

## Лекція № 3. ЕЛЕКТРОПРИВОД ВОДОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

### План

1. Загальні відомості про водонасосні установки;
2. Механічні та енергетичні характеристики насосів;
3. Вибір електродвигунів для привода насосів;
4. Способи регулювання подачі насосів;
5. Принципи автоматизації водонасосних установок;
6. Автоматичний захист електронасосних агрегатів;
7. Комплектні пристрої керування водонасосними установками;
8. Автоматизований електропривод в установках зрошення.

### 1. Загальні відомості про водонасосні установки

Затрати ручної праці на подачу води у тваринницькі ферми становлять 30% від усіх робіт, а застосування автоматизованого електропривода збільшує продуктивність праці на цих операціях у 18-20 разів.

Водопостачання ферм і комплексів здійснюється за різними технологічними схемами, які класифікують за такими ознаками:

- способом водозабору: з відкритих водоймищ (річок, ставків, озер), шахтних колодязів, артезіанських свердловин, для господарсько-питних потреб застосовують тільки два останні способи;
- способом подачі води споживачам: з безпосередньою подачею води у водопровідну мережу (застосовують у системах зрошення), водонапірною баштою, установками з гідроаккумуляторами;
- способом розподілу води: системи з автонапувалками різних типів, системи з проточною водою.

Для прийнятої схеми водопостачання визначають подачу води та напір, які необхідні для вибору насоса.

Середньодобові витрати води на об'єкті  $Q_{\text{сер.д}}$ , м<sup>3</sup>/доб, визначають за формулою

$$Q_{\text{сер.д}} = \sum_{i=1}^{i=n} q_i m_i, \quad (2.1)$$

де  $q_i$ , - добова норма споживання води одним споживачем  $i$ -го виду;

$m_i$  - кількість споживачів  $i$ -то виду;

$n$  - кількість видів споживачів.

Добові норми споживання води основними групами тварин і птиці приймають за галузевими нормами технологічного проектування (ГНТП). Вони становлять, наприклад, для корів молочного напрямку - 100, телят - 20, свиноматок з поросятами - 60, свиней на відгодівлі - 15, курей яєчних порід - 0,76, м'ясних порід - 0,51 л/доб. на одну голову.

За відомим добовим споживанням води визначають подачу насоса протягом однієї години, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_{\text{мах.год}} = \frac{Q_{\text{сер.д}} \alpha_{\text{доб}} \alpha_{\text{год}}}{24}, \quad (2.2)$$

де  $\alpha_{\text{доб}}$  - коефіцієнт добової нерівномірності споживання води,  $\alpha_{\text{доб}} = 1,3$ ;  
 $\alpha_{\text{год}}$  - коефіцієнт годинної нерівномірності (для систем з автонапувалками  $\alpha_{\text{год}} = 2,5$ ; без автонапувалок  $\alpha_{\text{год}} = 4$ ).

Максимальні секундні витрати води, м<sup>3</sup>/с, дорівнюють:

$$Q_{\text{мах.с}} = \frac{Q_{\text{мах.год}}}{3600} + Q_{\text{пож}},$$

де  $Q_{\text{пож}}$  - витрати води на гасіння пожежі, приймають за даними будівельних норм і правил (БНіП). Для типових сільськогосподарських приміщень  $Q_{\text{пож}} = 5 - 10$  л/с при тривалості пожежі до 3 год.

Розрахунковий напір води  $H_p$ , м, у системі, який повинен забезпечуватись насосом, визначають за технологічною схемою водопостачання з урахуванням геодезичних позначок (рис. 2.1):

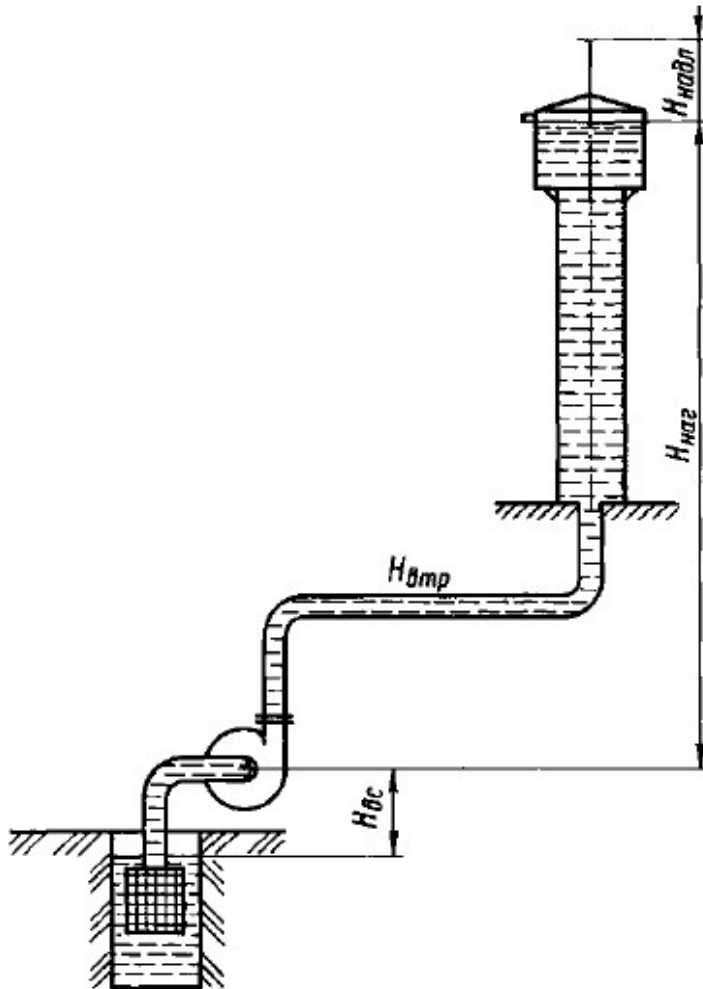


Рис. 2.1. Технологічна схема визначення розрахункового напору насоса

$$H_p = H_{\text{вс}} + H_{\text{наг}} + H_{\text{втр}} + H_{\text{надп}}. \quad (2.4)$$

де  $H_{\text{вс}}$  - висота всмоктування (залежить від висоти встановлення насоса над рівнем

водойми, атмосферного тиску та температури води);  $H_{\text{наг}}$  - висота нагнітання (відстань від осі насоса до найвищого рівня у водонапірній башті);  $H_{\text{втр}}$  - втрати напору в трубопроводах, вентилях, засувках (при орієнтовних розрахунках приймається 5% від загального напору);  $H_{\text{надл}}$  - надлишковий напір (який необхідний для створення певної швидкості витікання води у найвищій точці водоспоживання (вільний напір)).

За одержаними даними  $Q_{\text{max-c}}$  та  $H_p$  з урахуванням технологічних схем вибирають насос.

## 2. Механічні та енергетичні характеристики насосів

Для сільськогосподарського водопостачання застосовують кілька типів насосів. За конструктивним виконанням та призначенням розрізняють такі відцентрові насоси:

1. Відцентрові насоси консольні. Використовуються для підйому води із поверхневих джерел та шахтних криниць. Продуктивність насосів від 6 до 315 м<sup>3</sup>/год; повний напір від 2 до 85 м; ККД від 43 до 83 %.

2. Відцентрові насоси моноблокові. Моноблокові насоси відрізняються від консольних тим, що не мають свого вала, а робоче колесо і корпус встановлені на валу і фланцю електродвигуна. Технічні характеристики моноблокових насосів подібні консольним.

3. Відцентрові насоси багатоступеневі. Використовуються для підйому великої кількості води зі значним напором. Продуктивність насосів знаходиться в межах від 50 до 90 м<sup>3</sup>/год, напір від 100 до 210 м, ККД від 60 до 80%.

4. Відцентрові вихрові насоси. Ці насоси застосовують для подачі невеликої кількості води із відкритих джерел та шахтних криниць на велику висоту. Продуктивність насосів знаходиться в межах 3,6 -36 м<sup>3</sup>/год, напір від 20 до 60 м, ККД від 18 до 37%.

5. Відцентрові (артезіанські) заглибні насоси. Призначені для підйому води з артезіанських свердловин. З цією метою використовуються насоси типів АП, АПВ, ЭПВ, ЭПЛ, ЭЦВ, АТН. Продуктивність цих насосів знаходиться в межах 1,6-40 м<sup>3</sup>/год, напір - 45-65 м, ККД - від 40 до 70%. Ці насоси довгі з невеликим діаметром, повністю заповнюються водою, провід із подвійною ізоляцією ПВВП – надійно працює у воді.

### Конструктивні виконання відцентрових насосів

| Назва                    | Призначення  | Продуктивність              | Напір    | ККД     |
|--------------------------|--|-----------------------------|----------|---------|
| <u>Консольний</u>        | Підйом води із поверхневих джерел та шахтних криниць | 6 - 315 м <sup>3</sup> /год | 2 - 85 м | 60–80 % |
| <u>Моно-блоковий</u>     | Підйом води із поверхневих джерел та шахтних криниць | 6 - 315 м <sup>3</sup> /год | 2 - 85 м | 60–80 % |
| <u>Багато-ступеневий</u> | Підйом великої кількості води зі значним напором     | 50 - 90 м <sup>3</sup> /год | 100-210  | 60–80 % |

|                  |   |                             |         |          |
|------------------|---|-----------------------------|---------|----------|
| <u>Вихровий</u>  | Подача невеликої кількості води із відкритих джерел | 3,6 -36 м <sup>3</sup> /год | 20-60 м | 18 - 37% |
| <u>Заглибний</u> | Підйом води з артезіанських свердловин              | 1,6-40 м <sup>3</sup> /год  | 45-65 м | 40 - 70% |

Механічна характеристика відцентрового насоса має вентиляторний вигляд і описується формулою:

$$M_O = M_{TP} + (M_{OH} - M_{TP})(\omega/\omega_H)^X$$

де  $M_O$  - момент опору при кутовій швидкості,  $\omega$ ;

$M_{OH}$  - момент опору при номінальній кутовій швидкості,  $\omega_H$ ;

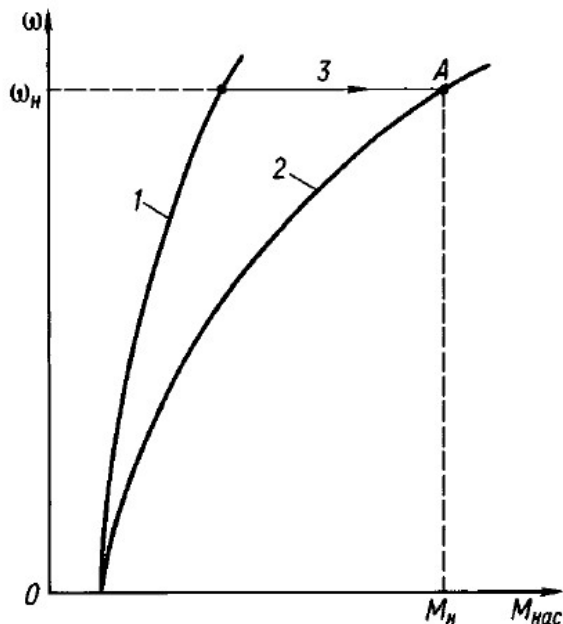
$M_{TP}$  - момент (зрушення) опору від сил тертя у рухомих частинах машини для відцентрового насоса  $M_{TP} = 0,05M_{OH}$ ;

$X$  - показник степеня, для відцентрового насоса  $X = 2$ .

$\omega_H$  - номінальна кутова швидкість;  $\omega$  - поточна кутова швидкість.

Момент зрушення відцентрових насосів невеликий, тому перевірка вибраного двигуна за умовами пуску не потрібна.

Механічна характеристика (рис. 2.2) залежить також від способу пуску. За технологією рекомендують запускати відцентровий насос із закритою засувкою на напірному трубопроводі (лінія 1), при цьому момент опору на швидкості, близькій до номінальної, становить 0,4-0,5  $M_{ном}$ , тобто пуск значно полегшений. Після запуску відкривають засувку (лінія 3) і характеристика насоса переходить у робочу точку  $A$ . Якщо при пуску засувка буде відкрита, то пуск проходитиме зі значно більшими моментами (лінія 2), і за певних обставин (зниження напруги) може порушитись умова  $M_{дв} > M_{нас}$ , наприклад у точці мінімального моменту двигуна.



1 - пуск при закритій засувці на напірному трубопроводі; 2 - те саме, при відкритій засувці; 3 - лінія відкривання засувки після запуску насоса

Рис. 2.2. Механічні характеристики відцентрового насоса:

Особливістю відцентрових насосів є те, що зі зміною кутової швидкості різко змінюються основні параметри насоса. При цьому мають місце пропорції:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^3$$

де  $Q_1, H_1, M_1, P_1$  - відповідно продуктивність, напір, момент опору та споживана потужність при швидкості  $\omega_1$ , решта - при  $\omega_2$ .

Подача відцентрового насоса  $Q_n \equiv \omega$ , напір  $H_n \equiv \omega^2$ , момент  $M_c \equiv \omega^2$ , потужність  $P_n \equiv \omega^3$ . Тому вибирають кутову швидкість двигуна так, щоб робоча точка знаходилася в зоні максимальних значень ККД агрегату  $\eta$ .

Із цих пропорцій найбільшої уваги з точки зору електропривода заслуговує залежність споживаної потужності від частоти обертання (кутової швидкості). Розглянемо це на конкретному прикладі. Відцентровий насос із механічною характеристикою  $M_{нас}(n)$  (рис. 2.3) приводиться в дію електродвигуном М1 потужністю 3,0 кВт,  $n_c = 1000$  об/хв. Механічна характеристика цього двигуна побудована для спрощення за округленими даними. Робоча точка насоса з двигуном - А. Двигун М1 вийшов із ладу і через дефекти його замінили на двигун М2 з тією самою потужністю, але з  $n_c = 1500$  об/хв (характеристика М2 (n)). Враховуючи особливість  $M_{нас}(n)$ , момент насоса зростає в другому степені і робоча точка агрегату буде А' (номінальний момент двигуна М2 позначений точкою В). Як видно з рисунка, навантаження М2 буде майже вдвічі більшим за номінальне (близьким до  $M_{кр}$ ) і природно, що двигун буде перегріватись і може вийти з ладу.

