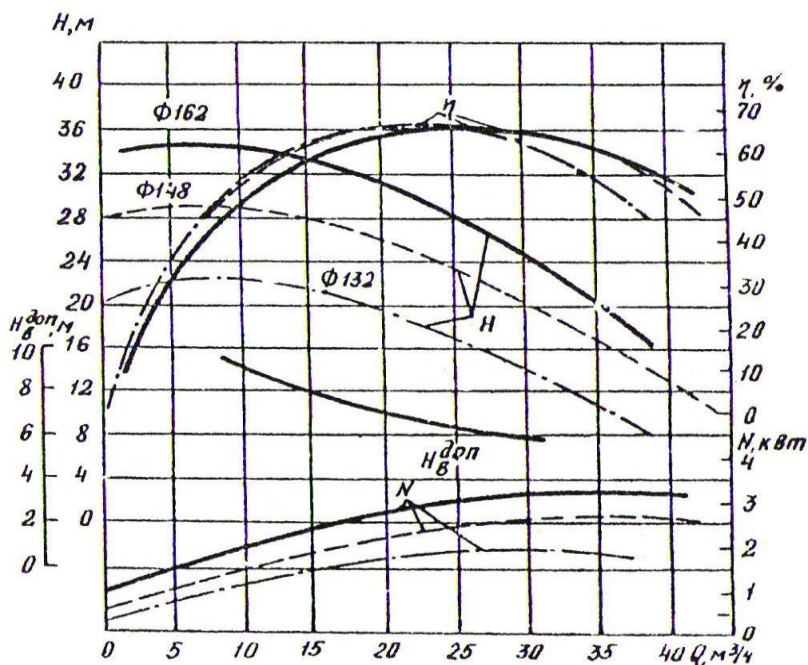
Мал. 15. Характеристика насоса ВП 340; $n = 1475$ об/хв



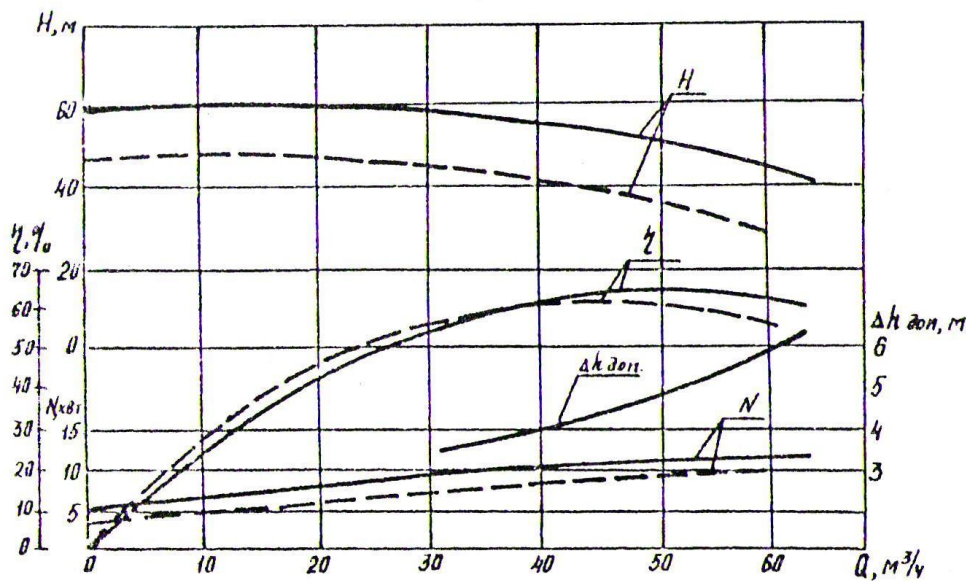
Мал. 16. Характеристика насоса ВНС 300-780...1300; $n = 2950$ об/хв



