

АНАЛИЗ РАБОТЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Насосная станция имеет N насосов, которые через общий трубопровод качают воду в напорную емкость. Необходимо поддерживать уровень воды в напорной емкости в пределах от нижнего значения H_H до верхнего значения H_B . Скорость воды в трубопроводе V_T зависит от расхода (суммарной производительности насосов) Q_{HC} и сечения трубопровода S_T согласно формуле

$$V_T = Q_{HC} / S_T \quad (1)$$

Мощность насосов P_T , необходимая для протекания воды по трубопроводу, зависит от расхода в трубопроводе и его гидравлического сопротивления R_T

$$P_T = R_T V_T = K_R V_T^3, \quad (2)$$

где $R_T = K_R V_T^2$, K_R – коэффициент гидравлического сопротивления.

Затраты энергии на единицу перекаченного объема воды возрастают пропорционально квадрату скорости воды в трубопроводе

$$p_Q = \frac{P_T}{Q_{HC}} = \frac{K_R V_T^3}{V_T S_T} = \frac{K_R}{S_T} V_T^2 = \frac{K_R}{S_T^3} Q_{HC}^2. \quad (3)$$

Оптимальным для минимизации затрат на перекачку воды будет поддержание суммарного расхода насосов равным суммарному расходу потребителей Q_{Π} . Точное измерение расхода задача достаточно сложная, но даже небольшая разница между расходом насосов и расходом потребителей приведет к переполнению или осушению напорной емкости. Ограничиваются контролем уровня воды в напорной емкости. Сравним удельные затраты для двух вариантов работы насосов.

Вариант 1. При достижении нижнего уровня H_H включаются все насосы. При достижении верхнего уровня H_B все насосы выключаются.

Вариант 2. Постоянно включено число насосов, суммарный расход которых немного меньше расхода потребителей. Дополнительный насос включается при достижении нижнего уровня H_H и выключается при достижении верхнего уровня H_B .

Все процессы будем рассматривать в относительных единицах. За единицу расхода примем номинальный расход одного насоса Q_H , будем считать, что он не зависит от числа параллельно работающих насосов. За единицу удельной энергии, затрачиваемой на перекачку единицы объема, примем энергию одного одиночно работающего насоса. На рис. 1 приведены временные диаграммы расходов для варианта 1 и 2 при расходе потребителей $Q_{\Pi} = 1.5$ и максимальном числе насосов $N_{\max} = 4$.

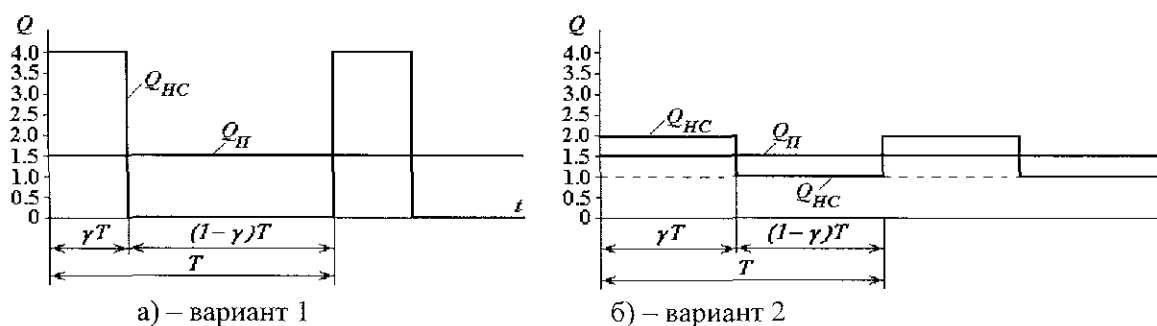


Рис. 1 Временные диаграммы расходов.

T – время цикла; $\square\square\square$ – относительная длительность работы максимального числа насосов

Учитывая равенство среднего расхода насосов расходу потребителей, получим уравнение, справедливое для обоих вариантов

$$N_1 Q_H \gamma T + N_2 Q_H (1 - \gamma) T = Q_{\Pi} T \quad \text{или} \quad N_1 \gamma + N_2 (1 - \gamma) = Q_{\Pi}, \quad (4)$$

где N_1, N_2 – число насосов, работающих на интервале γ и $(1-\gamma)$.