Одночасно при зростанні частоти обертання в 1,5 раза подача насоса зростає теж в 1,5 раза, а напір в 2,25 раза, оскільки  $H \equiv n^2$ , що значно змінить параметри водопостачання і може призвести до негативних наслідків.

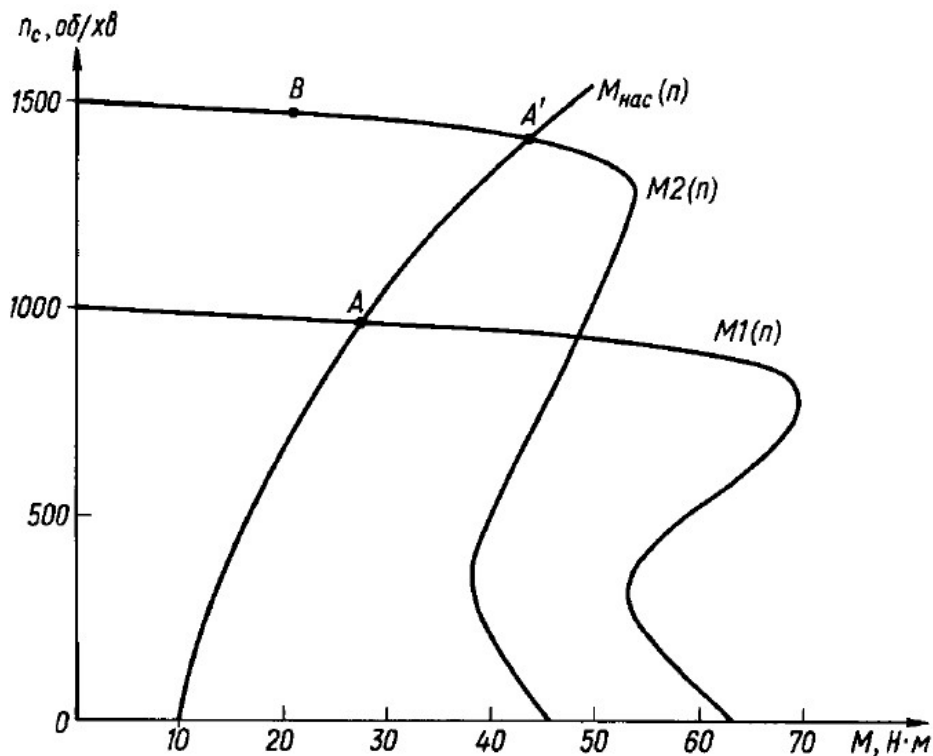


Рис. 2.3. Сумісні механічні характеристики відцентрового насоса та електродвигунів з різними частотами обертання

До енергетичних характеристик відцентрового насоса відносять залежність

ККД ( $\eta$ ), напору ( $H$ ), споживаної потужності ( $P$ ) від подачі  $Q$ , яка змінюється за рахунок зміни положення засувки (рис. 2.4), при цьому в точці  $Q = 0$  засувка на вихідному патрубку закрита повністю. Основним енергетичним показником, що буде визначальним при виборі режиму роботи, є ККД насоса. Із ростом подачі насоса  $\eta$  зростає до  $\eta_{max}$ . Цій точці відповідає оптимальне значення подачі  $Q_{max\eta}$ . При виборі двигуна враховують, що з точки зору найменших втрат енергії  $\eta$  повинно знаходитись у зоні  $(0,9 - 1,0) \eta_{max}$ . Це відповідає подачі насоса в межах  $Q_1 - Q_2$ .

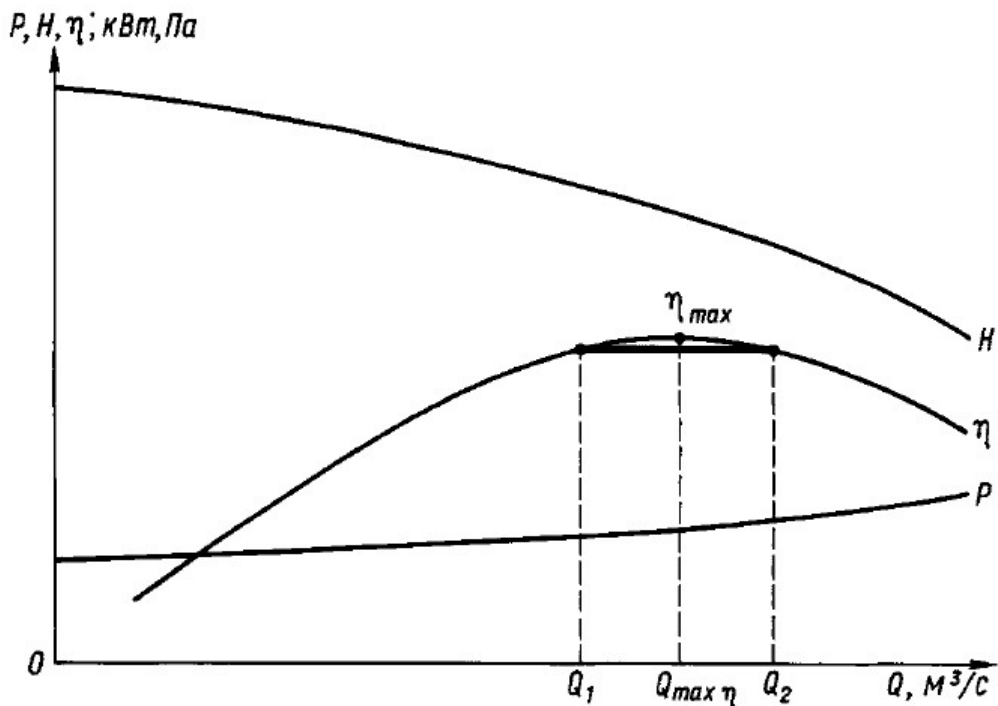


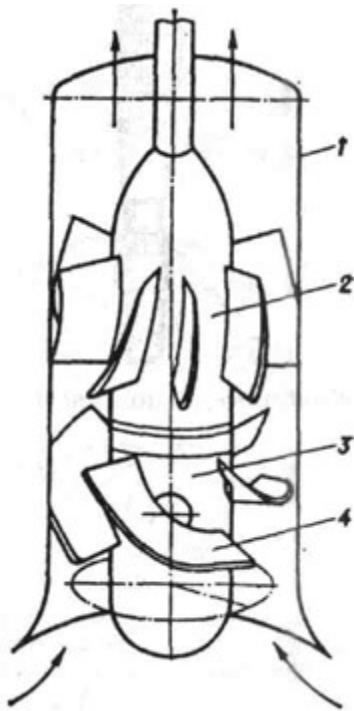
Рис. 2.3. Енергетичні характеристики відцентрового насоса

Споживана двигуном потужність із ростом подачі теж зростає і для відцентрових насосів досягає максимуму при максимальній подачі та мінімальному напорі. Коли засувка повністю закрита ( $Q = 0$ ), двигун споживає мінімальну потужність, що підтверджує висновок про те, що пуск відцентрового насоса треба здійснювати при закритій засувці.

Осьові насоси свою назву отримали тому, що їх робочі колеса складаються із декількох гвинтових лопатей, що мають форму лопатевих пропелерів. Рух рідини в цих насосах проходить по осі обертання колеса без зміни свого напрямку, ось чому ці насоси називаються також осьовими. На рис. 2.4 зображена схема осьового (пропелерного) насосу. Його робоче колесо 4 має декілька лопатей, вигнутих по гвинтовій поверхні і прикріпленні до втулки 3, з'єднаної з вертикальним валом; насос має направляючий апарат 2.

Лапасті робочих коліс великих пропелерних насосів роблять поворотними, що дозволяє регулювати продуктивність насосу при постійному числі обертів і без зниження ККД. По розташуванню валу осьові насоси бувають з горизонтальним та вертикальним розташуванням валу.

Пропелерні насоси можна піднімати значні маси рідини при невеликих напорах; їх використовують для подачі рідини від 0,1 до 30 м<sup>3</sup>/с при напорах до 20 м.



1 – корпус; 2 - направляючий апарат; 3 - втулка, з'єднана з вертикальним валом; 4 - робоче колесо (має декілька лопатей вигнутих по гвинтовій поверхні);

Конструктивна схема осевого насоса

Потужні пропелерні насоси, що мають продуктивність 25 м<sup>3</sup>/с при напорах від 6 до 11,5 м, встановлені на насосних станціях каналу імені Москви. Перевагою пропелерних насосів є простота і компактність конструкції, невелика вага, великий ККД (до 90 %) і можливість працювати на забруднених рідинах.

Робоча рідина під дією підйомної сили поступально пересувається уздовж камери в осьовому напрямку. Обертаючись, лопаті робочого колеса механічно впливають на рідину, що перекачується, змінюючи її швидкість, в результаті чого тиск під лопатями зменшується, а над лопатями збільшується. Щоб запобігти закручування робочим колесом рідини, перед виходом в колінчасте відведення є спеціальний направляючий апарат.



Конструкція осевого насоса у розрізі.

Осьові насоси можуть працювати практично з будь-якими рідкими середовищами різних температур, як нейтральними, так і агресивними, з чистими або забрудненими твердими і рідкими домішками, домагаючись при цьому досить

високої продуктивності при невисокому рівні напору. Осьові насоси легко вбудовуються в будь-яку трубопровідну систему, завдяки конструкції проточної частини, виконаної у вигляді зігнутої труби циліндричної форми. Для запобігання процесу кавітації осьові насоси зазвичай занурюються нижче рівня перекачуваного рідкого середовища.

Енергетичні характеристики осьового (пропелерного) насоса (рис. 2.5) відрізняються від попередніх. Якщо ККД має ту саму закономірність, максимум і зону оптимальних значень, то споживана потужність має максимальне значення при закритій засувці ( $Q = 0$ ). При цьому потужність в 1,7 - 1,8 раза перевищує значення номінальної, коли засувка відкрита.

Звідси витікає правило: осьовий насос необхідно запускати тільки при відкритій засувці; робота із закритою засувкою є аварійним режимом. Найчастіше засувку на вихідному патрубку у цих насосів взагалі не встановлюють.

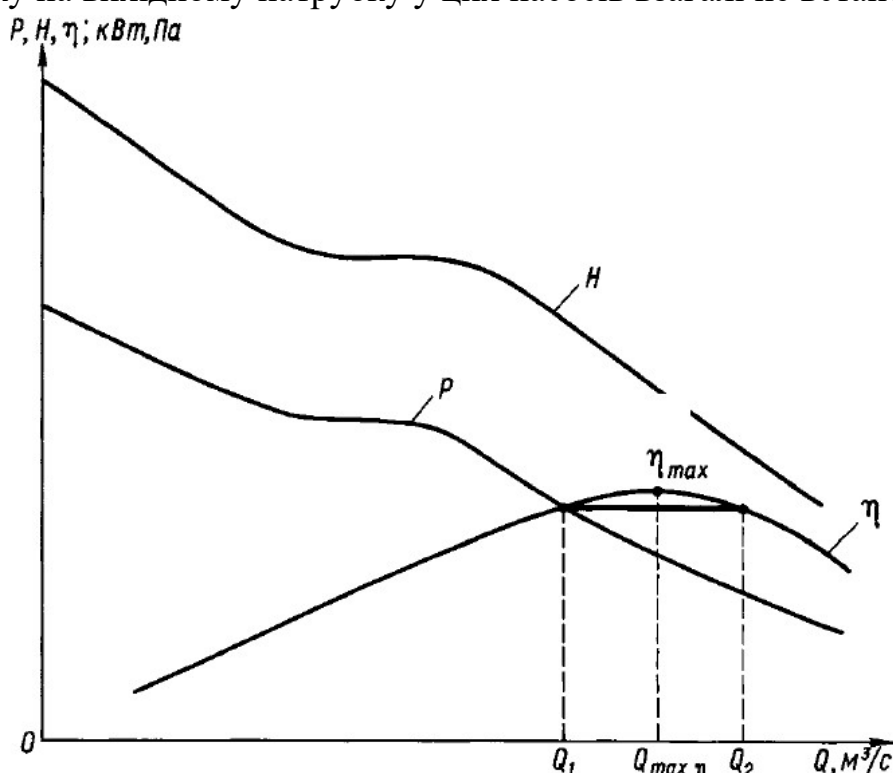


Рис. 2.3. Енергетичні характеристики осьового насоса

Головним недоліком насосів є мала висота всмоктування. Насоси цього типу застосовують в різних галузях народного господарства.

### 3. Вибір електродвигунів для привода насосів

За даними попереднього вибраного насоса ( $Q_{нас}$ ,  $H_{нас}$ ,  $\eta_{нас}$ ) визначають його розрахункову потужність -  $P_{розр}$ , кВт, за виразом

$$P_{розр} = \frac{Q_{нас} H_{нас} \rho g}{\eta_{нас} 10^3},$$

де  $Q_{нас}$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H_{нас}$  - висота підйому води (напір), м;  $\rho$  - густина води,



кг/м ;  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с ;  $\eta_{\text{нас}}$  - коефіцієнт корисної дії насоса.

Потужність привідного двигуна  $P_{\text{н.дв}}$ , кВт, визначають за співвідношенням

$$P_{\text{н.дв}} \geq \frac{K_3 P_{\text{розр}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (2.8)$$

де  $\eta_{\text{пер}}$  - ККД передачі (при безпосередньому з'єднанні двигуна з насосом  $\eta_{\text{пер}} = 1$ , для клинопасової передачі - 0,97);  $K_3$  - коефіцієнт запасу (при потужності двигуна до 1,5 кВт  $K_3 = 1,5$ ; від 1,5 до 4,0 кВт - 1,2; від 4,0 до 35 кВт - 1,15; більше 35 кВт - 1,1).

Вибір параметрів насоса для зрошення провадять із урахуванням зрошувальної норми - кількість води, м<sup>3</sup>/га, яка вноситься в ґрунт за весь період вегетації рослин. Ця норма вноситься за кілька поливів, що провадяться в різні періоди сезону, і називається поливною нормою.

Норму подачі води  $q$ , л/с•га, називають гідромодулем і розраховують за формулою

$$q = \frac{\alpha N_{\text{п}} 1000}{t \tau 3600}, \quad (2.9)$$

де  $\alpha = Fi/\Sigma Fi$  - частка даної культури в сівозміні;  $F_i$  - площа, зайнята однією культурою, га;  $N_{\text{п}}$  - поливна норма, м<sup>3</sup>/га;  $i$  - поливний період, діб;  $\tau$  - тривалість поливу за одну добу, год/доб.