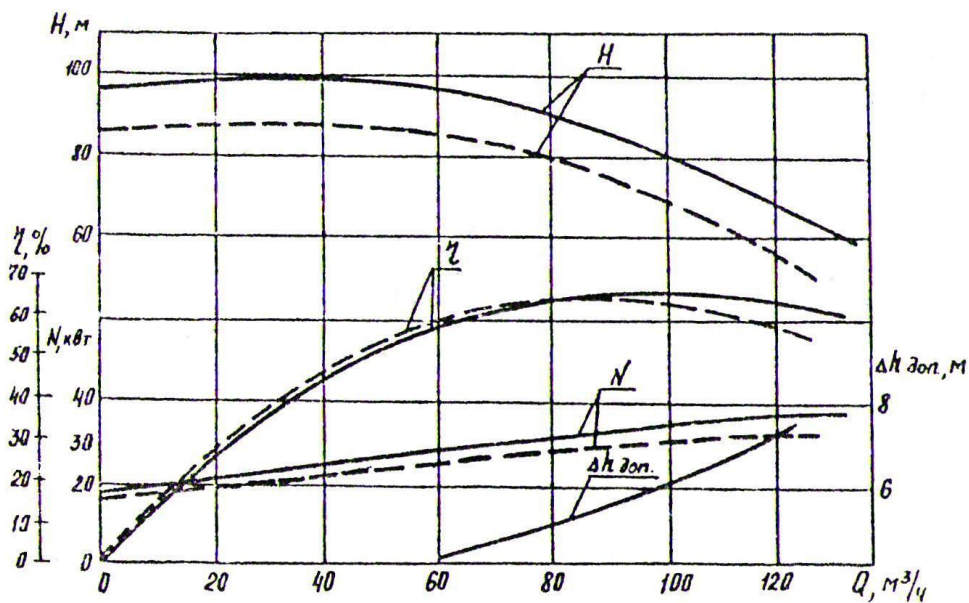
Мал. 17. Характеристика насоса ВНС 500-160...800; $n = 1475$ об/хв



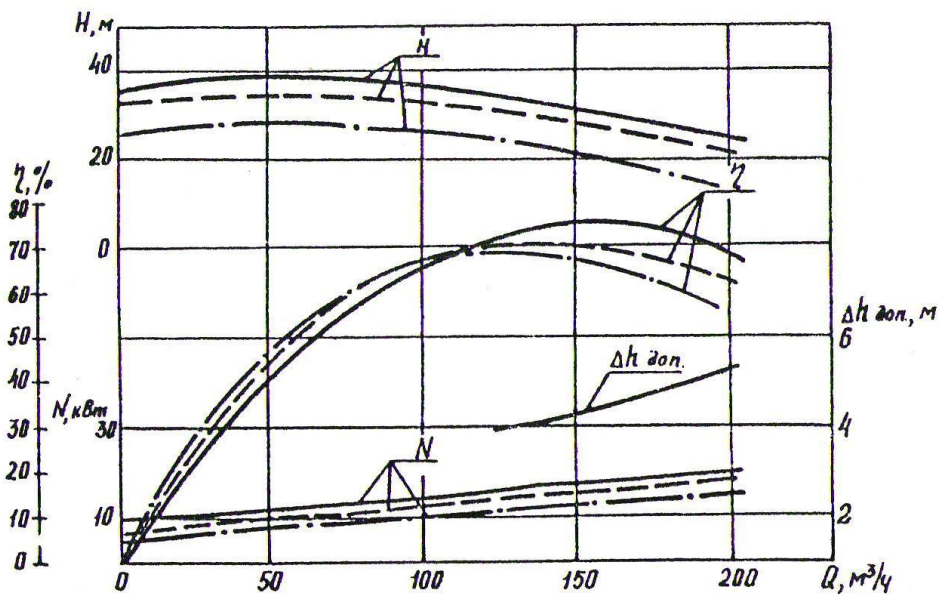
Мал. 18. Характеристика насоса К 20/30; $n = 2950$ об/хв



