

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ АГРЕГАТОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

*К.Г.Абидов, д.т.н., профессор кафедры «Электротехника»,
Ташкентского государственного технического университета
А.К.Нуралиев, к.т.н., доцент кафедры «Электротехника»,
Ташкентского государственного технического университета
Ш.Хамдамов, Заместитель начальника
Чиланзарского энергосбыта города Ташкента*

Аннотация. В данной статье определяется доступное количество насосных агрегатов при заданном параметре питающего трансформатора от степени загрузки электродвигателей насосных агрегатов. Для этого исследовано режимы работы электродвигателей совместно с их насосами. Учитывая, что максимальная загрузка трансформатора по мощности будет иметь место при наибольшем количестве и максимальной загрузке параллельно работающих насосных агрегатов в каждом напорном трубопроводе и для расчета принять случай параллельной работы четырех насосов на общий трубопровод. При расчете используется нагрузочные характеристики асинхронных двигателей, снятых в заводских лабораторных условиях для определения суммарной активной мощности, потребляемой двигателем насосной станции от питающего трансформатора. По проделанным расчетам приводятся рекомендации для обеспечения нормальной работы всех агрегатов насосной станции и величина дополнительно включаемого источника реактивной мощности.

Ключевые слова: насосная станция, насосная установка, насосный агрегат, силовое оборудование, электропривод, полная мощность, активная мощность, реактивная мощность, статический конденсатор, асинхронный двигатель, номинальная мощность, рабочая характеристика насоса.

Abstract. This article determines the available number of pumping units for a given parameter of the supply transformer based on the degree of loading of the electric motors of the pumping units. For this purpose, the operating modes of electric motors together with their pumps were studied. Considering that the maximum load of the transformer in terms of power will occur with the greatest number and maximum load of parallel operating pumping units in each pressure pipeline, and for the calculation, take the case of parallel operation of four pumps on a common pipeline. The calculation uses the load characteristics of asynchronous motors taken in factory laboratory conditions to determine the total active power consumed by the pumping station motor from the supply transformer. Based on the calculations made, recommendations are

given to ensure the normal operation of all units of the pumping station and the size of the additionally switched on reactive power source.

Key words: pumping station, pumping unit, pump unit, power equipment, electric drive, full power, active power, reactive power, static capacitor, asynchronous motor, rated power, pump performance characteristic.

Доступное количество насосных агрегатов при заданном параметре питающего трансформатора зависит от степени загрузки электродвигателей насосных агрегатов. Поэтому для определения доступного количества насосных агрегатов, предварительно, необходимо изучить режимы работы электродвигателей совместно с их насосами [1].

На рис.1 приведены характеристики насоса 24НДС и системы трубопроводов на насосных станциях Аму-Занг.

Как следует из этих графиков, при заданном параметре насоса 24НДС с диаметром рабочего колеса $D_{р.к.}=875$ мм (для насосной станции Аму-Занг-I) потребляемая мощность каждым насосом N (следовательно мощность на валу двигателя $P_2=N$) зависит от количества параллельно работающих насосов и колебания геометрической высоты подъема. Следовательно, максимальная загрузка трансформатора по мощности будет иметь место при наибольшем количестве и максимальной загрузке параллельно работающих насосных агрегатов в каждом напорном трубопроводе [2].