За результатами розрахунків для всіх культур складають графік гідромодуля  $q(t)$ , підсумовуючи водо-подачу, коли терміни поливу збігаються. Щоб зменшити максимуми подачі, графік упорядковують, зміщуючи терміни поливу.

Загальну кількість води, що подається на всю площу, визначають за виразом

$$Q_{\text{розр}} = \frac{q_{\text{max}} F}{\eta_c}, \quad (2.10)$$

де  $Q_{\text{розр}}$  - загальна подача води на всю площу, л/с;  $q_{\text{max}}$  - максимальне значення гідромодуля;  $F$  - площа, що зрошується, га;  $\eta_c$  - ККД зрошувальної системи, який враховує втрати води,  $\eta_c = 0,75$ .

Розрахунковий напір ( $H_{\text{розр}}$ ) визначають за геодезичними позначками як різницю між рівнем води у водозабірній споруді та максимальною висотою подачі води з урахуванням втрат та необхідного надлишкового тиску. За цими даними вибирають насос зрошення, який може бути відцентровим або осьовим залежно від технологічної схеми, системи водозабору та параметрів водо-подачі.

Потужність двигуна для привода насоса зрошення вибирають за тими самими залежностями, що і для насосів водопостачання. Привод насосів водопостачання та зрошення забезпечується такими типами двигунів. Насоси типів К, КМ, В, ВК, а також осьові (пропелерні) за механічною характеристикою, пусковими якостями, конструктивним виконанням не висувають особливих вимог до електродвигуна. Тому для їх привода застосовують двигуни серії АІР загального виконання з відповідним ступенем захисту (У1, У2, У5) від впливу навколишнього середовища. На великих станціях зрошення з відцентровими або осьовими насосами потужністю

до 300 кВт встановлюють асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором напругою 380 В при потужності до 100 кВт і 6300 В - до 300 кВт. Якщо розрахункова потужність насосної станції перевищує 300 кВт, встановлюють синхронні електродвигуни високої напруги.

Перевагою синхронних двигунів з незмінна і стійка частота обертання, а також можливість використання цих двигунів як компенсаторів реактивної потужності в електричній мережі. їх недолік - складні схеми пуску та автоматизації, які потребують високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

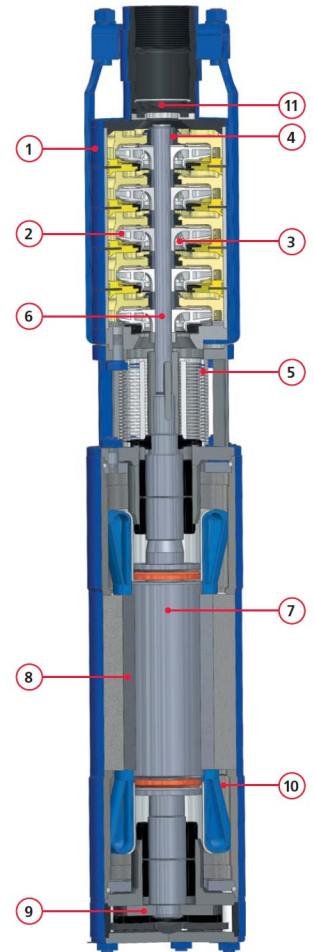
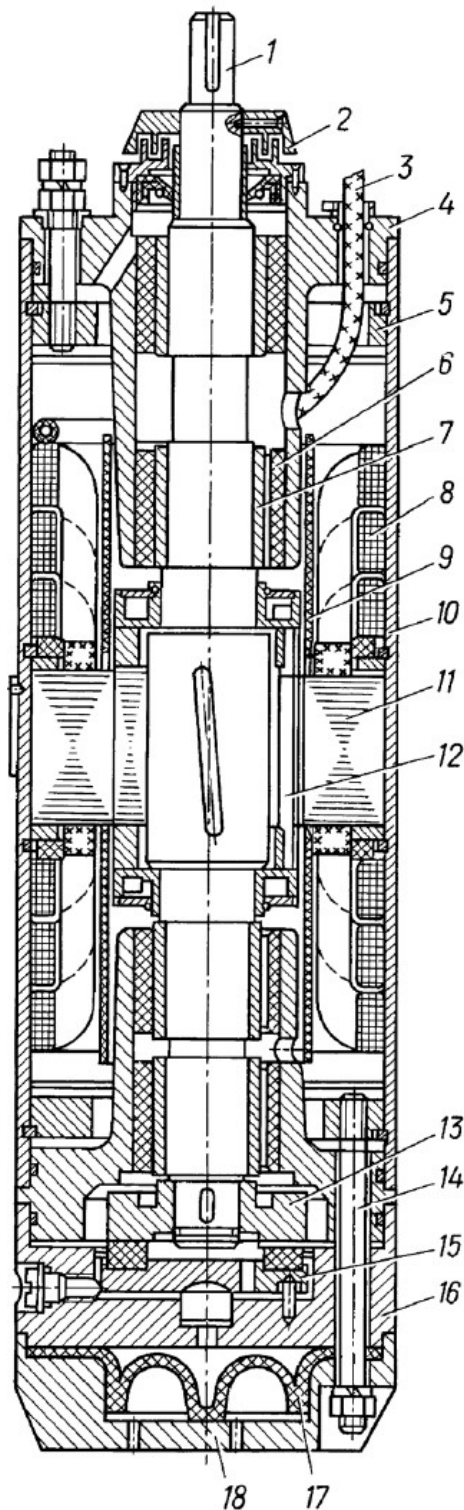
Пуск асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором потужністю 75 - 300 кВт здійснюють теж за спеціальними, але простішими схемами (реакторний, автотрансформаторний пуск).

Для водопостачання ферм, комплексів, тепличних господарств, а також для забезпечення побутових потреб населення найчастіше використовують електронасосні агрегати серії ЕЦВ, які піднімають воду з артезіанських свердловин глибиною 50-250 м. Ці насоси комплектуються спеціальними трифазними електродвигунами з короткозамкненим ротором серії ПЭДВ (П - заглибний, ЭД - електродвигун, В – водо-заповнений).

Основні конструктивні відмінності двигунів серії ПЭДВ від двигунів загального виконання (рис. 2.6):

- двигун виконаний з подовженим ротором з метою зменшення зовнішнього діаметра;
- двигун не має само-вентиляції, в тому числі на роторі, охолодження здійснюється за рахунок води в свердловині, температура якої не повинна перевищувати + 25 °С;
- статор двигуна являє собою сталю гладеньку трубу, в яку запресований пакет сталі;
- у двигуні застосовані підшипники ковзання сталь - гума; верхній складається з 2 пар армованих гумових втулок і сталюї втулки на валу, нижній - крім того, з п'яти з підп'ятником із тих самих матеріалів (замість гуми застосовують текстоліт). Змащення підшипників здійснюється водою;
- обмотка статора виконана проводом ПВДП-1 з вологостійкою полівініловою ізоляцією;
- перед зануренням у свердловину двигун заповнюється через спеціальну пробку чистою водою, яка використовується для охолодження і змащення (звідси назва "водо-заповнений");
- конструктивно двигун виготовлений без лап та фланців (виконання ІМ 9000), разом з насосом кріпиться на колонці труб вертикально валом уверх. З'єднання двигуна з насосом - жорсткою муфтою;
- живлення до електродвигуна підводять спеціальними проводами марки ВПВ або ВПП.

Механічна характеристика цього двигуна дещо відрізняється від загальної серії. Так, номінальне значення кратності пускового моменту для двигунів потужністю до 16 кВт становить 1, більше 16 кВт - 0,85 (у двигунів основного виконання - 1,4 - 2,2). Кратність максимального моменту дорівнює 2, кратність пускового струму не більше 7.



1 - вал; 2 - пристрій скидання піску; 3 - вивідний привід; 4 - верхній підшипниковий щит; 5 - фіксуюче кільце; 6 - гумово-металічна втулка підшипника; 7 - сталеві втулки підшипника; 8 - обмотка статора; 9 - захисний циліндр; 10 - корпус; 11 - пакет сталі статора; 12 - обмотка ротора; 13 - підшипникова п'ята; 14 - шпилька кріплення; 15 - під'ятник; 16 - корпус під'ятника; 17 - діафрагма; 18 - днище

Рис. 2.6. Конструктивний розріз заглибленого електродвигуна ПЕДВ-28-140

Враховуючи низьку допустиму температуру нагрівання ізоляції обмоток статора (близько 60 °С), двигуни допускають до трьох вмикань на годину з інтервалом між ними 5 хв. Аварійними режимами для двигуна ПЕДВ, крім короткого замикання, струмів перевантаження та обриву фази, є відсутність води в

свердловині (“сухий хід”) та потрапляння забрудненої води всередину двигуна, що призводить до виходу з ладу підшипників.

#### 4. Способи регулювання подачі насосів

Регулювання подачі насосів у сільськогосподарському виробництві застосовують лише в окремих випадках: у системах тепло- і водопостачання населених пунктів, установках зрошення.

Основні способи регулювання:

1. Зміна кількості працюючих насосних агрегатів при паралельній їх роботі; застосовують на насосних станціях, де кількість насосних агрегатів більше двох. Перевагою цього способу є те, що в процесі регулювання двигуни насосів працюють з номінальним навантаженням, а значить з високим ККД. Крім того, схеми автоматизації за цим способом достатньо прості з можливістю резервних варіантів роботи. Недоліками є збільшення капітальних вкладень на обладнання, невеликий коефіцієнт використання насосних агрегатів протягом року, необхідність перевірки електроприводів на допустиме число вмикань на годину.

2. Дроселювання (зміна положення засувки на трубопроводі) застосовують в основному, коли треба обмежити подачу насоса з технологічних причин. Привод засувки може бути ручним та електричним, в останньому випадку процес регулювання може бути автоматизований. Межі регулювання подачі насоса - від 0 до  $Q_{\text{ном}}$ . Основна перевага цього способу - простота та можливість здійснення в місцевих умовах при незначних капітальних витратах. Проте зміна положення засувки (див. рис. 2.4) призводить до зміни основних енергетичних характеристик насоса. Зменшення подачі дроселюванням доцільне лише в межах від  $Q_1$  до  $Q_2$ , де ККД насоса зменшується в межах  $0,1 \eta_{\text{max}}$ .

При подальшому регулюванні до  $(0,3 - 0,5) Q_{\text{ном}}$  ККД значно знижується, що призводить до підвищення втрат електроенергії. Тривала робота насоса з низькими подачами при постійній частоті обертання двигуна економічно не виправдана. Крім того, одночасно зі зміною подачі збільшується напір насоса, що не завжди доцільно. Оскільки потужність, споживана двигуном при дроселюванні, зменшується в незначних межах (при  $\omega = \text{const}$ ), а подача може зменшуватись в 2 і більше разів, питомі показники роботи електронасоса,  $\text{кВт/м}^3$ , значно погіршуються.

3. Регулювання зміною частоти обертання електродвигуна. Основним типом приводного двигуна для насосів є трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором, для якого застосовують три способи регулювання частоти обертання: зміною підведеної до двигуна напруги, кількості пар полюсів та частоти струму мережі живлення. Для механізмів із вентиляторною механічною характеристикою регулювання зміною підведеної напруги ефективно в межах 1:4, 1:6, оскільки завантаження двигуна в процесі регулювання залишається близьким до номінального і ККД регулювання достатньо високий.

Із трьох способів регулювання частоти обертання електродвигуна насосів перевагу віддають першому, враховуючи, що для другого способу треба застосовувати спеціальні багато-швидкісні двигуни, а для третього - значні капітальні вкладення на перетворювач частоти. Загальним їх недоліком є ускладнення схем керування. Більш ретельно питання регулювання частоти обертання приводних двигунів механізмів з вентиляторною характеристикою розглянуті в третьому розділі.

## 5. Принципи автоматизації водонасосних установок

Залежно від конструкції водопідйомної установки, способу забору і подачі води в мережу та режиму роботи використовують такі принципи автоматичного керування:

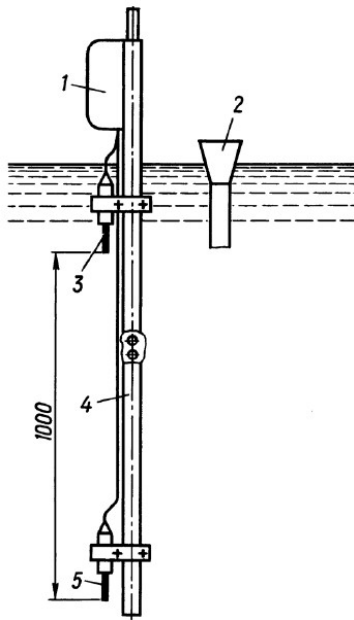
- 1) за рівнем води в гідро-акумуляторній споруді (режим водо-підйому);
- 2) за рівнем води в свердловині чи колодязі (режим дренажу);
- 3) за тиском стовпа води в гідро-акумуляторній споруді (режим водо-підйому);
- 4) за тиском у пневмо-гідроакумуляторі;
- 5) за тиском води в системі зрошення;
- 6) за програмою, складеною відповідно до технологічної карти водопостачання чи зрошення.

Схема, побудована за будь-яким із цих принципів, повинна відповідати загальним вимогам: бути надійною в роботі, простою, з максимальною кількістю однотипних елементів, зручною у керуванні, ремонтопридатною, простою в обслуговуванні, дешевою.

