

АНАЛИЗ СХЕМ КОМПОНОВКИ И ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ МАССОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ

Хамудханова Н.Б.

Ташкентский университет информационных технологий

nargizaxamudxanova@gmail.com

Ишназаров О.Х.

д.т.н., профессор

Научный руководитель: Академия наук Республики Узбекистан

oybek.ishnazarov@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20569669>

Аннотация. В исследовании изучаются полуавтоматические насосные станции для массового водоснабжения. Рассматриваются агрегаты с центробежными и осевыми насосами, а также с синхронными и асинхронными моторами. В работе сопоставлены схемы с индивидуальными и общими напорными трубопроводами. Насосная установка впервые описана математически как общая электро-гидросиловой система. Чтобы снизить расход электричества, автор сформировал критерии и функционал оптимизации управления. В результате предложены базовые принципы автоматизации таких станций с помощью регулируемого многодвигательного привода.

Ключевые слова: насосная станция, центробежный насос, осевой насос, синхронный двигатель, асинхронный двигатель, напорный трубопровод, энергосбережение, управление, оптимизация.

Введение

Полуавтоматические насосные станции (НС) СМВ характеризуются тем, что пуск и штатный останов насосного агрегата (НА) производится вручную, а текущая работа, регулирование и защита осуществляются автоматически. По типу основного гидромеханического оборудования НС СМВ комплектуются центробежными или осевыми насосами (горизонтальными или вертикальными) [1-3]. При подачах свыше $2 \text{ м}^3/\text{с}$ предпочтение отдаётся вертикальным насосам.

НА СМВ, как правило, оснащаются синхронными (СД) или асинхронными (АД) с короткозамкнутым и фазным ротором электродвигателями. Для насосов мощностью до 400 кВт, особенно при частых пусках, используются АД. На головных и крупных НС применяются СД, достоинством которых является работа с коэффициентом мощности, равным единице или опережающим, а также нечувствительность к колебаниям напряжения и неизменность частоты вращения при любой нагрузке в пределах перегрузочной способности.

Анализ эксплуатируемых в Республике Узбекистан НС СМВ показывает, что НА с приводными двигателями мощностью до 400 кВт составляют около 69%, от 400 до 1000 кВт – 25%, свыше 1250 кВт – 6%. НА больших мощностей

устанавливаются в основном на головных НС, а малых и средних – на станциях, подающих воду непосредственно на орошаемые массивы.

Математическая модель насосной установки

Насосная установка (НУ) рассматривается как взаимоувязанная электрогидросиловая система «электродвигатель – насос – напорная сеть». Основные уравнения, описывающие статические и динамические режимы, включают [4-5]:

1. **Характеристика насоса** (напор H как функция подачи Q и частоты вращения n):

$$H(Q, n) = H_0 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 - k_1 \left(\frac{n}{n_0} \right) Q - k_2 Q^2,$$

где H_0 – напор при нулевой подаче на номинальной частоте n_0 ; k_1 , k_2 – коэффициенты аппроксимации.

2. **Характеристика напорной сети:**

$$H_{сети}(Q) = H_{геом} + k_{тр} Q^2,$$

где $H_{геом}$ – геометрическая высота подъёма; $k_{тр}$ – коэффициент гидравлического сопротивления.

3. **Уравнение баланса моментов на валу:**

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{дв}(\omega) - M_{нас}(Q, \omega),$$

где J – момент инерции; ω – угловая скорость; $M_{дв}$ – момент двигателя; $M_{нас}$ – момент сопротивления насоса.

4. **Потребляемая электрическая мощность** (для частотно-регулируемого привода):

$$P_{эл} = \frac{\rho g Q H}{\eta_{нас}(Q, \omega) \cdot \eta_{дв}(Q, \omega) \cdot \eta_{пр}},$$

где ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; $\eta_{нас}$, $\eta_{дв}$, $\eta_{пр}$ – КПД насоса, двигателя и преобразователя частоты соответственно.