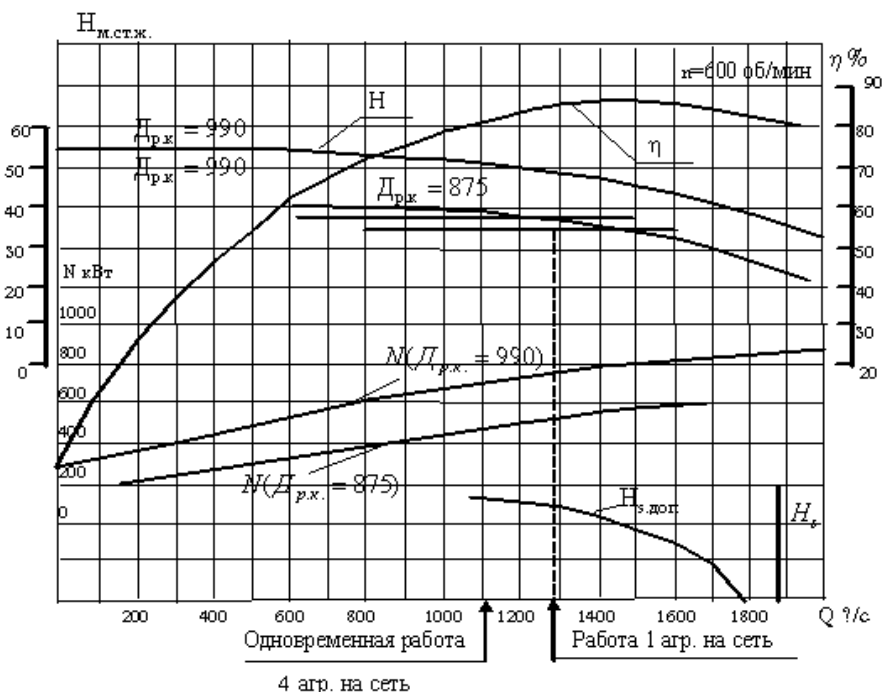


Рис. 1. Характеристика насоса 24НДС на холодной воде

Поэтому за основу расчета принимаем случай параллельной работы четырех насосов на общий трубопровод.

Анализ режимов работы насосных агрегатов при различных значениях геометрической высоты подъема $H_{Г\ min}=27,91\ м = const.$

При заданной геометрической высоте подъема на графике $N-Q$ (рис.1) для насоса 24НДс с $D_{рк}=375\ мм$ имеем, что потребляемая мощность каждым насосом составляет $N=P_2=600\ кВт$ (где $P_2=$ мощность на валу двигателя).

При этом потребляемая мощность насоса P_2 нагрузки двигателей составляет[3]:

- для насосной станции I^{ой} очереди с двигателем типа ДАЗО-15-59-10

$$K_{загр(I)} = \frac{P_2}{P_{2н}} = \frac{600}{630} = 0,95 \quad (1)$$

и соответственно для насосной станции 2^{ой} очереди $K_{загр}$ составляет:

$$K_{загр(II)} = \frac{P_2}{P_{2н}} = \frac{600}{800} = 0,75 \quad (2)$$

В таблице 1 сведены данные нагрузочных характеристик асинхронных двигателей типа ДАЗО, снятых в заводских лабораторных условиях.

Таблица 1

Тип двигателя	P_2	I_1	$\cos\varphi_\delta$	η_δ
	<i>кВт</i>	<i>А</i>	-	-
ДАЗО-15-59-10	550	78,0	0,74	0,93
	600	82,0	0,75	0,93
	630	83,5	0,77	0,93
ДАЗО-15-69-10	600	87,0	0,75	0,92
	700	96,0	0,78	0,93
	800	104,5	0,81	0,94

Предварительно построив, в графическом виде, нагрузочные характеристики этих двигателей, были найдены следующие данные:

- для двигателей насосной станции I^{ой} очереди ДАЗО-15-59-10 при нагрузке на валу $P_2=600\ кВт$ имеем: $\cos\varphi_\delta=0,75$ и $\eta_\delta=0,93$;

- для соответственно для двигателей насосной станции II^{ой} очереди ДАЗО-15-69-10 при нагрузке на валу $P_2=600\ кВт$ имеем: $\cos\varphi_\delta=0,75$ и $\eta_\delta=0,92$.

При этих загрузках $P_2=600\ кВт$ на нагрузочной характеристики двигателей ДАЗО-15-59-10 и ДАЗО-15-69-10 (табл.1) имеем следующее:

Активная мощность, потребляемая каждым двигателем от сети для насосной станции I^{ой} очереди (ДАЗО-15-59-10), будет [4]:

$$P_1^{(I)} = \frac{P_2}{\eta_\delta} = \frac{600}{0,93} = 645\ кВт, \quad (3)$$

Реактивная мощность, потребляемая каждым двигателем, будет:

$$Q_1^{(I)} = P_1^{(I)} \cdot tg\varphi_{\partial} = 645 \cdot 0,8837 = 570 \text{ кВАр}, \quad (4)$$

Полная мощность каждого двигателя насосной станции I^{ой} очереди равно:

$$S_1^{(I)} = \frac{P_1^{(I)}}{\cos\varphi_{\partial}} = \frac{645}{0,75} = 860 \text{ кВА}, \quad (5)$$

Аналогичном путем вычисляем эти данные для двигателей насосной станции второй очереди (ДАЗО-15-69-10):

$$P_1^{(II)} = \frac{P_2}{\eta_{\partial}} = \frac{600}{0,923} = 650 \text{ кВт}, \quad (6)$$

$$Q_1^{(II)} = P_1^{(II)} \cdot tg\varphi_{\partial} = 650 \cdot 0,8769 = 570 \text{ кВАр}, \quad (7)$$

$$S_1^{(II)} = \frac{P_1^{(II)}}{\cos\varphi_{\partial}} = \frac{650}{0,751} = 865 \text{ кВА}, \quad (8)$$