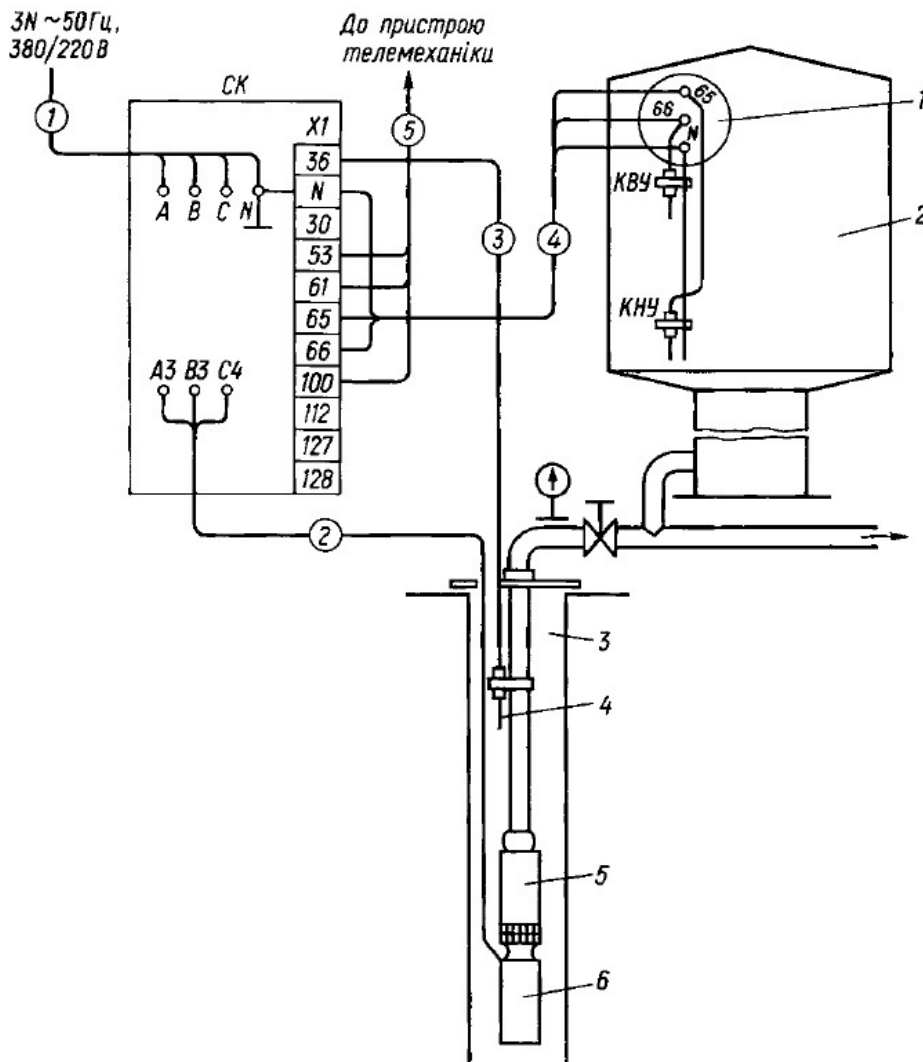
У сільськогосподарському виробництві найбільше застосування знайшов **перший принцип автоматизації**, коли за технологією вода нагромаджується в гідро-акумуляторній споруді (найчастіше це башта Рожновського), а звідти надходить у водорозподільну мережу. Рівень води в башті контролюється стержневим датчиком (рис. 2.7), який працює за принципом електропровідності води, коли простір між електродами верхнього (3 - 4) чи нижнього (5 - 4) рівнів заповнений водою.

Це відповідає замкненим контактам. Коли води немає - контакти розімкнені. Електроди рівнів являють собою оцинковані сталеві стержні діаметром 10 мм, які закріплені в ізоляційних вставках. Датчик рівня розміщується в башті згідно зі схемою (рис. 2.8). Відстань між контактами верхнього (КВУ) та нижнього (КНУ) рівнів визначає регульований об'єм башти. Між баштою та станцією керування прокладають (65 - 66 - N).

На цьому принципі побудовані станції керування насосними установками серій ПЭТ, ШЭТ, ШЭП, "Каскад", УСУЗ та інші, які відрізняються одна від одної елементною базою (перші дві з виробництва зняті).



1 - вивідна коробка датчика; 2 - зливна труба водонапірної башти; 3 - контакт верхнього рівня; 4 - стержень для кріплення датчиків; 5 - контакт нижнього рівня  
 Рис. 2.7. Схема установки датчика рівнів води:



1 - датчик рівня; 2 - водонапірна башта; 3 - свердловина; 4 - датчик "сухого ходу"; 5 - насос; 6 - заглибний електродвигун  
 Рис. 2.8. Схема з'єднань пристрою керування установкою водопостачання:

Схема керування (рис. 2.9) працює так. Коли напруга на схему подана, перемикач SA1 знаходиться в положенні “А” (автоматичне керування) і води в регульованій частині башти немає, контакти датчика рівня КВУ та КНУ не омиваються водою, отже, вони розімкнені, котушка реле КV1 не отримує живлення, його контакти КV1.2 замкнені, що створює умови для спрацювання пускача КМ, який подає напругу на статор двигуна насоса. Вода починає наповнювати башту.

Якщо рівень води в башті досягає контактів КНУ, вони замикаються водою, але КV1 не спрацьовує, оскільки в цьому самому колі є розімкнені контакти реле КV1.1. Насос продовжує працювати.

Коли рівень води в башті досягає КВУ, отримує живлення котушка реле КV1, реле спрацьовує, розмикає контакти КV1.2, електродвигун насоса вимикається. Котушка КV1 живиться через випрямляч VB, що виключає вібрацію реле при нечіткому контакті та резистор R, який знижує напругу до 48 В.

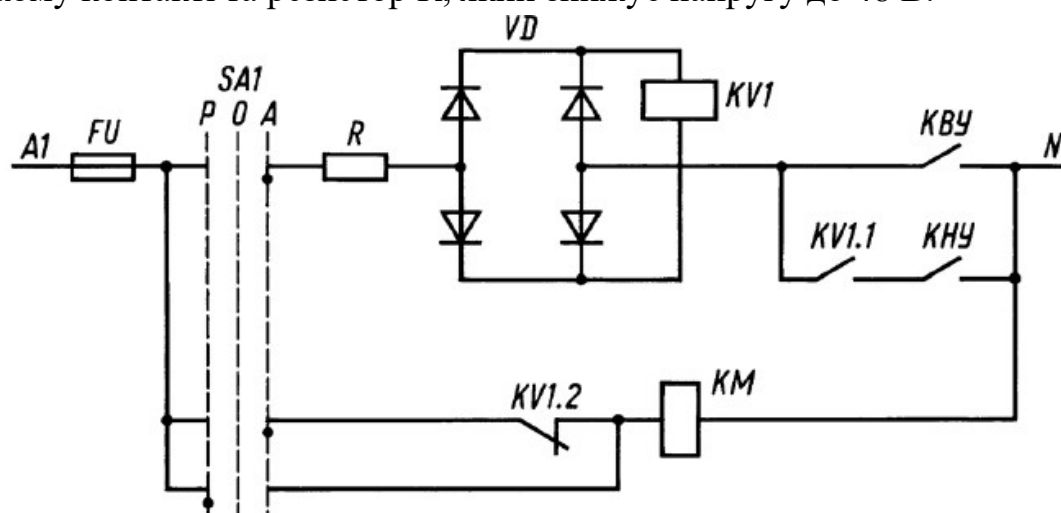


Рис. 2.9. Релейно-контактна електрична схема керування електронасосом за рівнем води в башті

У процесі споживання води рівень її в башті знижується, контакти КВУ виходять із води (розрив кола), але електродвигун насоса не вимкнеться, оскільки реле КV1 продовжує отримувати живлення через ланку КV1.1 - КНУ. Реле КV1 втратить живлення тільки після того, як рівень води буде нижче КНУ. Тоді його контакти КV1.2 замикаються, вмикається двигун насоса і цикл повторюється. Чим менша відстань між КВУ і КНУ, тим більшою буде частота вмикання насоса при незмінному споживанні води.

У положенні перемикача SA1 “Р” (ручне) двигун насоса вмикається оператором незалежно від рівня води в башті, тобто працює лише нижня ланка кіл керування.

У станції керування серії ШЗП цей самий принцип реалізований так (рис. 2.10). Попередньо спеціальними перемичками замикають клеми 56 - 57 (перемичка XT2) та 23 - 63 (XT1), перемикач SA2 ставлять у положення В (водо-підйом), а SA1 - у положення АУ (автоматичне керування).

Якщо у водонапірній башті води немає, а отже, КВУ та КНУ розімкнені, сигнал від датчика рівня в схему не надходить. Стабілітрон VD12 пробитий зворотною напругою, транзистор VT3 відкритий базовим струмом, величина якого визначається резистором R6, реле KV ввімкнене, а отже, ввімкнений пускач KM (за ланкою C2 - KV - KM - N). Подається напруга на електродвигун насоса і вода починає надходити в баніту (резервуар). При спрацюванні реле KV розмикає свій замкнутий контур у колі КНУ. Коли вода досягає верхнього контрольованого рівня, контакт КВУ замикається і від трансформатора Т4 надходить напруга, яка пробиває стабілітрон VD11. Негативний сигнал проходить через стабілітрон VD12 і закриває транзистор VT3, оскільки припинається базовий струм. Реле KV втрачає живлення, а разом з ним вимикається і пускач KM, електронасос зупиняється. Контакт реле KV у колі КНУ замикається. При споживанні води рівень її в баніті знижується і коли контакти КНУ виходять із води, коло розривається.

Сигнал, який замикає транзистор VT3, зникає, останній відкривається, реле KV вмикається і вимикається пускач KM у статорному колі електронасоса. Цикл повторюється знову.

У станції серії "Каскад" (рис. 2.11) всі функції керування водо-підйомом виконує блок БОН 9200. Схема побудована на польових транзисторах. Для переведення станції в режим водо-підйому перемикають попарно клеми 72 - 73 та 78 - 79, а перемикач SA2 ставлять у положення АУ (автоматичне керування).

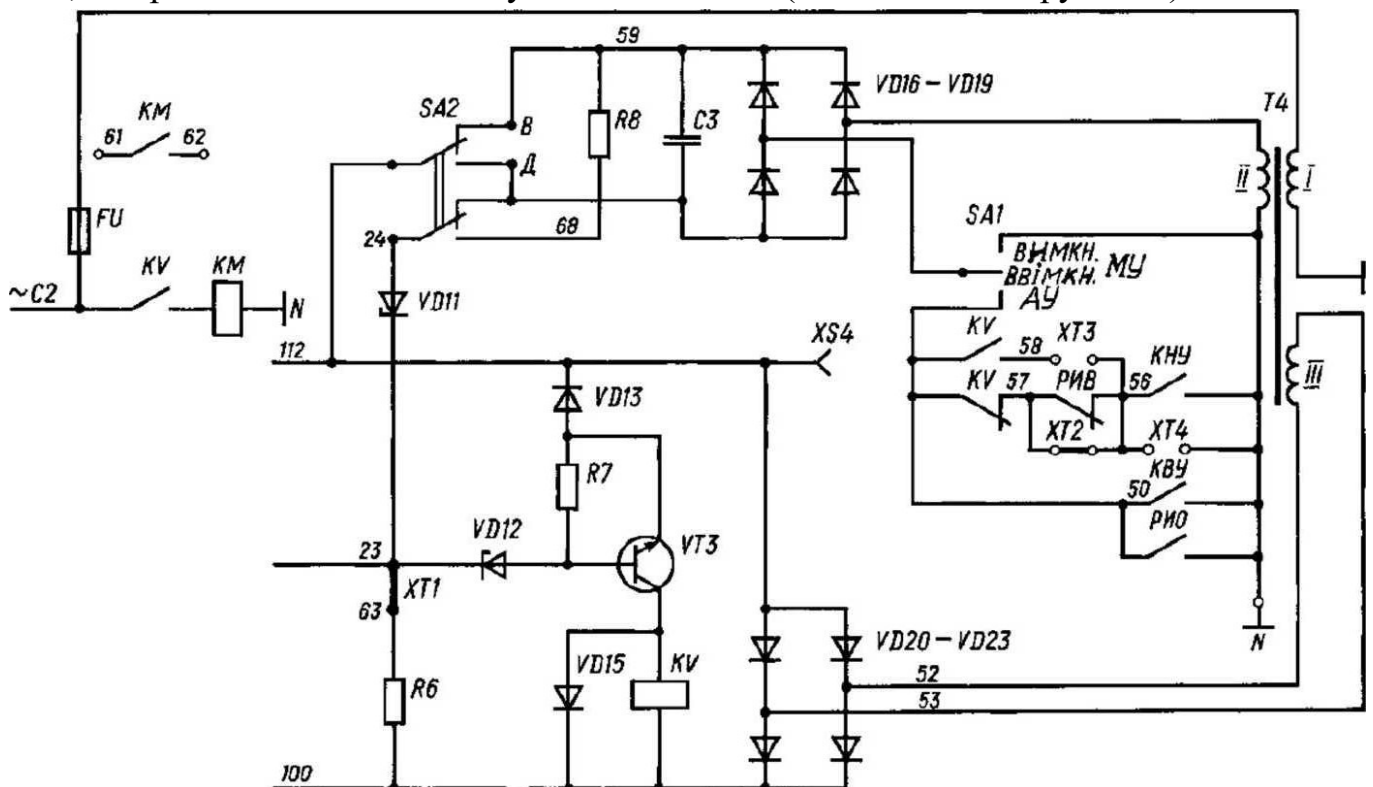


Рис. 2.10. Принципіальна електрична схема керування насосною установкою за рівнем води в башті

При відсутності води у водонапірній баніті контакт КНУ розімкнений, а транзистор D7-3 закритий. Негативний потенціал від джерела живлення через



резистор R14, діод VD24 та перемикач SA2 прикладається до потенціометра R40, а через нього - до ланки R41 - C12. Після закінчення витримки часу, яка визначається параметрами резисторів R40, R41 та конденсатора C12, вмикається реле KV1, яке своїм контактом подає сигнал на пуск електронасоса. Коли вода замкне КНУ, транзистор D7-3 відкривається, але реле KV1 залишається ввімкненим, оскільки на затвор транзистора D1-4 подається негативний потенціал через діод VD35.

Лише коли вода замкне контакт КВУ, транзистор D7-1 відкривається, D7-2 - закривається, D7-4 та V7-5 - відкриваються. Негативний потенціал джерела живлення через відкритий транзистор V7-5, діод VD30, перемикач SA2 та стабілітрон VD34 прикладається до бази транзистора VT9, який закривається, реле KV1 втрачає живлення і вимикає силовий пускач КМ.

При зниженні рівня води нижче КВУ насос не вмикається, оскільки транзистор D7-3 залишається відкритим через замкнений КНУ і до затвора транзистора D1-4 не прикладений негативний потенціал. Лише після виходу з води КНУ транзистор D7-4 закривається і пуск насоса здійснюється в описаній раніше послідовності.

