

УДК 621.313.333

А.М. Галиновский, канд. техн. наук, В.А. Бобер, А.И. Троян

(Украина, Киев, НТУУ «Киевский политехнический институт»),

Е.А. Ленская

(Украина, Киев, Национальное агентство Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов)

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВОДОНАСОСНОЙ СТАНЦИИ И ВЫБОР РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Введение

Проблема энергосбережения ставит перед электромеханиками задачи по совершенствованию известных и разработке новых электромеханических систем, отличающихся высокими показателями энергосберегающей технологии. Одним из направлений по решению этой проблемы является совершенствование и разработка высоковольтного регулируемого электропривода для механизмов с вентиляторной характеристикой нагрузки – вентиляторные и насосные установки предприятий горнодобывающей, металлургической, химической и других отраслей промышленности.

Исследованию режимов работы насосных установок и выбору электропривода уделяется много внимания в литературе [1-8]. Рассматриваются режимы работы насосных станций при регулировании скорости вращения агрегатов. Если все агрегаты оборудованы регулируемым приводом, команда об изменении частоты вращения поступает одновременно на все насосные агрегаты. Частота вращения агрегатов изменяется синхронно, рабочие параметры насосов изменяются одинаково, распределение нагрузок между насосами происходит равномерно [6]. В работах [1, 2, 6, 8] рассматривается одновременная работа регулируемых и нерегулируемых насосных агрегатов в сравнительно сложных схемах водоснабжения. Показано, что процесс регулирования осуществляется изменением частоты вращения регулируемых агрегатов и периодическим изменением числа работающих нерегулируемых агрегатов, при уменьшении частоты вращения подача регулируемого насоса уменьшается, а нерегулируемого – увеличивается.

Несмотря на большую потребность в регулируемом электроприводе насосных агрегатов его внедрение на Украине проводится низкими темпами. В основном разработка регулируемого электропривода ведется в направлении сочетания преобразователя частоты (ПЧ) и асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором. Это направление имеет существенный недостаток: ПЧ должны иметь такую же мощность, как и АД. В то же время стоимость ПЧ в

несколько раз выше стоимости АД, подобные агрегаты дорогие. Особо дорогие агрегаты с высоковольтными двигателями. Поэтому перспективно широкое внедрение машин двойного питания с ПЧ в роторной цепи. При ограничении диапазона регулирования необходимая мощность ПЧ существенно снижается, что снижает стоимость агрегата в целом.

В литературе недостаточно освещен вопрос по применению регулируемых электроприводов в сравнительно простых схемах насосных станций отдельных предприятий с n параллельно работающими насосами. Существует мнение, что замена одного (или нескольких) нерегулируемого привода регулируемым позволит применить систему автоматического управления (САУ) насосной станции и существенно повлиять на весь технологический процесс. Упрощенный подход к решению проблемы САУ может привести к необоснованным заказам на новое технологическое оборудование и, в конечном счете, замедлит внедрение регулируемого электропривода. В каждом конкретном случае требуется тщательный анализ работы насосной станции с параллельно работающими регулируемыми и нерегулируемыми электроприводами.

Анализ работы насосной станции с параллельно работающими регулируемыми и нерегулируемыми насосами, выдача рекомендаций по применению высоковольтных машин двойного питания является целью настоящей работы.

Анализ работы насосной станции

На рис. 1 показана схема насосной станции из k регулируемых и m нерегулируемых насосов: 1 – резервуар; 2 – всасывающая линия; 3 – насос; 4 – напорная линия; 5 – трубопровод; 6 – напорный коллектор; 7 – задвижка.

На рис. 2 показаны рабочие характеристики насоса типа Д3200-55: H , P , h , $Dh_d = f(Q)$ – зависимости напора, мощности, КПД, допустимого кавитационного запаса от подачи при неизменной скорости вращения.

Параметры номинальной рабочей точки: подача $Q_N = 3200 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор $H_N = 55 \text{ м}$; номинальная скорость вращения $n_N = 730 \text{ об/мин}$; КПД $h_N = 0,87$; кавитационный запас $Dh_d = 5,3 \text{ м}$. Максимальная подача насоса $Q_{max} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Фиктивный напор при нулевой подаче $H_\phi = 64 \text{ м}$.

На рис. 3 показаны напорная характеристика насоса 1 и трубопровода 3 – зависимости напоров H от подачи Q .