Суммарная активная мощность, потребляемая двигателем насосной станции Аму-Занг первой и второй очереди от питающего трансформатора ТРДН-25000/110, будет:

$$\sum P_{\text{на}} = 16 [P_1^{(I)} + P_1^{(II)}] = 16[645 + 650] = 20720 \text{ кВт}, \quad (9)$$

Суммарная реактивная мощность, потребляемая двигателем насосной станции Аму-Занг-I, равна[5,6]:

$$\sum Q_{\text{на}} = 16 [Q_1^{(I)} + Q_1^{(II)}] = 16[570 + 570] = 18240 \text{ кВАр}, \quad (10)$$

Польная мощность, необходимая для двигателем насосной станции Аму-Занг-I, будет:

$$\sum S_{\text{на}} = 16 [S_1^{(I)} + S_1^{(II)}] = 16[860 + 865] = 27600 \text{ кВа}, \quad (11)$$

При установленных на насосной станции Аму-Занг-I статических конденсаторов мощностью $Q_c=3600$ кВАр суммарная потребляемая реактивная мощность от питающего трансформатора равна[7,8]:

$$\sum Q_{\text{потр}} = \sum Q_{\text{на}} - Q_c = 18240 - 3600 = 14640 \text{ кВАр}, \quad (12)$$

При этом суммарная полная мощность, необходимая для питания двигателей насосной станции Аму-Занг-I, будет:

$$\begin{aligned} \sum S_{\text{потр}} &= \sqrt{\sum P_{\text{на}}^2 + \sum Q_{\text{потр}}^2} = \sqrt{(20720)^2 + (14640)^2} = \sqrt{635040000} \\ &= 25200 \text{ кВА} \quad (13) \end{aligned}$$

Для одной пары насосных агрегатов будем иметь:

$$\sum S_{\text{потр}(1)} = \frac{\sum S_{\text{потр}}}{16} = \frac{25200}{16} = 1570 \text{ кВА} \quad (14)$$

Учитывая, что $S_1^{(I)} \approx S_1^{(II)}$, можно принимать, что необходимая полная мощность для каждого двигателя насосной станции Аму-Занг-I будет:

$$S_{(I,II)} = \frac{S_{\text{потр}(1)}}{2} = \frac{1570}{2} = 785 \text{ кВА} \quad (15)$$

При температуре воздуха окружающей среды $t_e=45^{\circ}\text{C}$ номинальная пропускная мощность трансформатора равна:

$$S_{\text{тр-ра}}^{(45^{\circ}\text{C})} = S_{\text{тр-ра}}^{(35^{\circ}\text{C})} [1 - (45 - 35)] = 25000[1 - 0,1] = 22500 \text{ кВА} \quad (16)$$

Суммарная полная мощность трансформатора, с учетом трансформатора собственных нужд мощностью 180 кВА равна:

$$S_{\text{тр-ра}} = S_{\text{тр-ра}}^{(45^{\circ}\text{C})} - 180 = 22500 - 180 = 22320 \text{ кВА} \quad (17)$$

Доступное количество насосных агрегатов будет:

$$K_{\text{на}} \leq \frac{S_{\text{тр-ра}}}{S_{(I,II)}} = \frac{22320}{785} = 28,4 \quad (18)$$

Допустимое количество насосных агрегатов при заданной $Q_c = 3600$ кВАр, равно 28 шт.

При номинальном использовании мощности трансформатора 22320 кВА для обеспечения работы всех насосных агрегатов Аму-Занг- I (в количестве -28 шт) необходимо обеспечить на зажимах вторичной цепи питающего трансформатора коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_c = \frac{\sum P_{\text{на}}}{S_{\text{тр-ра}}} = \frac{20720}{22320} = 0,93, \quad (19)$$

При этом значении коэффициента мощности трансформатора может выдавать реактивную мощность:

$$Q_{\text{тр-ра}} = \sum P_{\text{на}} \operatorname{tg}\varphi_c = 20720 \cdot 0,3939 = 8150 \text{ кВАр} \quad (20)$$

Для обеспечения коэффициента мощности $\cos\varphi_c = 0,855$ необходимо включить статические конденсаторы, дополнительно к имеющимся $Q_c = 3600$ кВАр, мощностью $Q_c^{\text{доп}}$:

$$Q_c^{\text{доп}} = Q_{\text{потр}} - Q_{\text{тр-ра}} = 14640 - 8150 = 6490 \text{ кВАр} \quad (21)$$

Таким образом, при заданной мощности статических конденсаторов $Q_c = 3600$ кВАр доступное количество работающих насосных агрегатов равно 28 шт.