**Другий принцип автоматизації** застосовується, коли електронасос використовують для зниження рівня ґрунтових вод (дренажу). У цьому випадку датчики рівня встановлюють у свердловинах або колодязях, де контролюють рівень води. На відміну від попереднього принципу електронасос повинен вмикатися, коли контрольований рівень води досягає контактів КВУ, а вимикатися при зниженні рівня води до заданого КНУ.

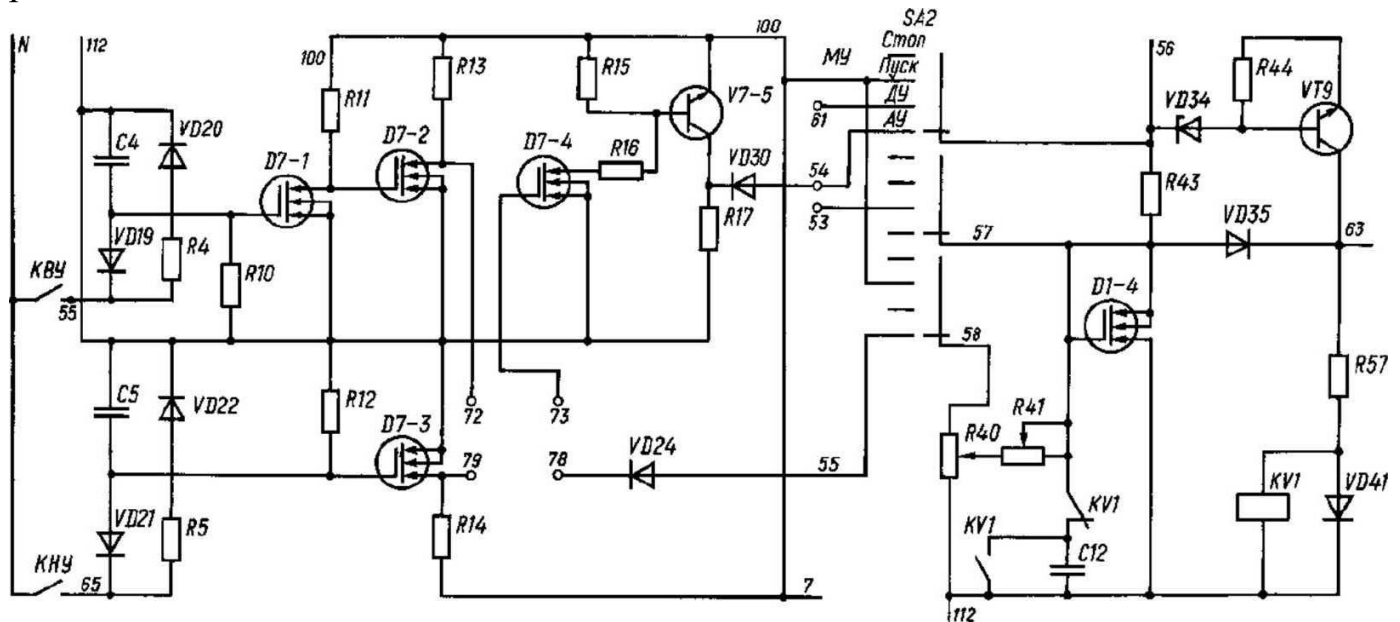


Рис. 2.11. Принципіальна електрична схема керування насосною установкою за рівнем води в башті (станція "Каскад")

У станції керування серії ШЭП (див. рис. 2.10) перемикач SA2 ставлять у положення Д (дренаж), клемми 56 - 58 перемикають ХТЗ. Якщо свердловина заповнена водою, тобто КВУ та КНУ замкнуті, транзистор VT3 відкривається

базовим струмом, який проходить по колу: трансформатор *T4* - діодний місток - VD16 - VD19 - перемикач SA2 – провід 112 - діод VD13 - емітер - база транзистора VT3 - стабілітрон VD12 - стабілітрон VD11 - перемикач SA2 - провід 68 - резистор R8 - діодний місток VD16 – VD19 - перемикач SA1 - провід 50 - КВУ або KV - КНУ - трансформатор TA. По котушці КУ проходить струм, реле спрацьовує і вмикається пускач KM. Електронасос починає відкачувати воду зі свердловини. Одночасно реле KV замикає свій контакт у колі КНУ і до того часу, поки рівень води не впаде нижче КНУ, електронасос буде працювати.

Як тільки КНУ розімкнеться, розмикається коло базового струму транзистора VT3 і останній замкнеться. Реле KV вимкнеться і вимкне KM, одночасно реле KV замкне свій контакт у колі КНУ. Електронасос не почне працювати доти, поки вода в свердловині не замкне КВУ. Далі цикл керування повторюється.

Для переведення станції серії “Каскад” у режим дренажу необхідно перемикач SA2 (див. рис. 2.11) перевести в положення АУ (автоматичне керування) та встановити перемички на платі блока керування 72 - 78; 73 - 79, що забезпечує зворотну дію датчиків рівня, тобто при замиканні КВУ електронасос вмикається, а при розмиканні КВУ та КНУ - вимикається.

**Третій принцип автоматизації** застосовують у водопідйомних установках з водонапірною баштою і станцією керування серії “Каскад”, в якій замість чарунки керування за рівнем (ЯУУ) повинна бути поставлена чарунка керування за тиском (ЯУД) (рис. 2.12). На входному в башту патрубку води встановлюють електроконтактний манометр.

Щоб перевести станцію в режим керування за тиском, перемикач SA2 ставлять у положення АУ. В блоці “час роботи насоса” встановлюють перемичку для заповнення башти водою (час визначається експериментально). Перемичка встановлюється між клемою 80 та однією з клем набору резисторів 83 - 92.

Рухомий контакт електроконтактного манометра переводять у таке положення, щоб при зниженні рівня води в башті нижче контрольованого, що рівнозначно зниженню тиску стовпа води в башті, відбувалось надійне вмикання насоса.

При низькому тиску води контакт манометра ДДВ замкнений і негативний потенціал через контакт ДДВ, роз’єм X: 4 та діоди VD37 - VD35 прикладається до затвора транзистора D1-4 та до обмотки реле KV1 (див. рис. 2.5 та 2.6). Реле KV1 вмикається, внаслідок чого спрацьовує KM і насос вмикається. Одночасно спрацьовує реле KV2, яке замикаючим контактом запускає реле часу, що зібране на цифрових мікросхемах D2 - D5. Після закінчення витримки часу, яка визначається параметрами одного із резисторів R33 - R48 та конденсатора C13, на виході 11 логічного елемента D5 з’являється сигнал логічного нуля, який через контакт АУ перемикача SA2 надходить на базу транзистора VT9. Транзистор замикається і двигун насоса відключається від мережі. Повторне вмикання насоса відбувається тільки після зниження тиску води та замикання контакту ДДВ.

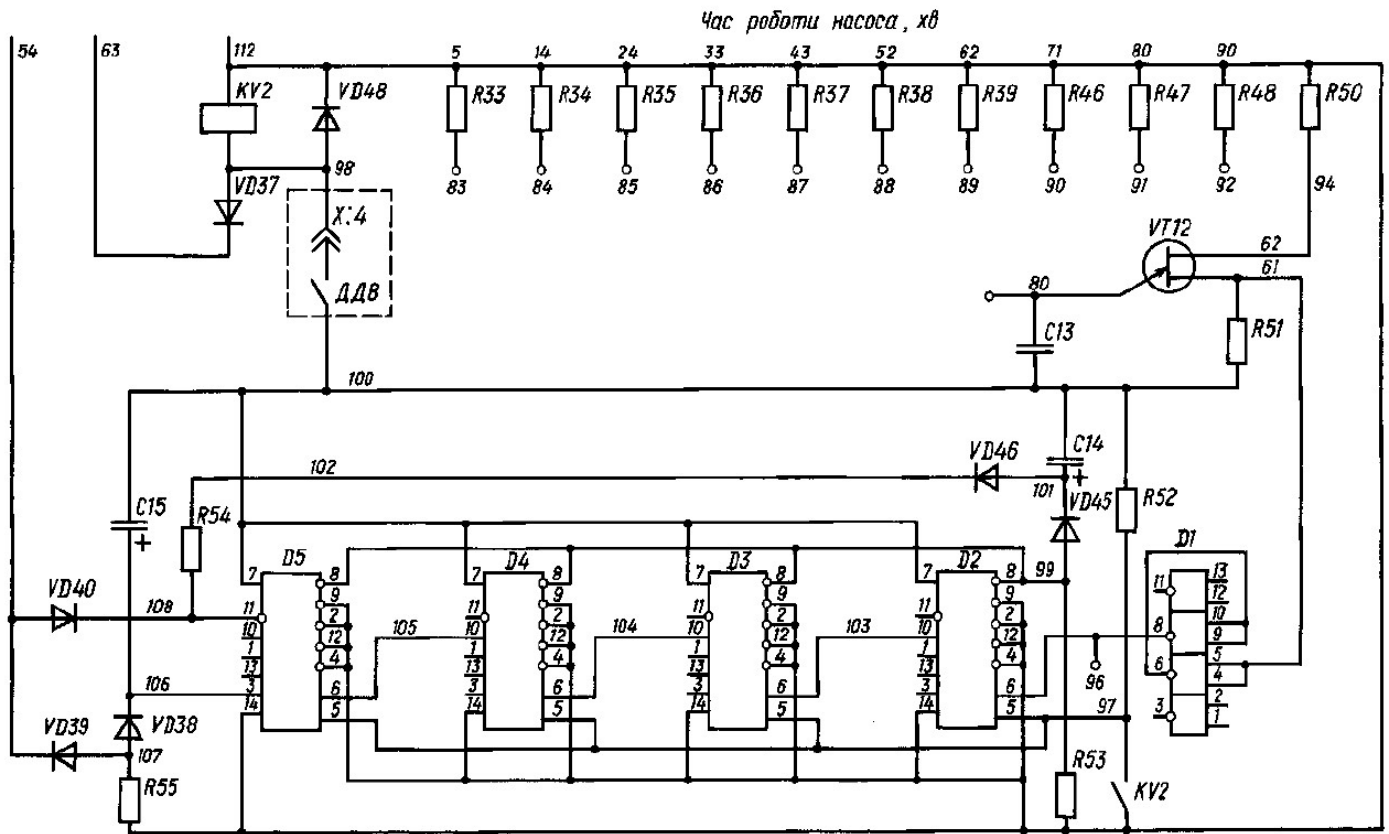


Рис. 2.12. Принципіальна електрична схема керування насосною установкою за тиском води (станція “Каскад”)

Для водопідйомних установок з водонапірною баштою, що працюють в автоматичному режимі, проводять перевірку на допустиме число вмикань електродвигуна на годину ( $Z_{\text{доп}}$ ). Умова перевірки така:

$$Z_{\text{доп}} \geq Z_{\text{max}}, \quad (2-11)$$

де  $Z_{\text{max}}$  - фактичне найбільше число вмикань на годину при даній системі автоматизації, вмикань/год.

$$Z_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{нас}}}{4V_{\text{рег}}}, \quad (2-12)$$

де  $Q_{\text{нас}}$  - продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/год;  $V_{\text{рег}}$  - регульований об'єм башти, м<sup>3</sup>.

При відомому  $Z_{\text{доп}}$  для даного двигуна висоту регульованого стовпа води (відстань між датчиками КВУ та КНУ)  $h_{\text{рег}}$ , м, можна визначити за формулою

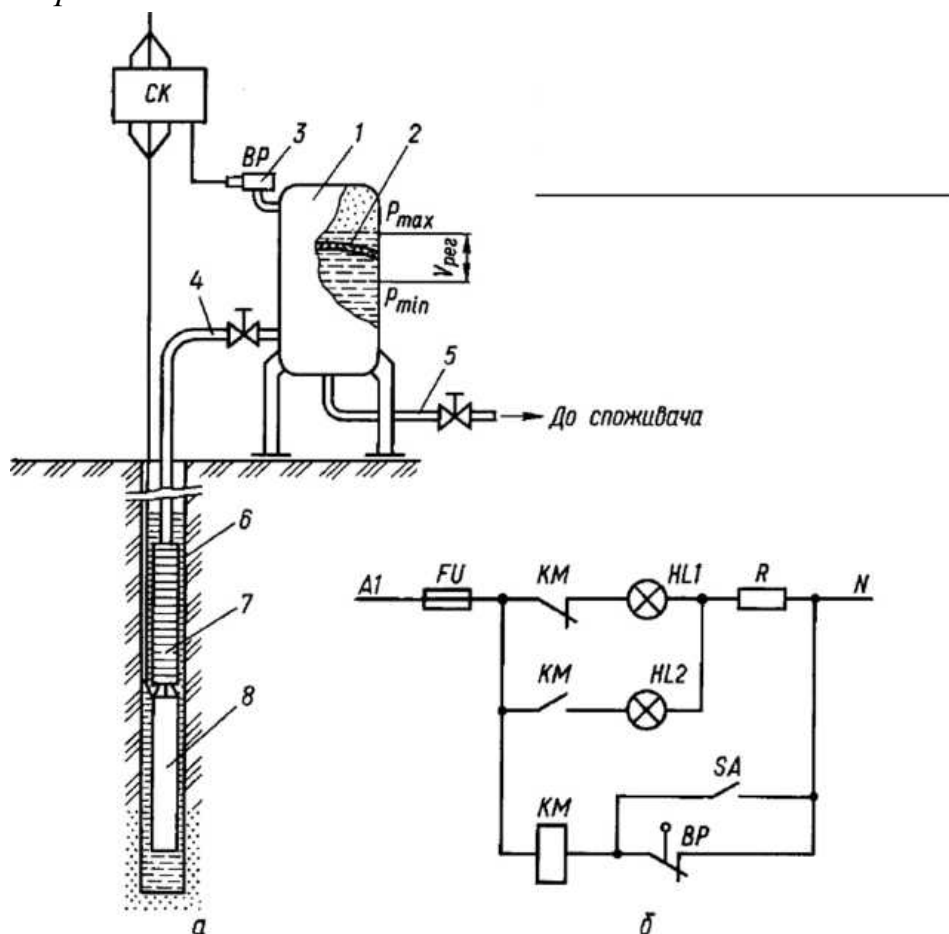
$$h_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{нас}}}{4Z_{\text{доп}}S_6}, \quad (2.13)$$

де  $S_6$  - площа дзеркала води в башті, м<sup>2</sup>.