Напорная характеристика насоса [3]

$$H = H_\phi - S_\phi \cdot Q^2 . \quad (1)$$

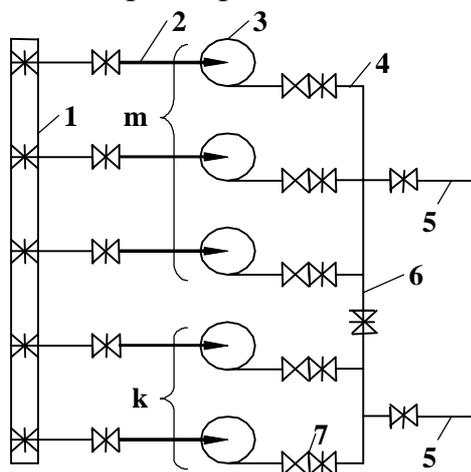


Рис. 1. Принципиальная схема насосной станции

Гидравлическое фиктивное сопротивление

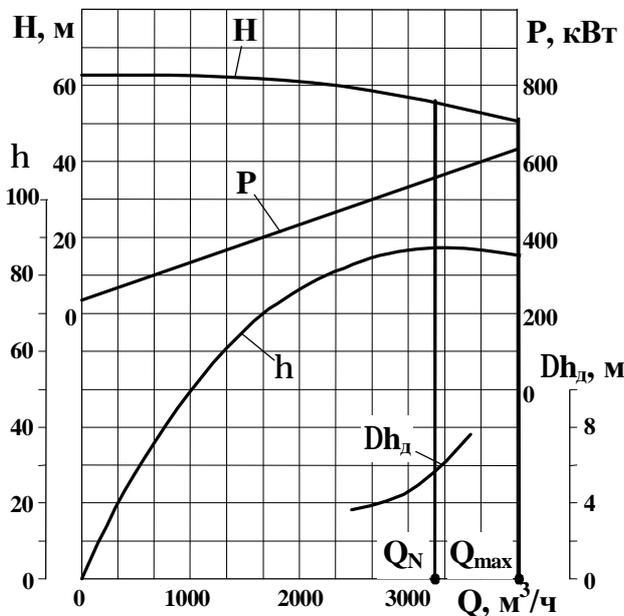


Рис. 2. Рабочие характеристики насоса Д3200-55, $n = 730$ об/мин.

ток подачи и приема жидкости, S_T – приведенное гидравлическое сопротивление трубопровода (c^2/m^5).

Рабочая точка насосной установки определяется по пересечению характеристики трубопровода 3 и насоса 1 (точка A_1). При уменьшении подачи задвижкой изменяется характеристика трубопровода 4. В этом случае напор и подача перед задвижкой определяются точкой A_2 , а напор и подача за задвижкой (в трубопроводе) – точкой A'_1 . При этом возникают потери напора на задвижке ΔH , которые увеличивают потери электроэнергии [6]. Для нахождения напора

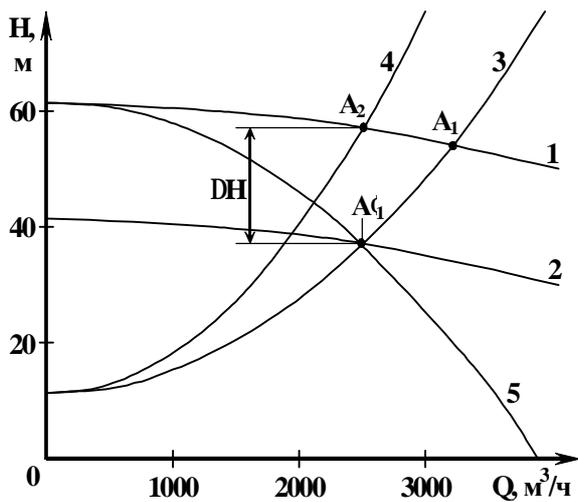


Рис. 3. Характеристики насоса и трубопровода

Для определения диапазона регулирования насосной станции решаем систему уравнений насосов и трубопровода:

$$S_{\phi} = (H_1 - H_2) / (Q_2^2 - Q_1^2), \quad (2)$$

где H_1 и H_2 – напоры, создаваемые насосом при подачах Q_1 и Q_2 .

При работе насоса с переменной частотой вращения [1]

$$H = H_{\phi} \cdot (n/n_N)^2 - S_{\phi} \cdot Q^2. \quad (3)$$

Напорная характеристика трубопровода

$$H = H_{CT} + S_T \cdot Q^2, \quad (4)$$

где H_{CT} – статический напор, определяемый разностью геодезических отметок

за задвижкой (по точке A'_1) можно гидравлическое сопротивление задвижки относить не к трубопроводу, а к насосу. При этом изменяет свою крутизну не характеристика трубопровода, а характеристика насоса 5. Для исключения потерь напора ΔH необходимо подачу насоса уменьшать не задвижкой, а изменением частоты вращения насоса. При этом рабочая характеристика насоса перемещается вниз параллельно самой себе (кривая 2), рабочая точка перемещается в точку A'_1 . При увеличении частоты вращения – рабочая характеристика перемещается вверх.

$$\begin{cases} Q_k = k \cdot Q \\ Q_c = Q_k + Q_m \\ H = H_\phi - \frac{S_\phi}{m^2} \cdot Q_m^2 \\ H = H_{CT} + S_T \cdot Q_c^2 \end{cases} \quad (5)$$

где $Q = Q_{min...}Q_{max}$ – подача регулируемого насоса; k – количество регулируемых насосов; m – количество нерегулируемых насосов; Q_m – подача нерегулируемых насосов; Q_k – подача регулируемых насосов; Q_c – суммарная подача системы.