Для обеспечения работы всех насосных агрегатов насосной станции Аму-Занг-I при геометрической высоте подъема $H_r=27,51$ м необходимо

дополнительно включить источник реактивной мощности, мощностью $Q_c^{\text{доп}} = 6490$ кВАр [9, 10].

Литература

1. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Сытдыков Р.А. Переходные процессы насосных станций. Под ред. проф. М.М. Мухаммадиева. –Т.: «Fan va tehnologiya», 2012, 180с.
2. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Титова Ж.О. Повышение энергоэффективности насосных станций с длинными трубопроводами // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2013 - № 1-2 - С. 10-15.
3. Насосы каталог-справочник. Издание 4. Кировоград 2008.
4. Технический отчет Главного управления насосных станций, энергетики и связи МСиВХ РУз Т.:, 2006, 40 с.
5. Технический отчет Управления эксплуатации Каршинского магистрального канала. Талимарджан:, 2014, 261 с.
6. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. Учебник для вузов./ М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 3-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.
7. Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции. Учебник для вузов. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 330 с.
8. Хамудханов М.М. Математическое моделирование насосной установки систем электромашиного орошения // Вестник ТашГТУ, 2011. № 1-2. С.53-58.
9. Абидов К.Г. Повышение надежности работы мелиоративных насосных станций с применением самозапуска электродвигателей. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт.-Москва, 2020 № 3 (189) март. С.34-38.
10. Абидов К.Г., Хамудханова Н.Б., Гафурова М.О. Влияния конструктивных параметров на энергосберегающие и эксплуатационные показатели работы водоподъемных насосных агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. -Москва.№1, 2023.С.56-63.
11. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Оптоэлектронное бесконтактное реле напряжения // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение № IAP 05122. 29.10.2015.
12. Каримов И.Ч., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимларида контактсиз ускуналарнинг ишлатилиши // «Техника юлдузлари» журналы (ISSN: 1682-7686). Тошкент, 2017. - №4. – Б.53-56.
13. Бобожанов М.Қ., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Саттаров Х.А. Электр таъминоти тизимида контактсиз кучланиш стабилизаторларини тадқиқ қилиш // «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» журналы (ISSN: 2181-9211). Тошкент,

2018. - №3(5). – Б.106-109.

14. Каримов Р.Ч., Рўзиназаров М.Р., Паноев А.Т. Электр таъминоти тизимида сифимли филтрли тўғрилагични таҳлил қилиш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журнали. Бухоро, 2017. - №1. – Б.22-27.

15. Каримов Р.Ч., Рафиқова Г.Р. Сифимли тўплагичлар энергиясини зарядловчи курилмаларнинг параметрлари ва иш режимларини танлаш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журнали. Бухоро, 2016. - №1. – Б.9-19.

16. Суллийев А.Х., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимида оптотиристорли контактсиз кучланиш релесини ишлатиш // «ТошТЙМИ ахбороти» журнали (ISSN: 2091-5365). Тошкент, 2018. - №4. – Б.149-154.

17. Бобожанов М.Қ., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимида оптоэлектронли резистив занжирларни тадқиқ қилиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2017. - №4(101). – Б.53-57.

18. Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Абдураимов Э.Х., Рўзиназаров М.Р. Электр таъминоти тизимида транзисторли резистив занжирларни ишлатиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2015. - №3(92). – Б.108-113.

19. Абдураимов Э.Х., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Рўзиназаров М.Р. Электр таъминоти тизимида куч тиристорларини бошқаришида оптоэлектронли резистив занжирларни ишлатиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2015. - №2(90). – Б.103-108.

20. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Использование бесконтактных реле для улучшения качества электроэнергии // Журнал «Вестник ТашГТУ» (ISSN: 1684-789X). Ташкент, 2013. - №3-4. – С.48-51.

21. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч., Авлакулов Х.П. Ночизикли электр занжирида динамик жараёнларнинг таҳлили // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2010. - №1-2. – Б.72-75.

22. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Нелинейная динамическая цепь с тиристором // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 2006. - № 2-3. – С.37-41.

23. Bobojanov M.K., Usmanov E.G., Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. Resistive time delay switches // Scientific journal «European Science Review» (ISSN: 2310-5577). Vienna (Austria), 2018, January–February. №1-2. – PP.210-212.