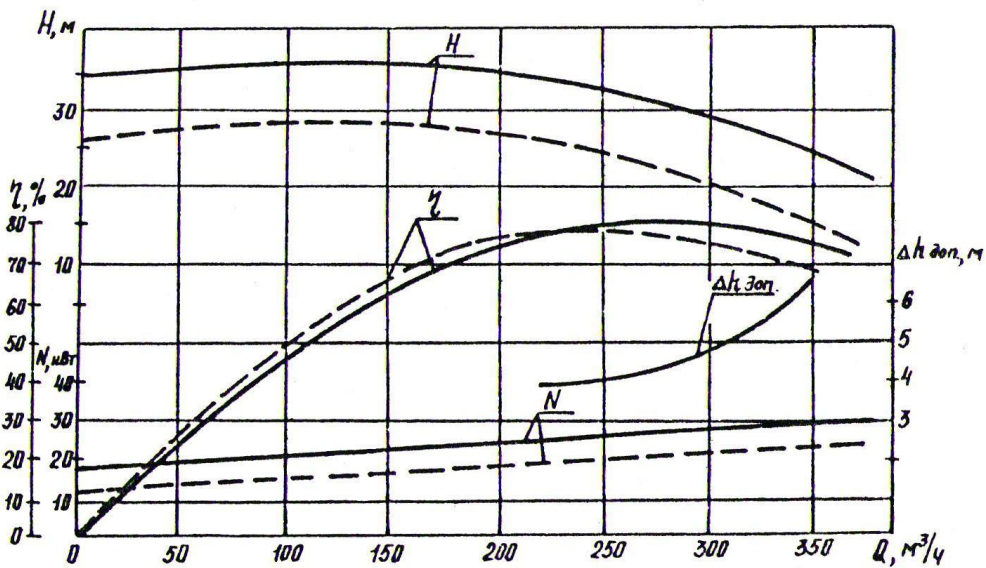
Мал. 19. Характеристика насосів К 45/55 та К 45/55 а; $n = 2950$ об/хв



Мал. 20. Характеристика насосів К 90/85 та К 90/85 а; $n = 2950$ об/хв



Мал. 21. Характеристика насосів К 160/30, К 160/30 а та К 160/30 б; $n = 1450$ об/хв



Мал. 22. Характеристика насосів К 290/30 та К 290/30 а; $n = 1450$ об/хв

4. Характеристики приводних двигунів

Характеристики різних типів привідних двигунів взяті з каталогів ЦИНТІХІМНАФТОМАШ, заводських інструкцій по експлуатації відцентрових насосів та електронасосних агрегатів, а також каталогів експрес – інформації.

В якості приводу відцентрових насосів для шахтного та кар'єрного водовідливу рекомендується обирати асинхронні двигуни серій ВАО, 4А, 2А, А та «Україна», які працюють від мережі змінного струму з номінальною напругою до 6000 В та частотою обертання 1500 та 3000 об/хв. Вказані двигуни випускаються нормального та вибухозахисного виконання. Як правило, двигуни нормального виконання розраховані на напругу 220/380 та 380/660 В, а двигуни вибухозахисного виконання – на напругу 380/660 та 6000 В. Виконання по вибухозахисту РВ-ЗВ або РЗТ4-В. Охолодження двигунів – повітряне. Двигуни передбачені для роботи в тривалих режимах в стаціонарних установках.

Двигуни серій 4А, 2А та А використовуються для комплектування так званих електронасосних агрегатів (відцентровий насос певного типу та привідний до нього електродвигун, змонтовані на металевій рамі, поставляються замовнику як одне ціле). Агрегаткування практикується при комплектуванні насосів для головного та дільничного водовідливів для роботи в тривалих режимах.

Двигуни серії «Україна» використовуються для приводу потужних відцентрових насосів.

В характеристиках двигунів електронасосних агрегатів типів ВНС та К, а також двигунів серій ВАО, 4А, 2А, А та «Україна» приведені номінальні значення потужності та частоти обертання, по яким виконується вибір електродвигуна. Приводяться також дані про маховий момент та кратність пускового моменту двигуна, які враховуються при аналізі процесу запуску агрегату. Крім цього, маховий момент приймається до уваги при аналізі гідравлічного удару ШВУ.

Кратність пускового струму та значення $\cos \phi$, а також кратність перевантаження враховуються при вирішенні ряду питань, пов'язаних з електропостачанням та керуванням установками.

Характеристики електроприводу для насосів типу ВНС

Таблиця 5. Насос ВНС 60-50...250

Тип насосу	Число ступіней	Характеристика насоса		Комплектуючі електродвигуни	Частота обертання, об/хв
		подача, м ³ /год	напір, м		
ВНС 60-50	2	60	50	BAO 62-4, 17 кВт	1500
ВНС 60-75	3	60	75	BAO 71-4, 22 кВт	1500
ВНС 60-100	4	60	100	BAO 72-4, 30 кВт	1500
ВНС 60-125	5	60	125	BAO 81-4, 40 кВт	1500
ВНС 60-150	6	60	150	BAO 82-4, 55 кВт	1500
ВНС 60-175	7	60	175	BAO 82-4, 55 кВт	1500
ВНС 60-200	8	60	200	КО 51-4, 75 кВт	1500
ВНС 60-225	9	60	225	КО 51-4, 75 кВт	1500
ВНС 60-250	10	60	250	КО 51-4, 75 кВт	1500