Из системы (5) находим зависимость Q_c от подачи регулируемых насосов.

$$Q_c = \frac{2 \cdot \frac{S_\phi}{m^2} \cdot k \cdot Q + \sqrt{4 \cdot \frac{S_\phi^2}{m^4} \cdot (k \cdot Q)^2 - 4 \cdot \left(S_T + \frac{S_\phi}{m^2} \right) \cdot \left(H_{CT} - H_\phi + \frac{S_\phi}{m^2} \cdot (k \cdot Q)^2 \right)}}{2 \cdot \left(S_T + \frac{S_\phi}{m^2} \right)} \quad (6)$$

Рассмотрим работу насосной станции с 5-ю параллельно работающими насосами при условиях: насосы расположены вблизи друг от друга и работают на один трубопровод; скорость вращения нерегулируемых насосов неизменна.

Исходные данные: насосы типа Д3200-55; статический напор трубопровода $H_{CT} = 11$ м; приведенное гидравлическое сопротивление трубопровода $S_T = 1,72 \cdot 10^{-7}$ ч²/м⁵; количество регулируемых насосов $k = 1 \div 3$; плотность жидкости $r = 1020$ кг/м³.

На рис. 4, а показаны напорные характеристики трубопровода и насосов: 1, 2, 3, 4, 5 – напорные характеристики $m = 1 \div 5$ параллельно работающих насосов при скорости $n = n_N$, они строятся сложением абсцисс (подачи – Q) напорных характеристик насосов при одном и том же значении ординаты (напора H) [8]; 5-1 и 5-2 – напорные характеристики 5-ти параллельно работающих насосов при минимальной и максимальной скорости вращения; б – напорная характеристика трубопровода; Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 – подача насосной станции при разном числе параллельно работающих насосов. Величина подачи определяется по точкам пересечения характеристик параллельно работающих насосов и трубопровода (точки A_1, A_2, A_3, A_4, A_5). При работе 5-ти насосов в номинальном режиме суммарная подача насосной станции $Q_C = 5Q_N = 16000$ м³/ч.

Как видно из рис. 4, а, при отключении одного (пятого) насоса суммарная подача насосной станции уменьшится на $Q_5 - Q_4 \approx 1100$ м³/ч. При этом подача каждого из 4-х работающих насосов увеличится от $Q_N = 3200$ до $Q = 3730$ м³/ч. Такой же результат имеем при снижении подачи одного (5-го) регулируемого насоса от $Q_N = 3200$ м³/ч до $Q = 0$ (рис. 4, б).