**Четвертий принцип автоматизації** застосовують для водопідйомних установок серії ВУ (рис. 2.13, а). Установка складається із заглибного (або іншого) електронасоса 7, пневмо-гідроаккумулятора 1 об'ємом до 800 л, датчика (реле) тиску 3 та станції керування СК. Пневмо-гідроаккумулятор являє собою герметичний бак, в який вода надходить через вхідний трубопровід 4, а подається споживачу через вихідний трубопровід 5 з вентилями. Внутрішній об'єм бака у цьому випадку

поділений на дві частини, між якими встановлена гнучка мембрана 2. Таким чином, у баку є два середовища – вода та повітря, розділені між собою. Коли насос починає подавати воду в бак, вона доходить до мембрани і починає вигинати її вгору, завдяки чому повітря починає стискатися і при досягненні певного тиску спрацьовує датчик тиск  $BP$ , що подає команду на вимкнення насоса.

Мережа  $\sim 380V$



1 - пневмогідроакумулятор; 2 - гнучка мембрана; 3 – датчик (реле) тиску; 4 - вхідний трубопровід; 5 - вихідний трубопровід; 6 - свердловина; 7 - насос; 8 - заглубний електродвигун

Рис. 2.13. Технологічна (а) та принципіальна електрична (б) схеми водонасосної установки з пневмогідроакумулятором:

Якщо вентиль на трубі 5 відкривають і вода починає споживатися, тиск у верхній частині бака знижується і насос знову вмикається.

Схема автоматизації цієї установки (рис. 2.13, б) передбачає два режими: ручне керування (тумблер SA) та автоматичне (контакт датчика (реле) тиску  $BP$ ), а також сигналізацію стану електронасоса (лампи  $HL1$  та  $HL2$ ).

Настроювання реле  $BP$  значно впливає на кількість вмикань електронасоса на годину. Нехай у перший момент, коли води немає, об'єм бака буде  $V_0$ , а тиск всередині -  $P_0$ .

У другий момент вода у баку знаходиться на нижньому рівні, що відповідає моменту вмикання насоса, об'єм –  $V_1$ , тиск —  $P_1$ . У третій момент вода в баку досягає верхнього рівня, коли реле  $BP$  дає команду на зупинку електронасоса, об'єм

-  $V_2$ , тиск -  $P_2$ . Тоді регульований об'єм бака  $V_{рег}$  дорівнює

$$V_{рег} = V_1 - V_2 \quad (2.14)$$

Вважаючи, що кількість повітря та його температура в процесі роботи залишаються незмінними, за законом Бойля - Маріотта можна записати:

$$RT = P_0V_0 = P_1V_1 = P_2V_2,$$

де  $R$  - газова стала повітря;  $T$  - температура повітря.

Визначивши значення об'ємів повітря в перший та другий моменти через об'єм котла і підставляючи їх у формулу (2.14), одержимо:

$$V_{рег} = P_0V_0 \left( \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right). \quad (2.15)$$

Максимальну частоту вмикання електронасоса за годину при даному  $V_{рег}$  визначають за формулою (2.12).

**П'ятий принцип автоматизації** застосовують у системах зрошення, коли кілька електронасосів працюють на один трубопровід. У цьому випадку кількість працюючих насосів визначається тиском води в системі: якщо споживання води збільшується, тиск у системі падає і вмикаються резервні насоси; коли тиск зростає через зменшення споживання води - навпаки, резервні насоси почергово вимикаються.

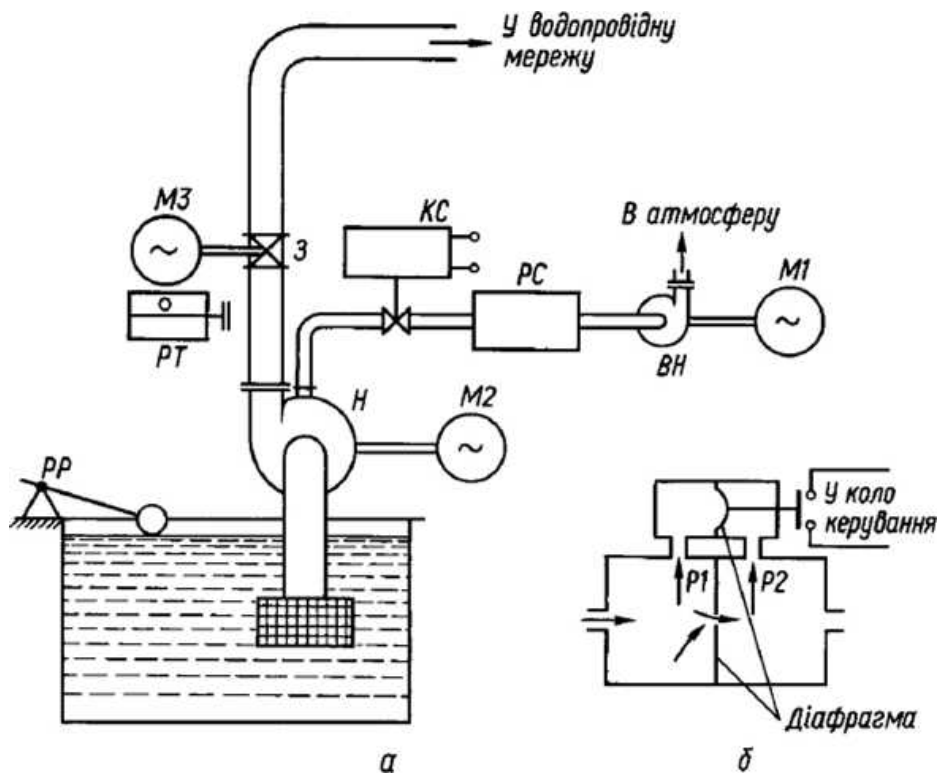
Для повної автоматизації за цим принципом повинна бути передбачена система автоматичної заливки водою відцентрового насоса перед пуском, що забезпечує надійне всмоктування води з джерела.

Система автоматизованої заливки (рис. 2.14, а) включає основний насос Н з двигуном М2, електрозасувку З з двигуном М3 та реле тиску РТ на вихідному трубопроводі, електромагнітний соленоїдний клапан КС на допоміжному патрубку, струминне реле РС, вакуум-насос ВН з двигуном М1 та реле рівня води в місці забору (РР).

Команда на пуск насоса надходить на двигун привода вакуум-насоса М1 та соленоїдний клапан КС. Під дією вакууму, який створює вакуум-насос, вода з джерела піднімається і заповнює корпус насоса Н. Вакуум-насос працює, доки вода не витіснить повітря зі струминного реле РС і вихідні електроконтакти не змінять свій стан під дією діафрагми.

Реле РС дає команду на закриття соленоїдного клапана КС, зупинку двигуна вакуум-насоса, вмикання головного двигуна М2.

Коли тиск на вихідному трубопроводі зростає, реле тиску подає команду на відкриття електрозасувки, і вода надходить у систему зрошення. Крайні положення засувки контролюються кінцевими вимикачами. Контролюється також рівень води у водозбірній споруді за допомогою реле рівня РР.



*а* - основний насос; *б* - струминне реле: Н - насос; ВН - вакуум-насос; КС - соленоїдний клапан; РС - струминне реле; РР - реле рівня води; РТ - реле тиску; МІ - двигун привода вакуум насоса; М2 - двигун привода основного насоса; М3 - двигун привода засувки; *P1*, *P2* - тиск в камерах відповідно до і після діафрагми

Рис. 2.14. Технологічна схема автоматизованої заливки насоса перед пуском:

За **шостим принципом автоматизації** працюють стаціонарні зрошувальні системи, коли команди на подачу води на окремі ділянки зрошення надходять від програмного реле часу або мікропроцесора, які контролюють початок і кінець зрошення.

## 6. Автоматичний захист електронасосних агрегатів

Електродвигуни водо-насосних установок, в яких джерелом води є артезіанська свердловина, необхідно захищати від таких аварійних режимів: короткого замикання, струмів перевантаження, неповно-фазного режиму та відсутності води в свердловині (“сухого ходу”).

Від струмів короткого замикання, як правило, електродвигуни захищають автоматичними вимикачами з електромагнітними або комбінованими розчіплювачами.

У сучасних установках, в основному, застосовують принцип контролю струму статора з електронною схемою. Так, у станціях серії “Каскад” схема захисту виконана як окремий вузол (рис. 2.15).

Контроль струму навантаження двигуна здійснюється в станціях до 12 кВт безпосередньо струмовими обмотками узгоджувачих трансформаторів *T1*, *T2*, *T3*, які

перетворюють струм первинної обмотки у пропорційну напругу на вторинній обмотці. Струмові обмотки ввімкнені послідовно в фазні кола двигуна. У станціях більшої потужності в розтин фаз ввімкнені трансформатори струму ( $TA1, TA2, TA3$ ), а до вторинних обмоток цих трансформаторів під'єднані узгоджувальні трансформатори.

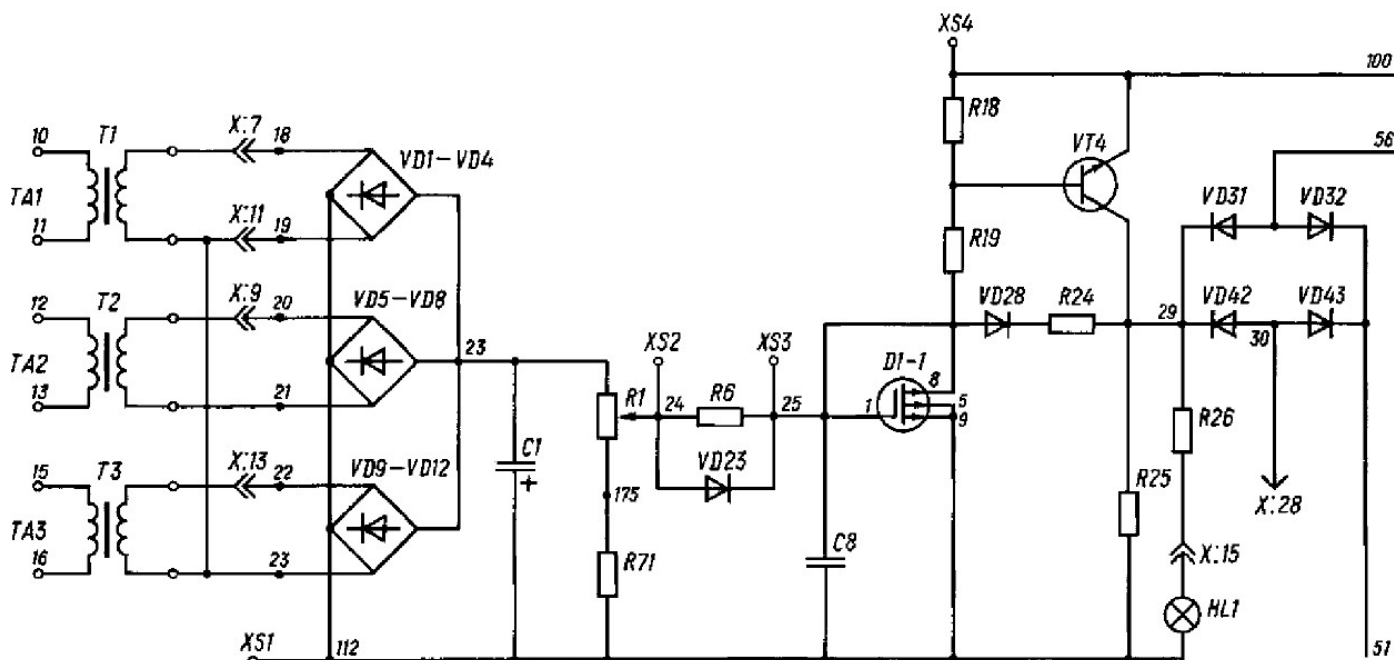


Рис. 2.15. Схема вузла захисту електродвигуна від аварійних режимів (станція “Каскад”)

Напруга з вторинних обмоток  $T1, T2, T3$  через випрямлячі  $VD1 - VD12$ , подільник напруги  $R1 - R71$  та резистор  $R6$  прикладається до затвора транзистора  $D1-1$ . Якщо струм навантаження не перевищує струм уставки вузла захисту, транзистори  $D1-1$  та  $VT4$  закриті. Коли струм навантаження двигуна перевищує струм уставки, напруга на затворі  $D1-1$  зростає і з витримкою часу, яка визначається параметрами кола  $R6 - C8$ , транзистори  $D1-1$  та  $VT4$  відкриваються. Витримка часу необхідна для того, щоб виключити короточасні зростання навантаження. Через відкритий транзистор  $VT4$ , діод  $VD31$  та стабілітрон  $VD34$  (див. рис. 2.11) негативний потенціал надходить на базу транзистора  $VT9$ , який закривається і позбавляє живлення котушки  $KV1$ . Замикаючий контакт реле  $KV1$  розриває коло живлення котушки  $KM$ , і двигун електронасоса вимикається. Транзистори  $D1-1$  та  $VT4$  утримуються у відкритому стані, оскільки до затвора транзистора  $D1-1$  прикладений негативний потенціал від джерела живлення, сформований ланкою  $VD28 - R24 - VT4$ . Таким чином, сигнал перевантаження запам'ятовується, про що сигналізує лампа  $HL1$ .

Після спрацювання захисту конденсатор  $C8$  розряджається по колу  $R71 - R1 - VD23$ .

Враховуючи, що всі випрямлячі  $VD1 - VD4, VD5 - VD8, VD9 - VD12$  з'єднані паралельно, система захисту реагує на збільшення струму в будь-якій фазі. Це дає змогу здійснювати одночасно захист двигуна від обриву фази в колі статора.

Величина струму неспрацювання вузла захисту регулюється резистором  $R1$ . При виготовленні на заводі ящик керування настраюється на струм конкретного двигуна. Струм настраювання вказують на паспорті ящика керування. Для регулювання струму неспрацювання в межах 25 % у схемі виведені контрольні точки  $HS1, HS2, HS3$ .

У станціях серії ШЭП (рис. 2.16) схема вузла захисту має деякі відмінності, виконуючи ті самі функції, що і попередньо розглянута. Аварійний сигнал надходить у логічну частину схеми від датчиків струму (узгоджуючих трансформаторів)  $T1, T2, T3$ . Сигнал випрямляється діодами  $VD1 - VD3$  і подається на елемент порівняння  $C1, R1$ . Якщо струм двигуна перевищує заданий резистором  $R1$  струм установки захисту, сигнал аварії надходить на затвор транзистора  $D1-1$ . Час спрацювання захисту визначається часом заряду конденсатора  $C2$  до величини порогової напруги транзистора  $D1-1$ . Як тільки ця величина досягає певного значення, транзистор відкривається. Це призводить до відкриття транзистора  $VT1$  базовим струмом, який проходить по колу емітер - база  $VT1 - R3 -$  "сток - исток"  $D1-1$ . Загоряється лампа аварії  $HL$ .