Относительная длительность работы максимального числа насосов

$$\gamma = \frac{Q_{II} - N_2}{N_1 - N_2}. \quad (5)$$

Удельные затраты энергии на перекачивание воды с учетом уравнения (3) и (5) равны

$$W_{уд} = N_1^2 \gamma + N_2^2 (1-\gamma) = \frac{N_1^2 (Q_{II} - N_2)}{N_1 - N_2} + \frac{N_2^2 (N_1 - Q_{II})}{N_1 - N_2},$$

или после соответствующих преобразований

$$W_{уд} = Q_{II} (N_1 + N_2) - N_1 N_2. \quad (6)$$

Расчеты показывают, что затраты у варианта 2 в 2,4 раза ниже, чем у варианта 1. Избыточные потери при варианте 2 составляют 12%. Графики зависимостей удельных затрат $W_{уд}$ и избыточных потерь $\Delta W_{уд}$ от относительного расхода потребителей Q_{II} для варианта 1 и 2 при $N_{max} = 2$ приведены на рис. 2, а при $N_{max} = 4$ приведены на рис. 3.

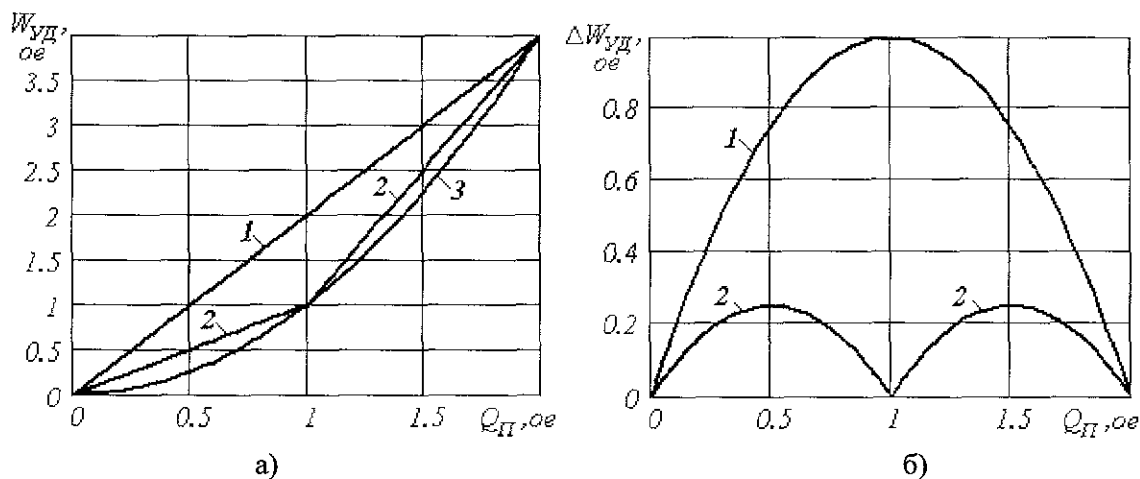


Рис. 2 Удельные затраты а) и избыточные потери б) при $N_{max} = 2$.
Кривые 1 для варианта 1, кривые 2 – для варианта 2, кривая 3 – для оптимального варианта.