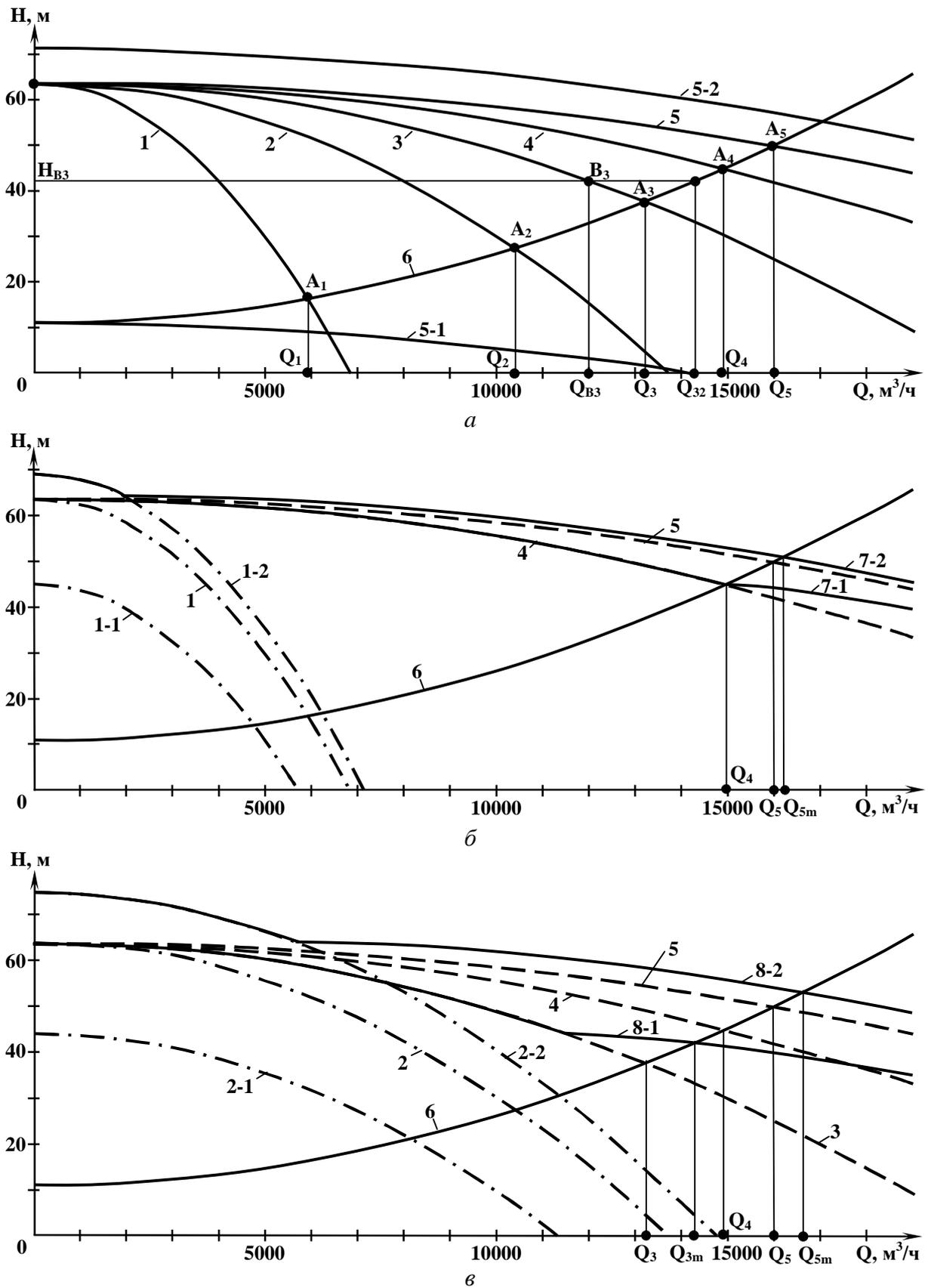


Рис. 4. Характеристики трубопровода и насосов при параллельной работе

При отключении двух насосов (4-го и 5-го) суммарная подача насосной станции (рис. 4, *a* и 4, *в*) $Q_3 \approx 13200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Подача каждого насоса $Q \approx 4400 \text{ м}^3/\text{ч}$, что на 10% превышает допустимую величину $Q_{max} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$. На рис. 4, *a* по-

казана точка $Q_{B3} = 3Q_{max} = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$, которой соответствует величина напора $H_{B3} = 42,1 \text{ м}$. Этой величине соответствует подача системы $Q_{32} = 14300 \text{ м}^3/\text{ч}$. Диапазон изменения подачи системы при наличии двух регулируемых насосов с наибольшей подачей $Q_N = 3200 \text{ м}^3/\text{ч}$ составляет $14300 \div 16000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Диапазон регулирования подачи системы можно увеличить за счет увеличения подачи регулируемых насосов до $Q_{max} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом ограничивающим фактором является мощность двигателя.

Определим диапазон изменения суммарной подачи насосной станции с двумя регулируемыми насосами с предельной величиной подачи.

По двум точкам напорной характеристики насоса (рис. 2) определяем гидравлическое фиктивное сопротивление $S_\phi = (H_\phi - H_2) / Q_2^2 = (64 - 50) / 4171^2 = 8.05 \cdot 10^{-7} \text{ ч}^2/\text{м}^5$. Задаваясь величиной подачи регулируемого насоса Q от 0 до Q_{max} , определяем по (6) и (4) Q_c и H . В соответствии (1) величина подачи нерегулируемого насоса

$$Q_{np} = \sqrt{(H_\phi - H) / S_\phi} \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (7)$$

При $k = 2$ по условию $Q_{np} = Q_{max}$ находим минимальную подачу регулируемого насоса $Q_{min} = 1150 \text{ м}^3/\text{ч}$. При снижении подачи регулируемого насоса ниже Q_{min} подача нерегулируемого насоса становится выше допустимой.

Для известного диапазона изменения подачи регулируемого насоса $Q = Q_{min} \div Q_{max}$ в соответствии (3) находим скорость вращения

$$n = n_N \cdot \sqrt{(H + S_\phi \cdot Q^2) / H_\phi} \text{ об/мин}. \quad (8)$$

Минимальная и максимальная скорости: $n_{min} = 605 \text{ об/мин}$; $n_{max} = 789 \text{ об/мин}$. Строим напорные характеристики двух регулируемых насосов при n_{min} и n_{max} (кривые 2-1 и 2-2 на рис. 4, в). Строим суммарные напорные характеристики насосной станции при минимальной и максимальной скорости вращения регулируемых насосов (кривые 8-1 и 8-2).