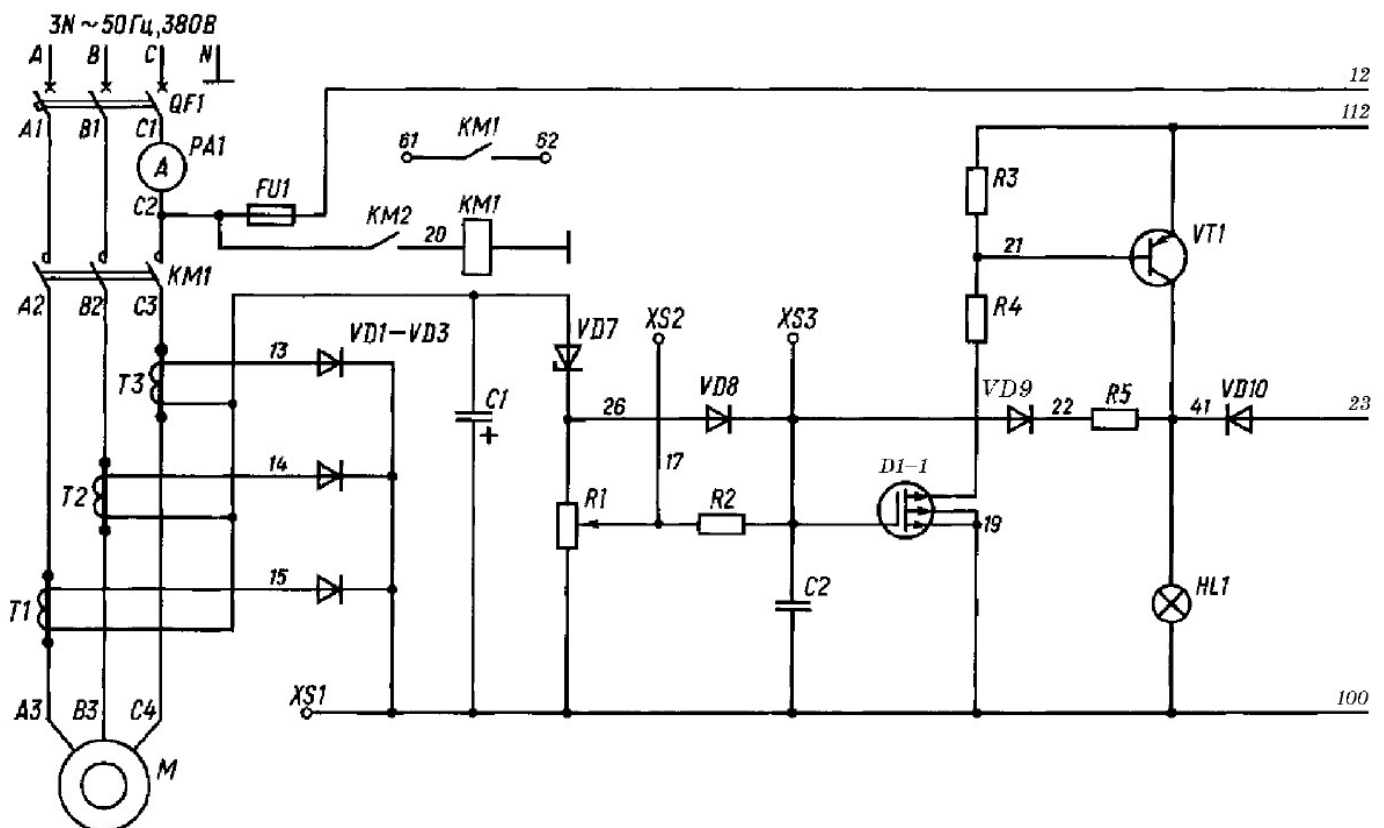


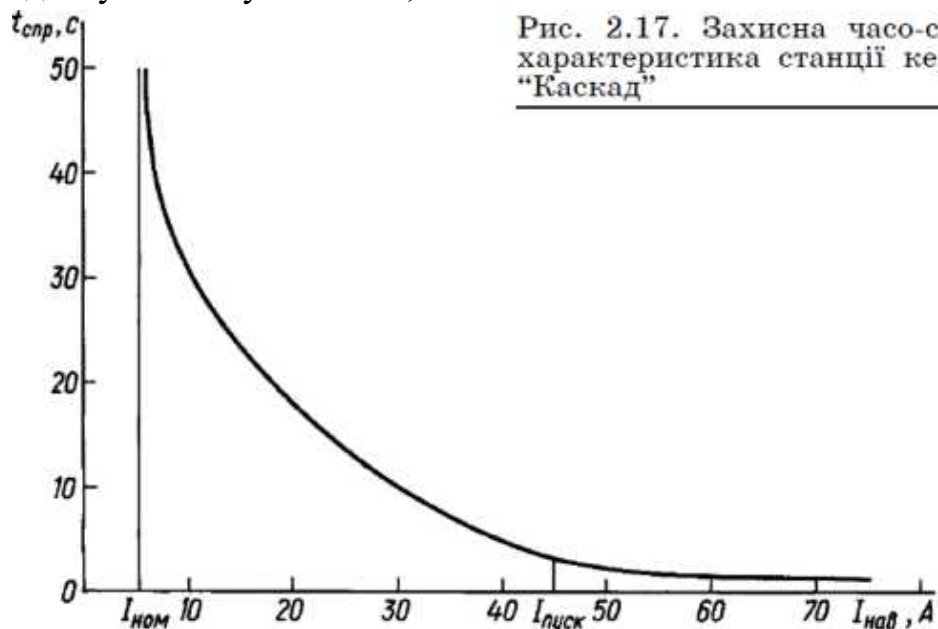
Рис. 2.16. Схема вузла захисту електродвигуна від аварійних режимів (станція ШЭП 5802)

Сигнал "аварія" з колектора  $VT1$  через діод  $VD10$  надходить у коло керування (див. рис. 2.10), закриває транзистор  $VT3$ , реле  $KV$  вимикається. За допомогою ділянки  $R5 - VD9$  створюється релейний ефект при відкриванні транзистора  $D1-1$  і



запам'ятовується сигнал аварії. Повторний автоматичний запуск двигуна неможливий. Для повторного пуску електродвигуна необхідно зняти, а потім знову подати напругу на логічну частину схеми, що здійснюється автоматичним вимикачем QF1.

Час спрацювання цього захисту обернено пропорційний струму перевантаження, а захисна характеристика - залежність часу спрацювання  $t_{спр}$  від струму навантаження  $I_{нав}$  зображена на рис. 2.17. Дані наведені для станції ШЭП 5802 з двигуном потужністю 2,8 кВт.



У станціях типу УСУЗ (рис. 2.18) захист електродвигуна від струмів перевантажень та неповнофазних режимів здійснюється за допомогою фазочутливого пристрою ФУЗ-М, принцип дії якого описаний у першій частині підручника. Схема станції передбачає контроль ізоляції обмотки статора електродвигуна в процесі експлуатації, що має особливе значення для заглибних електродвигунів.

Контроль опору ізоляції здійснюється в період, коли він від'єднаний від електромережі ( $KM$  - вимкнений, а  $QF$  - увімкнений). При цьому від фази  $C1$  через запобіжник  $FU$ , діод  $VD1$ , перемикач  $SA3$ , резистор  $R3$  або  $R4$ , ізоляцію статорної обмотки та нуль мережі  $N$  проходить струм витікання. Якщо з будь-яких причин опір ізоляції зменшився, то струм витікання, а отже, і напруги на резисторах  $R3$  або  $R4$  зростуть, і коли спад напруги досягне порогового значення, загоряється неонові лампа  $HL$ . Це свідчить про зменшення опору ізоляції обмотки двигуна. Резистор  $R3$  підібрано так, щоб лампа  $HL$  загорялась при опорі ізоляції близько 400 кОм, а опір резистора  $R4$  є таким, щоб загоряння лампи відбувалось при опорі ізоляції близько 40 кОм.

На початку експлуатації двигуна перемикач  $SA3$  ставлять у положення 1, де залучений резистор  $R3$ . Коли через деякий час лампа  $HL1$  загориться, що свідчить про зниження опору ізоляції, перемикач  $SA3$  переводять у положення 2 (поєднується

резистор R4) і продовжують експлуатацію двигуна. Якщо опір ізоляції ще знизиться і лампа HL1 загориться знову, електродвигун треба відправити на ремонт.

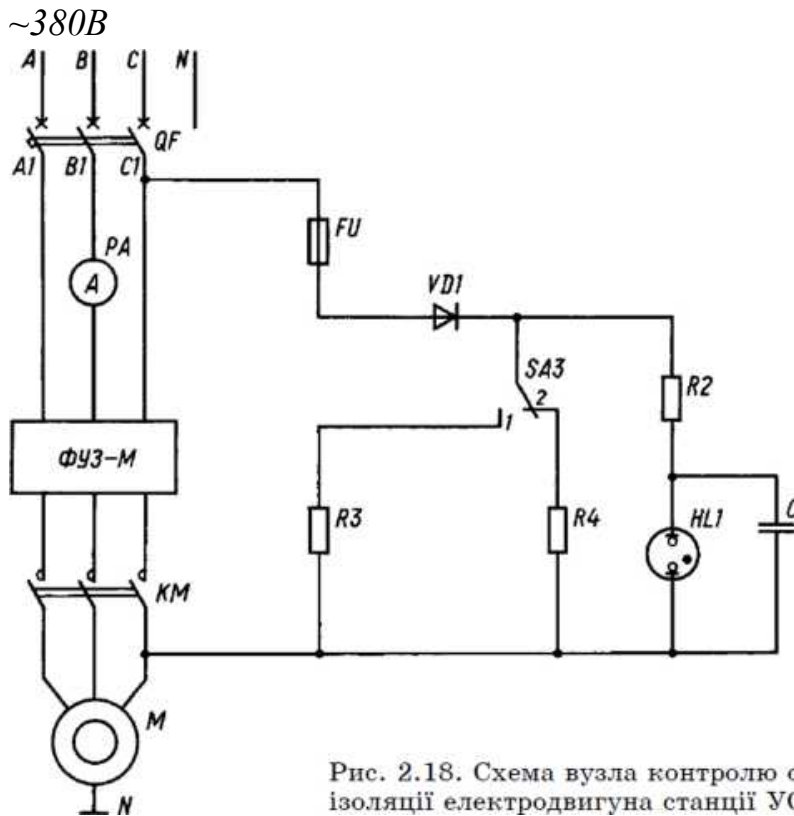


Рис. 2.18. Схема вузла контролю опору ізоляції електродвигуна станції УСУЗ

Необхідність захисту заглибних електродвигунів від “сухого ходу” обґрунтовується конструкцією цих двигунів, оскільки система охолодження потребує постійного омивання поверхні двигуна водою. Цей захист встановлюють тільки для двигунів потужністю понад 4,5 кВт, бо вірогідність, що дебіт свердловини буде меншим продуктивності електронасоса з двигуном 4,5 - 11 кВт дуже невелика. Для здійснення цього захисту разом з двигуном у свердловину опускають датчик “сухого ходу” ДСХ (див. рис. 2.8, 4), який конструктивно не відрізняється від КВУ чи КНУ.

Коли рівень води в свердловині знижується більше допустимого і датчик ДСХ виходить з води, у схему надходить сигнал на негайну зупинку електронасоса, загоряється лампа аварії “сухий хід”. Схема запам’ятовує аварію і, коли рівень води в свердловині знову зростає і датчик ДСХ замкнеться водою, електронасос не запуститься.

## 7. Комплектні пристрої керування водонасосними установками

Установки водопостачання об’єктів сільськогосподарського виробництва, як правило, надходять у вигляді комплектів обладнання: електронасос, станція керування, датчики, спеціальні проводи тощо.

Так, комплектний пристрій “Каскад” залежно від типу ящика керування

виконує такі функції:

- автоматичний пуск і зупинку електронасоса водо-підйому (В) та дренажу (Д) залежно від рівня води відповідно у водонапірному баку або дренажній свердловині;
- автоматичний пуск електронасоса в режимі водо-підйому залежно від тиску стовпа води у водонапірній башті та автоматичну зупинку насоса в цьому режимі протягом часу, що заданий оператором (від 5 до 90 хв);
- місцевий пуск і зупинку електронасоса незалежно від рівня води в башті або тиску (SA.2 - у положенні МУ);
- дистанційний пуск і зупинку електронасоса (SA2 - у положенні ДУ). Попередньо станція комплектується двома реле - РИО (реле виконання вимикання) та РИВ (реле виконання вмикання);
- селективність запуску електронасоса з регульованою витримкою часу (2 - 30 с) місцевого та автоматичного керування за рівнем води;
- захист електродвигуна від перевантажень, коротких замикань та неповнофазних режимів;
- захист електродвигуна від “сухого ходу” за час не більше 0,5 с для пристроїв керування двигунами потужністю 4,5 кВт і вище;
- запам'ятовування аварії, тобто неможливість само-вмикання після спрацювання будь-якого виду захисту;
- світлову сигналізацію з розшифруванням аварійної зупинки від перевантаження та “сухого ходу”;
- контроль струму завантаження електродвигуна (амперметр в одній з фаз);
- подачу аварійного сигналу за межі пристрою;
- само-запуск електронасоса при короткочасному зникненні і відновленні напруги мережі у межах 2 - 30 с.

На функціональній схемі пристрою (рис. 2.19) основні блоки позначені: ЯП - чарунка живлення; ЯЗ - чарунка захисту; ЯУУ - чарунка керування за рівнем води; ЯУД - чарунка керування за тиском; ВУ-ЯЗ - вихідний пристрій чарунки захисту; ДДВ - датчик тиску води; ДСХ - датчик “сухого ходу”.

Вибір режимів керування насосною установкою здійснюється перемикачем SA2, який має чотири положення: АУ - автоматичне керування, ДУ - дистанційне керування, МУ - місцеве (ручне) керування з двома позиціями “Ввімк.” та “Вимк.” Режим водо-підйому та дренажу в окремих станціях вибирається тумблером або відповідними перемичками В та Д.