Таблиця 6. -Насос ВНС 105-98...490

Тип насоса	Число ступіней	Характеристика насоса		Типи комплектуючих електродвигунів та їх потужності, кВт				Частота обертання, об/хв
		подача, м³/год	напір, м	нормальне виконання		вибухобезпечне виконання		
				на напругу 220 та 380 В	на напругу 380 та 660 В	на напругу 380 та 660 В	на напругу 6000 В	
ВНС 105-98	2	105	98	4А-225М-2 55 кВт		ВАО-82-2 55 кВт		3000
ВНС 105-147	3	105	147	4А-250S-2 75 кВт		ВР250S 2, вик. РВ		3000
ВНС 105-196	4	105	196	4АН-225 М-2 90 кВт		ВР280S 2 110 кВт		3000
ВНС 105-245	5	105	245	4А-280 М-2 132 кВт		ВАО-315S 2 132 кВт		3000
ВНС 105-294	6	105	294	4АН-280S-2 160 кВт		ВАО-315 М2 160 кВт		3000
ВНС 105-343	7	105	343	4АН-280S-2 160 кВт		ВАО-315 М2 160 кВт		3000
ВНС 105-392	8	105	392	4АН-280 М-2 200 кВт			ВАО-450М-2 200 кВт	3000
ВНС 105-441	9	105	441	4АН-315 М-2 250 кВт			ВАО-450L-2 250 кВт	3000
ВНС 105-490	10	105	490	4АН-315 М-2 250 кВт			ВАО-450L-2 250 кВт	3000

Таблиця 7. -Насос ВНС 180-85...425

Тип насоса	Число ступінней	Характеристика насоса		Типи комплектуючих електродвигунів та їх потужності, кВт					Частота обертання, об/хв
				нормальне виконання		вибухобезпечне виконання			
		подача, м³/год	напір, м	на напругу 220 та 380 В	на напругу 380 та 660 В	на напругу 6000 В	на напругу 380 та 660 В	на напругу 6000 В	
ВНС 180-85	2	180	85	4А-250S-4 75 кВт			КО51-4 75 кВт		1500
ВНС 180-128	3	180	128		4АН-250М-4 110 кВт				1500
ВНС 180-170	4	180	170		4АН-280S-4 132 кВт		BAO2-280S-4 132 кВт		1500
ВНС 180-212	5	180	212		4АН-280М-4 160 кВт		BAO2-280М-4 160 кВт		1500
ВНС 180-255	6	180	255		4АН-315S-4 200 кВт	А112-4М 200 кВт		BAO2-450S-4 200 кВт	1500
ВНС 180-297	7	180	297		А111-4М 250 кВт	А113-4М 250 кВт		BAO2-450М-4 250 кВт	1500
ВНС 180-340	8	180	340		А111-4М 250 кВт	А113-4М 250 кВт		BAO2-450М-4 250 кВт	1500
ВНС 180-383	9	180	383		А112-4М 320 кВт	А114-4М 320 кВт		BAO2-450LA-4 315 кВт	1500
ВНС 100-425	10	180	425		А112-4М 320 кВт	А114-4М 320 кВт		BAO2-450LA-4 315 кВт	1500

Таблиця 8. - Насос ВНС 180-500...900

Тип насоса	Число ступіней	Комплектуючі електродвигуни	
		Нормальне виконання на напругу 6000 В	Вибухобезпечне виконання на напругу 6000 В
ВНС 180-500	5	4АН-355М2, 400 кВт	ВАО2-450 В-2, 400 кВт
ВНС 180-600	6	2АЗМП1-500/6000, 500 кВт	2АЗМП1-500/6000, 500 кВт
ВНС 180-700	7	2АЗМП1-630/6000, 630 кВт	2АЗМП1-630/6000, 630 кВт
ВНС 180-800	8	2АЗМП1-630/6000, 630 кВт	2АЗМП1-630/6000, 630 кВт
ВНС 180-900	9	2АЗМП1-800/6000, 800 кВт	2АЗМП1-800/6000, 800 кВт