Зависимость КПД насоса от скорости при номинальной подаче [6]:

$$h_{Np} = 1 - (1 - h_N) \cdot n_N / n. \quad (9)$$

КПД насоса при разных подачах

$$h_p = h_{Np} \cdot \left[1 - \left(1 - (Q \cdot n_N) / (Q_N \cdot n) \right)^{2.3} \right]. \quad (10)$$

КПД при минимальной и максимальной скорости: $h_{min} = 0,562$, $h_{max} = 0,813$.

Мощность электропривода [6]

$$P = \frac{9.81 H \cdot Q \cdot r}{h_p \cdot 1000 \cdot 3600} \text{ кВт}. \quad (11)$$

Минимальное и максимальное значение мощности: $P_{min} = 240$, $P_{max} = 723 \text{ кВт}$.

Максимальная величина суммарной подачи насосной станции при ограничении мощности электропривода величиной $P_{max} = P_N = 630$ кВт уменьшается.

В таблицах 1 и 2 приведены параметры регулируемых насосов и диапазон изменения суммарной подачи насосной станции при изменении подачи насосов до максимальной (табл. 1) и при $P_{max} = P_N$ (Табл. 2) при разном количестве регулируемых насосов ($k = 1 \div 3$): $n_{min} \div n_{max}$, $P_{min} \div P_{max}$ – диапазоны изменения скорости вращения и мощности регулируемых электроприводов; $Q_{min} \div Q_{max}$ – диапазоны изменения подачи одного регулируемого насоса; $Q_{cmin} \div Q_{cmax}$ – диапазоны изменения подачи насосной станции.

Таблица 1

Параметры регулируемых насосов и диапазоны изменения суммарной подачи насосной станции при изменении подачи регулируемых насосов до максимальной

Число насосов		$n_{min} \div n_{max}$	$P_{min} \div P_{max}$	$Q_{min} \div Q_{max}$	$Q_{cmin} \div Q_{cmax}$
k	m	об/мин	кВт	м ³ /ч	м ³ /ч
1	4	612 ÷ 780	189 ÷ 704	0 ÷ 4000	14930 ÷ 16240
2	3	605 ÷ 789	240 ÷ 723	1150 ÷ 4000	14300 ÷ 16570
3	2	633 ÷ 801	328 ÷ 751	2100 ÷ 4000	14300 ÷ 17050

Таблица 2

Параметры регулируемых насосов и диапазоны изменения суммарной подачи насосной станции при ограничении мощности регулируемого двигателя величиной $P_{max} = P_N$

Число насосов		$n_{min} \div n_{max}$	$P_{min} \div P_{max}$	$Q_{min} \div Q_{max}$	$Q_{cmin} \div Q_{cmax}$
k	m	об/мин	кВт	м ³ /ч	м ³ /ч
1	4	612 ÷ 757	189 ÷ 630	0 ÷ 3640	14930 ÷ 16130
2	3	605 ÷ 758	240 ÷ 630	1150 ÷ 3590	14300 ÷ 16290
3	2	633 ÷ 760	328 ÷ 630	2100 ÷ 3540	14300 ÷ 16470

Диапазоны изменения суммарной подачи насосной станции при предельной величине подачи регулируемых насосов составляет 33 – 23 % от суммарной предельной подачи регулируемых агрегатов. При этом номинальная мощность регулируемого электропривода должна быть увеличена до 700 – 750 кВт.

При ограничении мощности регулируемого электропривода величиной $P_{max} = P_N$ диапазон изменения суммарной подачи насосной станции составляет 30 – 18 % от суммарной предельной подачи регулируемых агрегатов.

Диапазон изменения суммарной подачи насосной станции может быть существенно увеличен (вплоть до 100% от суммарной предельной подачи регулируемых насосов) при работе регулируемых и нерегулируемых насосов на отдельные трубопроводы (рис. 1).

Машины двойного питания

Машины двойного питания рассматриваются в работах [3 – 5, 7, 9 – 12]. В качестве высоковольтных регулируемых электроприводов рассматриваются вентильные двигатели и асинхронизированные машины.

Схемы вентильных двигателей, получивших наибольшее распространение [4], показаны на рис. 5: *а* – каскад Шербиуса; *б* – каскад Кремера. В обоих каскадах обмотки ротора асинхронного двигателя 1 подключены к входу трехфазного диодного мостового выпрямителя 2. В каскаде Шербиуса к выходу выпрямителя подключен инвертор 3 и реактор 4, энергия постоянного тока преобразуется инвертором в энергию переменного тока, которая через согласующий трансформатор 5 передается в сеть. В каскаде Кремера энергия постоянного тока с помощью двигателя постоянного тока 3 преобразуется в механическую энергию. Регулируемый привод работает при скорости вращения ниже синхронной. Один из недостатков каскада Кремера – наличие машины постоянного тока с щеточно-контактным узлом. Поэтому более предпочтителен каскад Шербиуса. Общим недостатком вентильных двигателей является большая мощность преобразователя, которая при ограниченном диапазоне регулирования скорости вращения обусловлена условиями пуска машины.