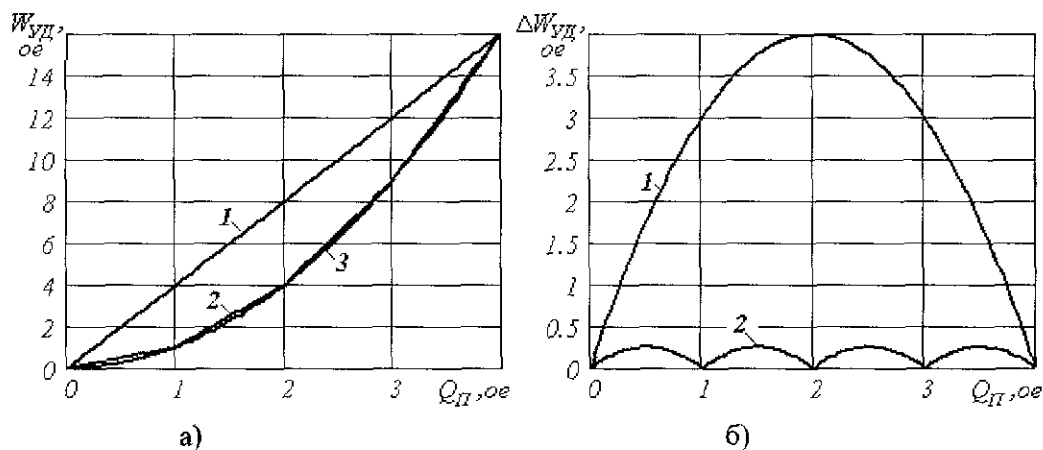


Рис. 3 Удельные затраты а) и избыточные потери б) при $N_{max} = 4$.

Кривые 1 для варианта 1, кривые 2 – для варианта 2, кривая 3 – для оптимального варианта

Из рис. 2 видно, что применение даже двух насосов, работающих по варианту 2, вместо одного, рассчитанного на полный расход, или двух насосов, работающих по варианту 1, даст существенный выигрыш в удельных затратах. При четырех насосах, работающих по варианту 2,

удельные потери незначительны и удельные затраты близки к оптимальным. Так при $Q_{\Pi} = 0,25$ удельные потери составляют 4% от оптимальных затрат. Отсюда можно сделать вывод, что при достаточно большом числе насосов выигрыш от регулирования производительности насосов для оптимизации удельных затрат, например регулированием частоты вращения приводных двигателей насосов, не дает существенного экономического эффекта.

Автором предложен следующий алгоритм логического управления насосами с помощью программируемого логического контроллера:

1. Чтение сигналов датчиков уровня.
2. Увеличение состояния счетчика числа работающих насосов при переходе нижней границы допустимого уровня сверху вниз и запуск таймера.
3. Уменьшение состояния счетчика числа работающих насосов при переходе верхней границы допустимого уровня снизу вверх и запуск таймера.
4. Увеличение состояния счетчика числа работающих насосов, если уровень ниже допустимого и сработал таймер. Перезапуск таймера.
5. Уменьшение состояния счетчика числа работающих насосов, если уровень выше допустимого и сработал таймер. Перезапуск таймера.
6. Остановка таймера, если уровень в допустимой зоне.
7. Ограничение состояния счетчика числа работающих насосов допустимыми значениями (не меньше нуля и не больше числа имеющихся исправных насосов)
8. Поддержание во включенном состоянии необходимого числа насосов.
9. Переход на начало цикла к п. 1.

Временные диаграммы работы насосной станции, состоящей из четырех насосов, полученные в результате физического моделирования с использованием микроконтроллера S7-224XP, приведены на рис. 4. За единицу расхода принят суммарный расход всех насосов. За единицу времени принято время заполнения пустой емкости до единичного уровня суммарным расходом всех насосов.

Рассмотрены три режима работы:

Участок 1. Включение насосной станции при начальном уровне жидкости в емкости $H = 0,3$ и расходе потребителей $Q_{\Pi} = 0,325$. При переходном процессе наблюдается кратковременный выход уровня емкости за верхнюю и нижнюю границы.

Участок 2. Реакция системы на увеличение расхода потребителей от $Q_{\Pi} = 0,325$ до $Q_{\Pi} = 0,675$. Если наброс расхода происходит при максимальном, для данного режима, числе работающих насосов, то новый режим устанавливается без переходных явлений.

Участок 3. Реакция системы на уменьшение расхода от $Q_{\Pi} = 0,675$ до $Q_{\Pi} = 0,325$. Если сброс расхода происходит при максимальном, для данного режима, числе работающих насосов, то новый режим устанавливается с переходными явлениями.