Таблиця 9. - Насос ВП-340

Тип насоса	Подача	Напір	Комплектуючий електродвигун	Число обертів
ВП-340	340	18	ВАОФ-81-4, 40 кВт	1500

Таблиця 10.- Насос ВНС 300-120...600

Тип насоса	Число ступіней	Характеристика насоса		Типи комплектуючих електродвигунів та їх потужності, кВт				Частота обертання, об/хв
		подача, м³/год	напір, м	нормальне виконання		вибухобезпечне виконання		
				на напругу 380 та 660 В	на напругу 6000 В	на напругу 380 та 660 В	на напругу 6000 В	
ВНС 300-120	2	300	120	4АН-280М-4 160 кВт		ВАО2-280М-4 160 кВт	ВАО2-450S-4 200 кВт	1500
ВНС 300-180	3	300	180	А111-4 250 кВт	А113-4М 250 кВт		ВАО2-450М-4 250 кВт	1500
ВНС 300-240	4	300	240	А112-4 320 кВт	А114-4М 320 кВт		ВАО2-450ЛА-4 315 кВт	1500
ВНС 300-300	5	300	300		А4-400ХК-4 400 кВт		ВАО2-450LB-4 400 кВт	1500
ВНС 300-360	6	300	360		А4-400Х-4 500 кВт		ВАО2-560S-4 500 кВт	1500
ВНС 300-420	7	300	420		А4-400Х-4 500 кВт		ВАО2-560S-4 500 кВт	1500
ВНС 300-480	8	300	480		А4-400У-4 630 кВт		ВАО2-560М-4 630 кВт	1500
ВНС 300-540	9	300	540		А4-450Х-4 800 кВт		ВАО2-560ЛА-4 800 кВт	1500
ВНС 300-600	10	300	600		А4-450Х-4 800 кВт		ВАО2-560ЛА-4 800 кВт	1500

Таблиця 11. -Характеристики електронасосних агрегатів типу К.

Тип насоса	Характеристика насоса		Комплектующий электродвигун				ККД, %	Масса	
	подача, м³/год	напр., м	тип	потужність, кВт	напруга, В	частота обертання, об/хв		насосу	агрегату
К 20/30	20	30	4А 100S2	4	220/380	3000	64	38	92
К 45/30	45	30	4А 112M2	7,5			70	57,5	134
К 45/55	45	55	4А 160S2	15			63	98	310
			4А 132M2	11			60	98	265
К 90/20	90	20	4А 112M2	7,5			78	62	135
К 90/35	90	35	4А 160S2	15	77	98	330		
			4А 132M2	11	72	98	265		
К 90/55	90	55	4А 180S2	22	70	100	350		
			4А 160M2	18,5	64	100	435		
К 90/85	90	85	4А 200L2	45	65	120	520		
			4А 200M2	37	64	120	495		
К 160/20	160	20	4А 160S4	15	81	135	370		
			4А 132M4	11	76	135	300		
К 160/30	160	30	4А 180M4	30	75	150	435		
			4А 180S4	22	69	150	415		
			4А 160M4	18,5	67	150	440		
К 290/18	290	18	4А 180S4	22	83	160	420		
			4А 160M4	18,5	80	160	420		
К 290/30	290	30	4А 200M4	37	82	170	550		
			4А 180M4	30	78	170	460		

Таблиця 12. -Характеристики двигунів серії «Україна» середньої та великої потужності.

Тип двигуна	Номінальна потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	ККД, %	Cos φ	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\frac{M_M}{M_H}$	$\frac{GD^2}{9,81 \text{ Н} \cdot \text{м}^2}$
Україна-11-1/2	200	2970	92,5	0,88	6,0	0,8	2,2	17,1
Україна-11-2/2	250	2970	93	0,88	6,5	1,0	2,2	19,7
Україна-11-3/2	320	2970	93	0,88	6,5	1,0	2,2	22,3
Україна-11-4/2	400	2970	93,5	0,88	6,5	1,0	2,2	24,7
Україна-12-2/2	500	2970	94	0,88	6,5	1,0	2,2	46
Україна-12-3/2	630	2970	94	0,89	6,5	1,0	2,2	57,5
Україна-12-4/2	800	2970	94,6	0,9	6,5	1,0	2,2	70
Україна-11-1/4	200	1485	93	0,84	6,0	1,2	2,2	39,2
Україна-11-2/4	250	1485	93,5	0,84	6,0	1,2	2,2	43,8
Україна-11-3/4	320	1485	94,4	0,84	6,0	1,2	2,2	51,3
Україна-11-4/4	400	1485	94,5	0,85	6,0	1,2	2,2	60,5
Україна-12-2/4	500	1485	94,6	0,86	6,0	1,2	2,3	101
Україна-12-3/4	630	1485	94,7	0,87	6,0	1,2	2,3	136
Україна-12-4/4	800	1485	95	0,87	6,5	1,2	2,4	168
Україна-12-5/4	1000	1485	95,2	0,87	6,5	1,2	2,5	193
Україна-13-1/4	1250	1485	94,3	0,87	6,0	1,2	2,5	320
Україна-13-2/4	1600	1485	95,5	0,88	6,0	1,2	2,5	400