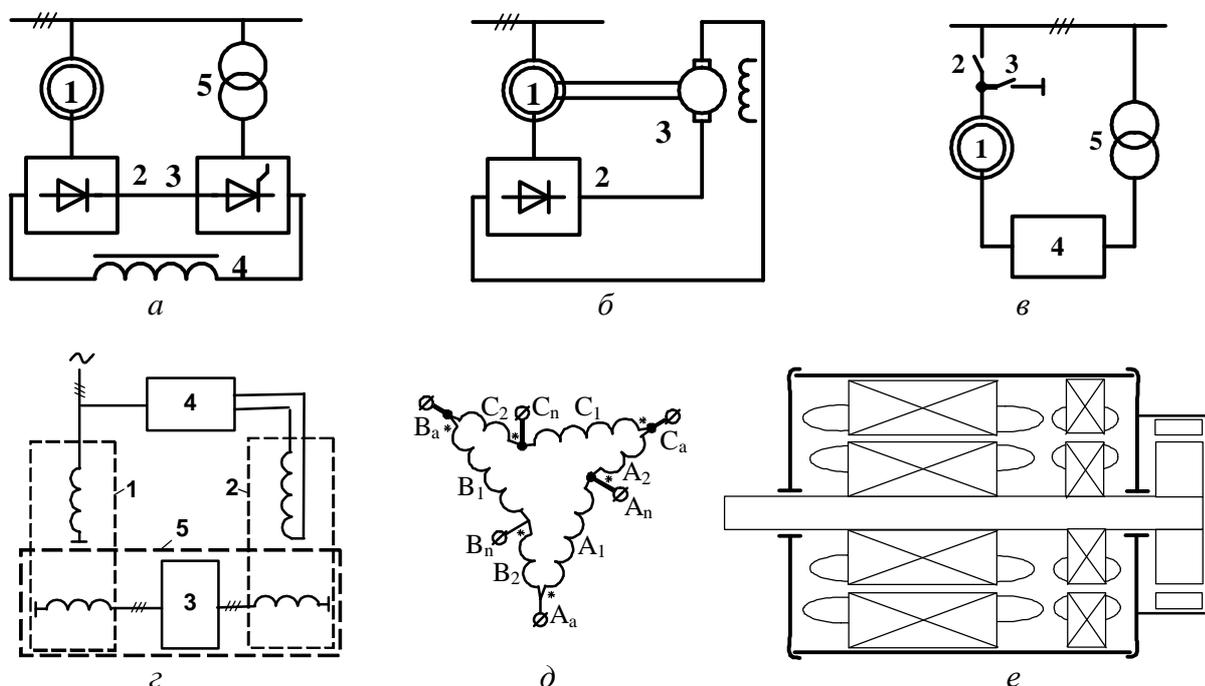


Рис. 5. Машины двойного питания:

а – каскад Шербиуса; *б* – каскад Кремера; *в* – асинхронизированный двигатель (АСД); *г* – бесконтактный АСД); *д* – обмотка ротора АД с противовключением; *е* – конструкция БАСД.

Мощность ПЧ в роторной цепи уменьшена в асинхронизированной машине [3, 5, 7, 9 – 12]. В работах [3, 5] рассматривается способ частотного пуска асинхронизированного двигателя (АСД), основанный на идее комбинации схемы вентильного двигателя и пуска от непосредственного ПЧ с естественной коммутацией (НПЧЕ). На рис. 5, *в* показана схема АСД: 1 – АД с фазным ротором; 2, 3 – выключатели; 4 – ПЧ; 5 – согласующий трансформатор. В АСД применяется частотный пуск двигателя со стороны ротора при накоротко замкнутых обмотках статора АД. Диаграмма пуска и диапазон регулирования скорости вращения АСД показаны на рис. 6, *а*. Двигатель запускается до половины

синхронной скорости вращения $n = n_c/2$, при которой обмотка статора переключается на сеть, а поле ротора при неизменной частоте реверсируется. Двигатель втягивается в асинхронизированный режим. Увеличение скорости вращения от $n_c/2$ до n_c осуществляют изменением частоты на выходе НПЧЕ. Принципиально возможно регулирование скорости вращения выше синхронной. Недостатки способа пуска и регулирования скорости вращения: большая мощность ПЧ, примерно равная половине мощности двигателя; низкое качество формы выходного напряжения НПЧЕ при скоростях, близких к $n_c/2$; сложность процесса реверсирования поля и втягивания в асинхронизированный режим. Поэтому такие АСД не получили широкого распространения. Высоким качеством формы выходного напряжения отличаются ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока (ПЧИ). Однако, ПЧИ должны передавать активную мощность в двух направлениях: от ПЧИ в ротор АСД и наоборот. Стоимость таких ПЧИ в два раза больше от ПЧИ с однонаправленной передачей активной мощности.