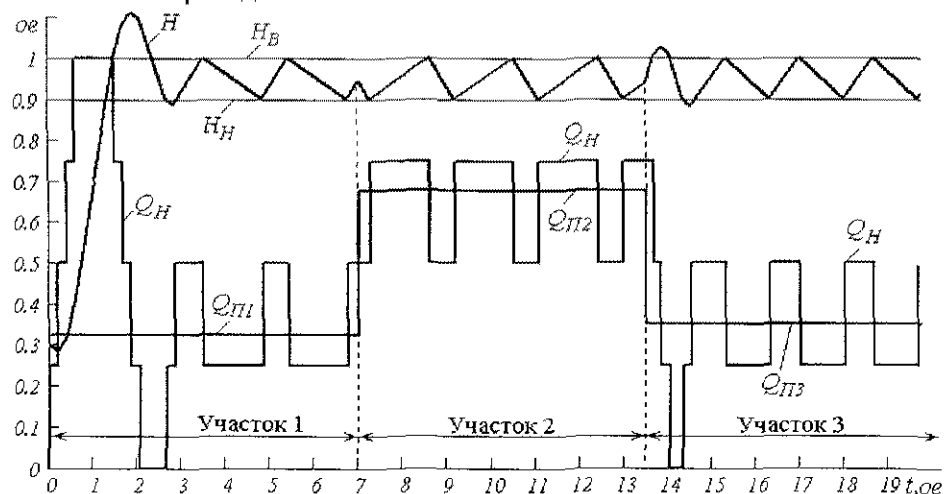


Рис. 4 Временные диаграммы работы насосной станции

Выводы: Несмотря на возможность возникновения переходных явлений, система устойчиво приходит к необходимому режиму работы. Предложенный алгоритм управления насосами является

работоспособным и не требует плавного регулирования производительности насосов. При числе насосов три и более удельные затраты энергии на перекачивание воды близки к оптимальным.

Усольцев В.К.

ЦИФРОВОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР

Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор находит широкое применение, как при аналоговом, так и цифровом управлении. ПИ-регулятор обладает передаточной функцией вида

$$W_P(s) = \frac{K_P(1 + T_P s)}{s}, \quad (1)$$

где постоянная времени числителя T_P обычно компенсирует соответствующую постоянную времени объекта управления T_{Oy} , то есть $T_P = T_{Oy}$.

Структура цифровой следящей системы соответствует рис.1. В цифровом виде элементом сравнения ЭС формируется ошибка e_p , а регулятором Р сигнал u_p . Цифро-аналоговый ЦАП и аналого-цифровой АЦП преобразователи отделяют цифровую часть системы от ее непрерывной части. Особенности работы цифровой системы учтем введением, в непрерывной части системы, элемента чистого запаздывания ЭЗ.

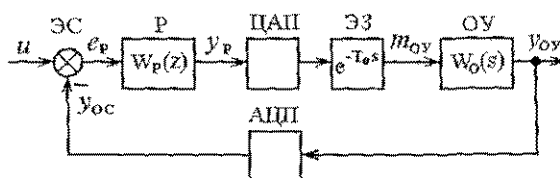


Рис. 1. Структура цифровой следящей системы

Передаточную функцию объекта управления $W_{Oy}(s)$ представим состоящую из двух частей – компенсируемой части $W_K(s)$ с большой постоянной времени T_{Oy} и некомпенсируемой части $W_\mu(s)$ с малой результирующей постоянной времени T_μ :

$$W_{Oy}(s) = W_K(s)W_\mu(s) = \frac{K_{Oy}}{1 + T_{Oy}s} \cdot \frac{1}{1 + T_\mu s}. \quad (2)$$

Передаточной функции компенсируемой части $W_K(s)$ соответствует структурная схема рис. 2.

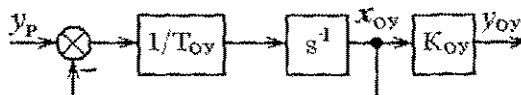


Рис. 2. Структурная схема объекта управления

Структурная схема ПИ-регулятора с параллельными каналами приведена на рис. 3, а структура с моделью объекта управления на рис. 4.

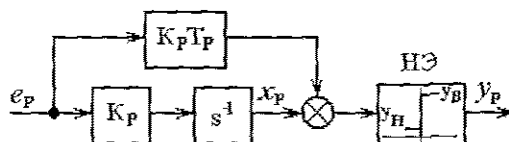


Рис. 3. Структурная схема ПИ-регулятора с параллельными каналами