Таблиця 13. -Характеристики двигунів серії ВАО малої та середньої потужності.

Тип двигуна	Напруга, В	Потужність на валу, кВт	При номінальному навантаженні		Cos φ	$\frac{I_{II}}{I_H}$	$\frac{M_{II}}{M_H}$	$\frac{M_M}{M_H}$	Маса, кг	$\frac{GD^2}{9,81 \text{ Н} \cdot \text{м}^2}$	
			струм статора, А	ККД, %							
3000 об/хв											
BAO 315S-2	380 660	132	245 140	92,5	0,90	6,5	1,5	2,5	1060	60	
BAO 315M-2	380 660	160	285 165	93,0	0,91	7,0	1,5	2,5	1170	70	
BAO 355M-2	380 660	200	385 210	93,5	0,91	7,0	1,5	2,8	1475	116	
BAO 355L-2	660	250	260	94,0	0,91	7,0	1,5	2,8	1645	144	
BAO 450S-2	660	315	320	94,5	0,91	7,0	1,5	2,8	1940	225	
1500 об/хв											
BAO 315S-4	380 660	132	245 140	93,5	0,88	6,5	1,7	2,5	1060	140	
BAO 315M-4	380 660	160	300 170	94,0	0,88	6,5	1,7	2,5	1170	170	
BAO 355M-4	380 660	200	365 210	94,0	0,88	6,5	1,7	2,5	1475	220	
BAO 355L-4	660	250	260	94,5	0,89	6,5	1,7	2,5	1645	270	
BAO 450S-4	660	315	325	94,5	0,89	6,5	1,7	2,5	2000	490	

Таблиця 14. -Характеристика двигунів серії ВАО середньої та великої потужності.

Тип двигуна	Номінальна потужність, кВт	При номінальному навантаженні		Cos φ	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\frac{M_M}{M_H}$
		струм статора, А	ККД, %				
3000 об/хв							
ВАО 450М-2	200	24,0	93,7	0,86	6,5	1,1	2,8
ВАО 450L-2	250	29,0	94,2	0,88	6,5	1,1	2,8
ВАО 500М-2	315	36,3	94,0	0,89	6,5	1,1	2,8
ВАО 500L-2	400	46,0	94,2	0,89	6,5	1,1	2,8
1500 об/хв							
ВАО 450М-4	200	23,6	93,0	0,87	6,0	1,2	2,5
ВАО 450L-4	250	29,6	93,2	0,87	6,0	1,2	2,5
ВАО 500М-4	315	37,3	94,0	0,87	6,0	1,2	2,5
ВАО 500L-4	400	46,1	94,5	0,88	6,0	1,3	2,5
ВАО 560М-4	500	56,9	94,0	0,9	6,5	1,3	2,5
ВАО 560S-4	630	71,0	94,5	0,9	6,5	1,3	2,5
ВАО 630М-4	800	90,0	95,0	0,9	6,5	1,3	2,5
ВАО 630S-4	1000	112,0	95,4	0,9	6,5	1,3	2,5
ВАО 710М-4	1250	139,0	95,5	0,9	6,0	1,4	2,4
ВАО 710L-4	1600	177,0	95,7	0,91	6,0	1,4	2,4
ВАО 800L-4	2000	218,0	96,0	0,91	6,5	1,5	2,4

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Конспект лекцій з дисципліни «Гірнича механіка» для студентів гірничих спеціальностей. Павлоград, 2020.(GOOGLE-клас)
2. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. – Київ, 2006.
3. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К., 2010