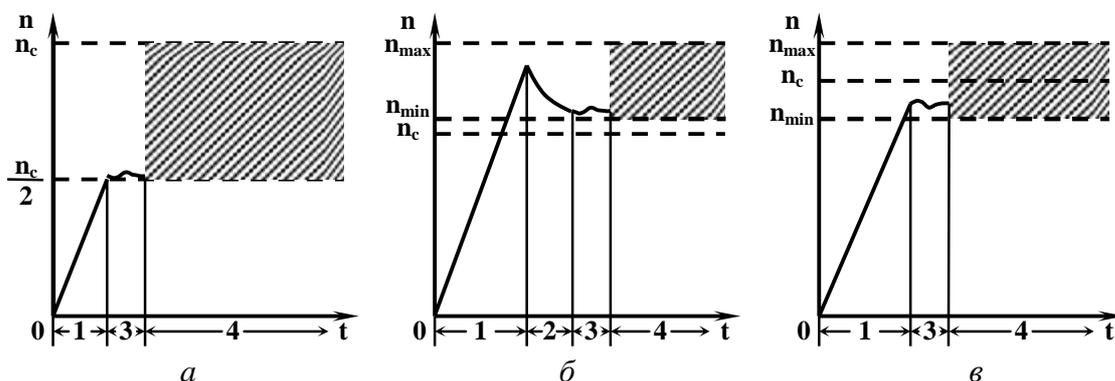


Рис. 6. Диаграммы пуска и диапазон регулирования скорости вращения АСД

В работе [9] рассматривается комбинированный способ пуска и регулирования скорости вращения АСД по схеме, показанной на рис. 6, в. Ненагруженный двигатель запускается до скорости выше синхронной. Обмотка ротора размыкается, а обмотка статора на выбеге двигателя подключается к сети. Затем проводится синхронизация по цепи ротора при скольжении $s \leq 0$. Скорость вращения двигателя в рабочем режиме выше синхронной. Диаграмма пуска и диапазон регулирования скорости вращения АСД показаны на рис. 6, б. Достоинства способа пуска и регулирования скорости вращения АСД с вентиляторной характеристикой нагрузки: применение ПЧИ с одним направлением передачи активной мощности – от ПЧИ в ротор АД; сравнительно малая мощность низковольтного ПЧИ.

Наибольший экономический эффект от регулируемого насосного агрегата может быть получен при применении бесконтактного АСД (БАСД) с пуском по методу противовключения обмоток ротора асинхронной машины [7, 10 – 12]. В БАСД могут быть применены каскадные или одномашинные возбудители. На рис. 5, г показана схема БАСД с одномашинным возбудителем: 1 – АД с фазным ротором; 2 – синхронный возбудитель; 3 – вращающийся НПЧЕ с циклическим алгоритмом управления; 4 – регулятор возбуждения возбудителя; 5 – вращающаяся часть. На рис. 5, д показана одна из схем противовключения об-

моток ротора асинхронной машины [11]. На рис. 5, е показана конструкция БАСД. Асинхронная машина и возбудитель расположены в одном корпусе, НПЧЕ и пусковое устройство – в консольной части машины.

Пуск осуществляется без нагрузки при замкнутых клеммах A_n , B_n , C_n . При достижении определенной скорости вращения вала обмотка ротора двигателя отключается от пускового устройства и подключается к НПЧЕ. Регулирование скорости вращения двигателя осуществляется при одновременном изменении тока возбуждения возбудителя и фазы напряжения статорной обмотки управляющей машины. При скорости вращения выше синхронной активная мощность передается от НПЧЕ в ротор асинхронной машины. Управление тиристорами осуществляют по частоте управления ниже частоты ЭДС обмотки якоря возбудителя [12]. Это возможно в двигателе с вентиляторной характеристикой при скорости вращения выше синхронной, – именно в этом случае с ростом частоты нагрузки растет напряжение на выходе НПЧЕ.