Всі функції керування, сигналізації та захисту в цих пристроях виконує блок керування БОН 9200. Пристрої “Каскад” керують електронасосними агрегатами потужністю від 1 до 65 кВт.

*Система автоматичного керування насосними агрегатами (САУНА)* призначена для керування свердловинними відцентровими насосами з заглибними електродвигунами потужність 1-11 кВт. Вона поєднує 8 типорозмірів станцій



реле тиску та електроконтактним манометром. Забезпечується захист електродвигуна від струмів коротких замикань, перевантаження, неповно-фазних режимів; зниження рівня води в свердловині (“сухий хід”). Крім того, передбачена світлова сигналізація про надмірне зниження опору ізоляції обмотки статора двигуна.

До складу станції входять такі функціональні блоки: фазочутливий пристрій захисту ФУЗ-М, двопозиційний регулятор УДР-2, який складається з блока живлення, логічного елемента “АБО” та вузла керування, блок контролю опору ізоляції. До одного входу двопозиційного регулятора може бути приєднаний один з приладів: електродний датчик рівня води, реле тиску, електроконтактний манометр, а до іншого - датчик “сухого ходу”.

Станція може працювати в таких режимах: автоматичний; ручний короткочасний, коли не діє захист від аварійних режимів, крім захисту від коротких замикань; ручний тривалий, коли діють усі види захисту від аварійних режимів.

*Установки з пневмогідроаккумуляторами серії ВУ* (див. рис. 2.13) випускаються в комплекті з ящиком керування і призначені для автоматизації водопостачання невеликих тваринницьких ферм із добовими витратами 40 - 70 м<sup>3</sup>/добу. Установка може працювати як при заборі води з водоймищ чи колодязів, так і з заглибними електронасосами з двигунами потужністю 2,8 - 5,5 кВт.

Ящик керування має просту схему і виконує такі функції:

- ручне керування електронасосом;
- автоматичне керування електронасосом у функції тиску повітря в пневмо-регуляторі (реле тиску ВР);
- сигналізація стану насоса (ввімкнено, вимкнено);
- захист електродвигуна від струмів короткого замикання та перевантаження (автоматичний вимикач);
- контроль завантаження електродвигуна (амперметр);
- захист кіл керування від струмів короткого замикання (запобіжник FU).

Комплектний пристрій, призначений для плавного пуску, автоматичного та місцевого керування заглибними електронасосами водо-підйому з двигунами потужністю 2,8 - 11 кВт типу КУППН, забезпечує плавний пуск заглибного електродвигуна до номінальних обертів протягом 50 - 70 с. Пристрій плавного пуску виконаний на тиристорах і працює за принципом зміни напруги на затискачах електродвигуна в період пуску. Це дає такі переваги: зменшення динамічних зусиль на вузол, що з'єднує двигун і насос; значне зменшення потрапляння бруду із зовнішньої поверхні фільтра всередину агрегату (внаслідок зменшення прискорення водяного потоку); збільшення строку служби агрегату. Станція керування захищає електродвигун від усіх аварійних режимів.

## 8. Автоматизований електропривод в установках зрошення

Особливістю схем автоматизації насосних станцій зрошення є те, що, крім захисту електродвигуна від аварійних режимів і сигналізації, вони повинні передбачати попереднє заливання насоса водою перед пуском, керування засувками на вході та виході насоса, контроль тиску води в системі, попередження гідравлічного удару, контроль рівня у водозабірній споруді, вимірювання витрат води, керування рибоохоронними пристроями та ін.

На насосних станціях з асинхронними та синхронними двигунами великої потужності, крім того, має бути передбачений один з видів автоматичного запуску двигуна: за функцією часу, силою струму, частотою струму, з введенням в коло ротора додаткових опорів або реакторів, автотрансформаторний пуск та ін.

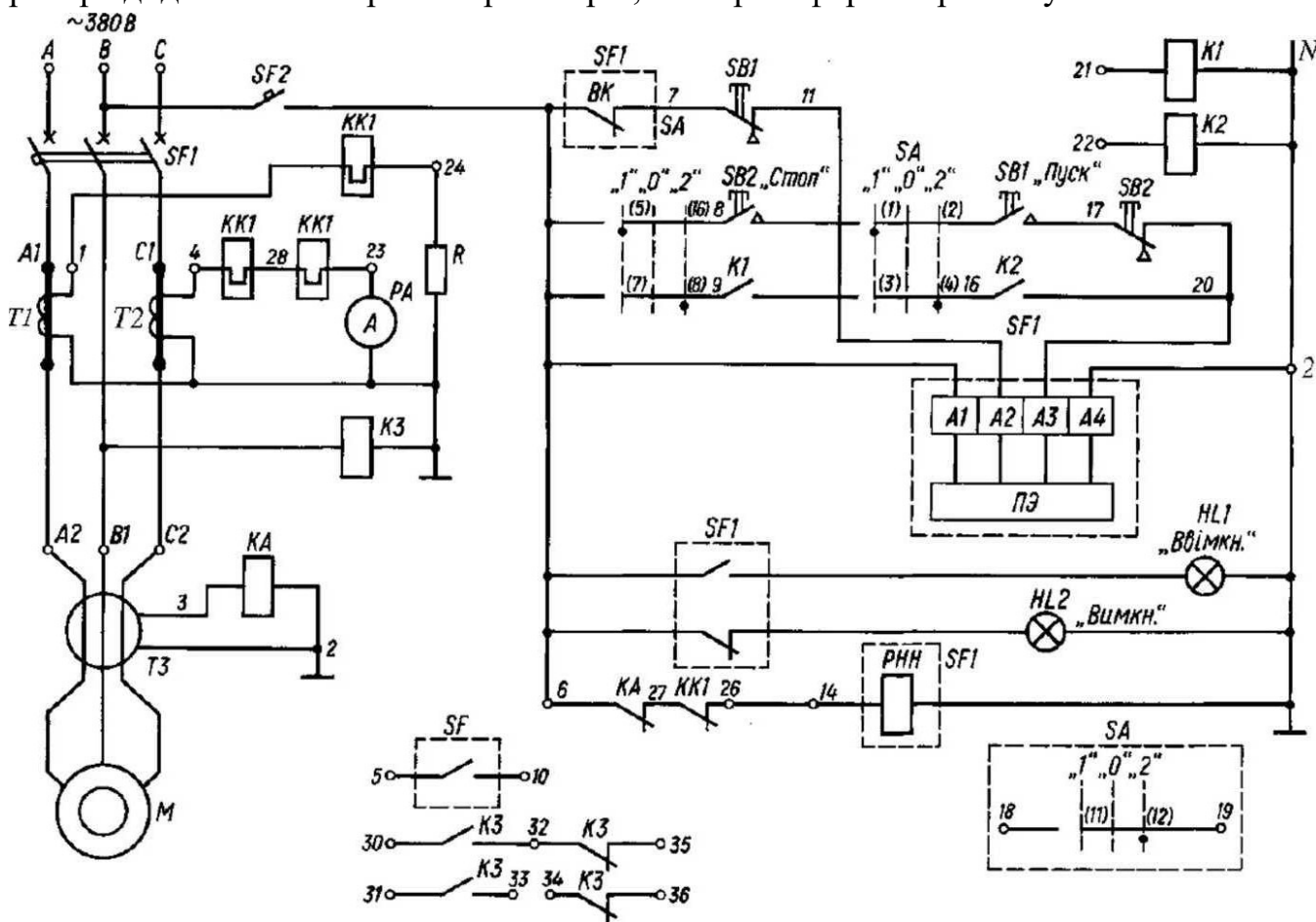


Рис. 2.20. Принципіальна електрична схема ящика керування зрошувальною насосною установкою з електродвигунами потужністю 40 - 250 кВт

Для керування насосними меліоративними установками випускаються комплектні пристрої серії УКМ, призначені для автоматичного керування електроприводами насосних агрегатів зрошувальних, осушувальних та перекачувальних насосних станцій, а також для їх захисту та сигналізації.

Залежно від типу пристрій УКМ може керувати основними насосними агрегатами з асинхронними двигунами низької напруги, асинхронними та синхронними електродвигунами високої напруги, а також механізмами для власних

потреб насосних станцій (засувки, вакуум-насоси, вентилятори). Схема керування насосним агрегатом середньої потужності від 40 до 250 кВт при напрузі 380 В наведена на рис. 2.20.

На схемі не зображені пристрої, які розміщені в ящику технологічних захистів, а позначені лише точки, до яких вони під'єднуються, з адресним маркіруванням.

Режим роботи вибирають перемикачем SA (місцевий, вимкнено, автоматичний). В автоматичному режимі керування виконується програмним пристроєм ПЭ. Пуск передбачений при закритій засувці на напірному трубопроводі, для чого в схему введені контакти ВК привода засувки. Наявність напруги контролюється реле РНН. Захист електродвигуна від коротких замикань здійснюється автоматичним вимикачем з електромагнітним приводом SF1; від перевантажень - тепловими реле KK1, ввімкненими через трансформатори струму TI, T2, від однофазних замикань на землю - реле KA. Передбачений візуальний контроль струму електродвигуна (РА) та контроль режиму пуску реле K3.

Майже всі пристрої технологічних захистів - від "сухого ходу" насоса (відсутність змащування), засмічення рибо-загороджувача, аварійного зниження рівня води в нижньому б'єфі - діють на загальні реле захисту.

Керування електроприводом засувки (рис. 2.21) може здійснюватися у режимі місцевого керування (перемикач SA у положенні "1") та автоматичного (положення "2"). При місцевому керуванні залучені кнопки; SB3 - відкрити, SB4 - закрити, SB1 - загальна зупинка, SB2 - режим деблокування. Крайні положення засувки контролюються кінцевими вимикачами КВО та KB3, про що сигналізують лампи HL1 та HL2.

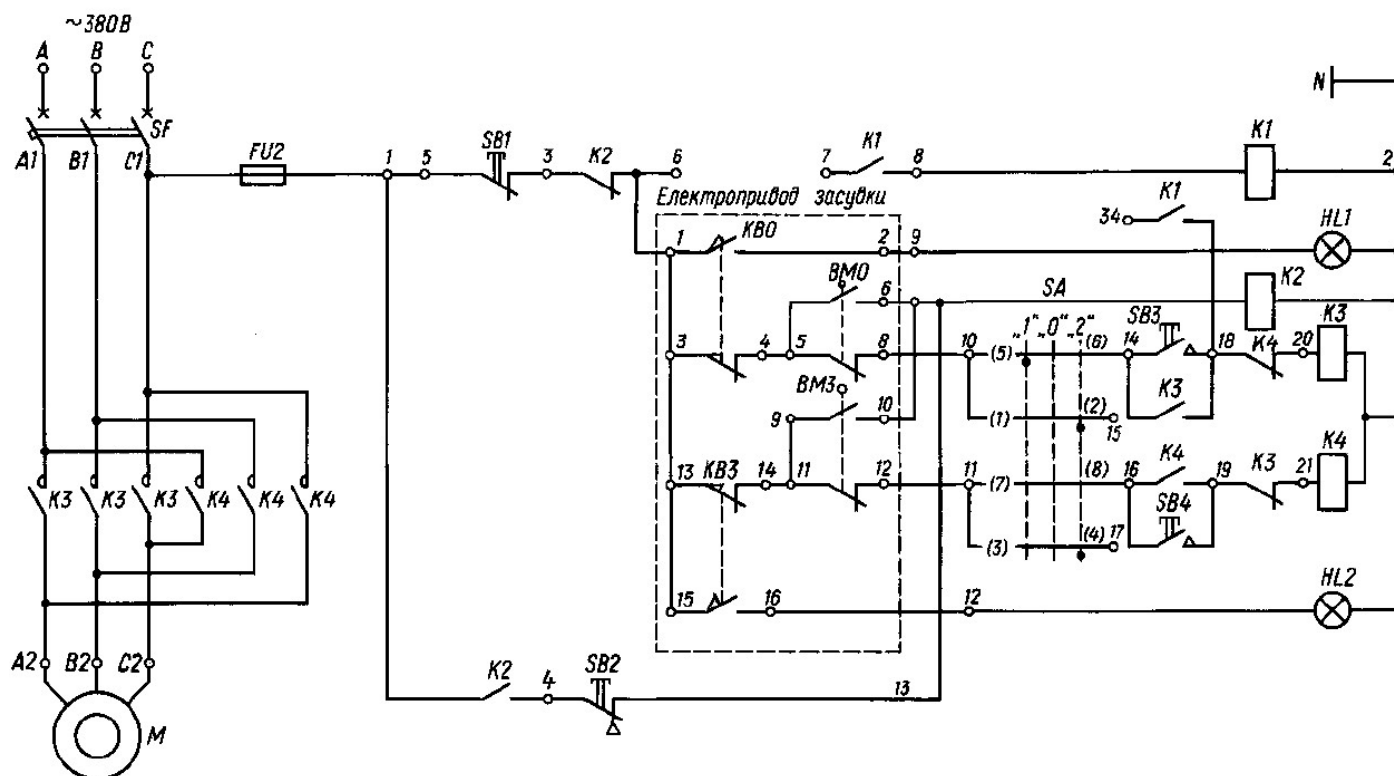


Рис. 2.21. Принципіальна електрична схема керування електроприводом

засувки з двосторонньою муфтою

При заклинюванні засувки в процесі відкриття двигун відключається контактом ВМО (вимикач муфти обмеження моменту), а в процесі закриття - контактом ВМЗ. У цій схемі застосована двостороння муфта обмеження моменту. Є схеми, де контролюється тільки момент закриття засувки. Коли відбувається заклинювання засувки при закритті чи відкритті, спрацьовує реле К2, яке стає на само-живлення замикаючим контактом К2 (точки 1 -4) та розриває всі кола керування розмикаючим контактом К2 (точки 3 - 6), схема набуває заблокованого положення. Щоб повторно ввести схему в дію після налагодження, натискають кнопку SB2 - деблокування.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які насоси застосовуються для подачі води у сільськогосподарському виробництві? Як здійснюється їх вибір?
2. Назвіть особливості приводних характеристик відцентрових і осьових насосів.
3. Якими способами регулюють подачу водонасосних установок?
4. Як здійснюється автоматизація водонасосних установок?