Схемы компоновки насосных агрегатов

В подавляющем большинстве НС СМВ каждый НА жёстко состыкован со своим отдельным всасывающим трубопроводом. Напорные трубопроводы (НТ) внутри здания НС могут быть организованы по двум основным схемам:

- каждый НА работает на свой отдельный НТ (индивидуальная схема);
- несколько НА объединены в общую напорную сеть (групповая схема).

Наибольшее распространение получили схемы, в которых НА работает как на свой, так и на общий НТ, образуя насосную установку во взаимоувязанной системе.

Оптимизационная задача управления

Для обеспечения энерго-ресурсосберегающих режимов сформулирован критерий минимума удельного расхода электроэнергии на единицу объёма перекачиваемой воды:

$$E_{y\delta} = \frac{P_{эл}}{Q} \rightarrow \min.$$

Интегральный функционал качества управления на интервале времени $[0, T]$ имеет вид:

$$J = \int_0^T \left(\frac{P_{эл}(t)}{Q(t)} + \alpha \left(\frac{Q(t) - Q_{зад}(t)}{Q_{зад}(t)} \right)^2 + \beta \left(\frac{\omega(t) - \omega_{онм}}{\omega_{онм}} \right)^2 \right) dt$$

где $Q_{зад}$ – заданный график водоподдачи; $\omega_{онм}$ – оптимальная частота вращения, соответствующая максимуму КПД насоса; α , β – весовые коэффициенты, учитывающие приоритет точности подачи и энергоэффективности.

Ограничения, накладываемые на систему:

$$Q_{min} \leq Q(t) \leq Q_{max}, \quad \omega_{min} \leq \omega(t) \leq \omega_{max}, \quad H_{min} \leq H(t) \leq H_{max}.$$

Задачи управления насосной станцией

На основе предложенных моделей сформулированы основные задачи управления НС СМВ:

1. Обеспечение чёткого формирования графика водопотребления орошаемых культур.
2. Обеспечение потребного графика водоподдачи НС.
3. Минимизация расхода электроэнергии на единицу объёма перекачиваемой воды.
4. Обеспечение максимума водоподдачи при ограничениях подводящего канала и колебаниях уровней бьефов.
5. Разработка математических моделей и алгоритмов управления по критерию минимума удельного расхода электроэнергии.
6. Разработка принципов построения системы автоматического управления с многодвигательным регулируемым электроприводом.

Заключение

Оценка применяемых конфигураций насосных агрегатов и используемых типов электроприводов выявила, что рост энергоэффективности станций массового водоснабжения (СМВ) требует отказа от фиксированных обособленных схем. Перспективным решением является переход к коллективным структурам, обеспечивающим параллельное функционирование оборудования на единую магистраль. Разработанный математический аппарат совместно с целевой функцией оптимизации дает возможность формировать управляющие алгоритмы, которые минимизируют затраты электричества с учетом заданных технических лимитов. Вектор последующих изысканий связан со сборкой цифровых прототипов установок в среде MATLAB/Simulink, а также с интеграцией систем автоматизации на основе синхронных и асинхронных машин с частотным регулированием.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций

систем машинного орошения: монография / Т. С. Камалов ; ред. Р. А. Захидов ; Институт энергетики и автоматики АН Республики Узбекистан. — Ташкент : Фан, 2014. — 367 с

2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. — М.: Энергоатомиздат, 2006. — 360 с.

3. Абакумов А.М. Энергосберегающий регулируемый электропривод вентиляторных и насосных установок: учебное пособие. — Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. — 116 с.

4. Камалов Т.С., Хамудханов М.М. Система электропривода насосных установок машинного орошения. — Ташкент: Фан, 1985. — 96 с.

5. Фациленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: учеб. пособие для студ. вузов. — М.: Горная книга, 2011. — 259 с.