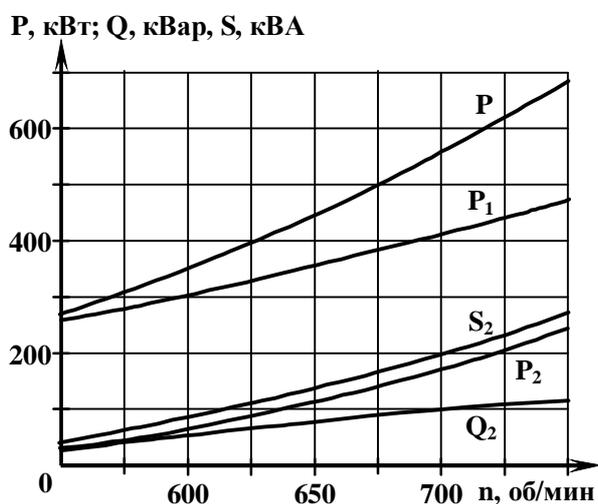


Рис. 7. Зависимости мощностей БАСД от скорости вращения

На рис. 7 показаны зависимости мощностей БАСД с числом пар полюсов $p = 5$ от скорости вращения: P – активная мощность двигателя; P_1 , P_2 – активные мощности статора и ротора; S_2 , Q_2 – полная и реактивная мощности ротора.

В настоящее время разрабатываются БАСД на основе НПЧЕ с двухзонным (выше и ниже синхронной) регулированием скорости вращения. При этом мощность НПЧЕ снижается примерно вдвое. Диаграмма пуска и диапазон регулирования скорости вращения БАСД показаны на рис. 6, с.

Заключение

По результатам исследования работы насосной станции с 5-тью параллельно работающими насосами типа ДЗ200-55 при номинальной мощности электропривода $P_N = 630$ кВт и числе регулируемых агрегатов $k = 1 \div 3$ можно сделать следующие выводы.

1. Диапазон изменения суммарной подачи насосной станции составляет 30 – 18 % от суммарной предельной подачи регулируемых насосов.

2. Диапазон изменения суммарной подачи насосной станции, определяемой при предельной величине подачи регулируемых насосов, составляет 33 – 23 % от суммарной предельной подачи регулируемых агрегатов. При этом номинальная мощность регулируемого электропривода должна быть увеличена до 700 – 750 кВт.

3. Диапазон изменения суммарной подачи насосной станции может быть существенно увеличен (вплоть до 100% от суммарной предельной подачи регу-

лируемых насосов) при работе регулируемых и нерегулируемых насосов на отдельные трубопроводы.

4. В регулируемых насосных агрегатах целесообразно применять асинхронизированные двигатели (АСД) в контактном и бесконтактном исполнении. Применение АСД особенно эффективно при питании от высоковольтной сети.

5. Число пар полюсов регулируемых АСД насосной станции, определяемое по величине минимальной скорости вращения насоса $p = 5$.

6. В АСД с контактными кольцами целесообразно применять частотный пуск двигателя со стороны ротора при накоротко замкнутых обмотках статора. Ненагруженный двигатель запускается до скорости выше синхронной, при разомкнутом роторе на выбеге двигателя обмотка статора подключается к сети, проводится синхронизация по цепи ротора при скольжении $s \leq 0$. Скорость вращения двигателя в рабочем режиме выше синхронной.

7. Наибольший экономический эффект от регулируемого насосного агрегата может быть получен при применении бесконтактного АСД с пуском по методу противовключения обмоток ротора асинхронной машины.

Список литературы

1. Угинчус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. – Л.: Госэнергоиздат, 1953. – 359 с.
2. Малишевский Н.Г., Кондратьев Н.И., Алешко П.И., Малова Н.М. Водопроводные и канализационные насосы и насосные станции. – Х.: 1960.
3. Патент 1 250 997 (Англия). Method of speed control of a. c. electric motor and apparatus for carrying method into effect / М.М. Botvinnik, N.N. Blotsky, Dovganjuk a. o.
4. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания. М.: Энергия, 1979. – 200 с.
5. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 192 с.
6. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
7. Клюк Б.А., Подлесный А.М., Галиновский А.М., Новиков А.В. Асинхронизированный стартер-генератор газокompрессорных станций. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика // Весн. ХППУ. Спец. вып. – 1998. – С. 285–286.
8. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії і застосування: Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 328 с.
9. Патент України: 75192 С2, Н02Р 27/04. Комбінований спосіб пуску електричної машини змінного струму / О.М.Галіновський, О.О.Ленська. // Открытия. Изобретения. – 2006 – № 3. – С. 8.
10. Галиновский А.М., Анпилогов Н.Г., Ленская Е.А. Пуск бесконтактного асинхронизированного двигателя по методу противовключения обмоток ротора. Сб. научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2006. – С. 34-40.
11. Патент України: 80882, Н02К 3/28, Н02К 17/14, Н02Р 27/04. Обмотка з перемиканням ефективного числа витків фаз електричної машини змінного струму / О.М.Галіновський, О.О.Ленська. // Открытия. Изобретения. – 2007 № 3 – С.7.
12. Галиновский А.М., Кузьминский Е.В., Ленская Е.А. Электромашинно-вентильные преобразователи бесконтактных асинхронизированных машин с синхронными возбудителями. Вісн. Кременчуцького ДПУ. – 2008.– Вип. 3, ч. 2, с. 46-50.