

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЙОННОЙ СИСТЕМОЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Малахивская В. С., магистрант; Федюн Р. В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Отличительной чертой системы водоснабжения является практически случайное изменение нагрузки на сеть - водопотребления. Для каждой отдельной системы известен примерный график потребления в течение суток, однако он позволяет придерживаться лишь некоторого среднего значения подачи воды, который, как правило, не соответствует реальному водопотреблению. В таком случае происходят колебания давления в магистральных системах. Повышение давления приводит к порывам трубопроводов и снижению срока службы запорной арматуры, а также уменьшению количества подаваемой воды высотным потребителям и ухудшению качества водоснабжения в целом.

Таким образом, проблема улучшения качества водоснабжения актуальна.

По своему назначению и расположению в общей существующей схеме водоснабжения насосные станции подразделяются на станции I подъема, II подъема и повышающие.

Насосные станции I подъема забирают воду из источника водоснабжения и подают ее на очистные сооружения или, если не требуется очистка воды, непосредственно в резервуары, распределительную сеть, водонапорную башню или конструкции в зависимости от принятой схемы водоснабжения. Насосные станции II подъема служат для подачи очищенной воды конечным потребителям из резервуаров чистой воды.

Повышающие насосные станции (станции подкачки) предназначены для повышения напора в водопроводной сети или в водоводе. В этом случае вода забирается из одной сети и под увеличенным напором подается в другую сеть или в следующий участок длинного нагнетательного водовода.

Система водоснабжения Пролетарского района города Донецка состоит из водопроводного узла «б Красная звезда» и трех станций подкачки [1]. Водопроводный узел «б Красная звезда» предназначен для обеспечения питьевой водой таких районов города: Пролетарского, частично Буденновского, а также пос. Ларино, г. Моспино.

Подробный анализ системы водоснабжения Пролетарского района г. Донецка как объекта автоматизации рассмотрен в [1].

На основании имеющейся технологической схемы районного комплекса водоснабжения и значений необходимых технологических параметров установлено, что важнейшей задачей при автоматизации данного объекта является обеспечение поддержания уровня в резервуарах чистой воды в пределах от 2 м до 4,5 м для исключения кавитационных режимов работы насосов водопроводного узла и избегания переливов воды при переполнении резервуаров.

Получена структурная схема САУ уровнем в резервуарах чистой воды водопроводного узла «б Красная Звезда», которая приведена на рис. 1.

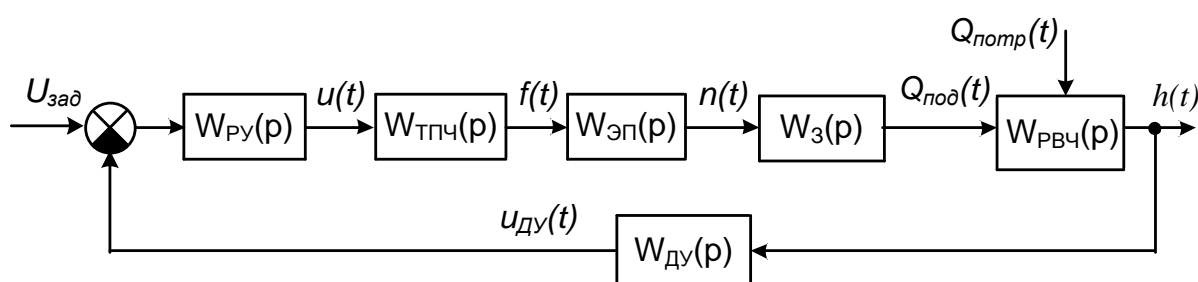


Рисунок 1 – Структурная схема САУ уровнем в резервуарах чистой воды

Объектом управления в данной САУ является резервуар чистой воды $W_{РВЧ}(p)$ со следующими переменными: выходная управляемая переменная – уровень $h(t)$; управляющее воздействие – расход подаваемой воды $Q_{nod}(t)$; возмущающее воздействие – расход потребляемой воды $Q_{nomp}(t)$. Уровень воды в резервуарах является контролируемым, управляемым и определяется по формуле [2]:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{\int_0^t Q_{nod} dt - \int_0^t Q_{nomp} dt}{L \cdot d}, \quad (1)$$

где V - объем жидкости в резервуаре; S - площадь дна резервуара; Q_{nod} - подача воды в резервуар; Q_{nomp} - потребление воды из резервуара.

Необходимое изменение расхода подаваемой в резервуары воды $Q_{nod}(t)$ осуществляется задвижкой $W_3(p)$ [3] с управляемым электроприводом $W_{ЭП}(p)$ [4]. Динамические свойства задвижки можно с достаточной степенью точности описать апериодическим звеном 1-го порядка с запаздыванием из-за наличия люфта [3]:

$$W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1} e^{-p\tau_3}. \quad (2)$$

Опытным путем установлено, что применяемые на водопроводном узле «6 Красная Звезда» задвижки имеют следующие параметры модели: $k_3 = 25 \text{ м}^3/\text{об}$, $T_3 = 100 \text{ с}$, $\tau_3 = 5 \text{ с}$.

Наиболее приемлемым способом управления асинхронным электродвигателем выступает изменение частоты питающего напряжения. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором описывается следующими уравнениями [4]:

$$W_{ЭЛ}(p) = \frac{M(p)}{f(p)} = \frac{k_{ЭД}}{T_{ЭЛ} p + 1}, \quad (3)$$

$$W_M(p) = \frac{n(p)}{M(p)} = \frac{1}{T_M p}, \quad (4)$$

где M – момент на валу электродвигателя; M_C – момент сопротивления; n – частота вращения вала двигателя; f – частота управляющего напряжения; $k_{ЭД}$ – коэффициент передачи электродвигателя, $k_{ЭД}=1,5$; $T_{ЭЛ}$ – постоянная времени электромагнитных процессов, $T_{ЭЛ}=2,1 \text{ с}$; T_M – механическая постоянная времени, $T_M = 10 \text{ с}$.

Тиристорный преобразователь частоты по своим динамическим свойствам соответствует усилительному звену с передаточной функцией [4]:

$$W_{ТПЧ}(p) = k_{ТПЧ}. \quad (5)$$

Контроль технологических параметров осуществляется датчиком уровня $W_{ДУ}(p)$. По динамическим свойствам этот датчик можно представить усилительным звеном:

$$W_{ДУ}(p) = k_{ДУ}. \quad (6)$$

В пакете *simulink* предусмотрено использование подсистем при моделировании. Получены структурные схемы моделей резервуара, задвижки и электропривода, а также возмущающего воздействия - изменяющегося водопотребления в виде подсистем. Соединив вышеуказанные подсистемы согласно структурной схемы (рис.1), получим модель САУ уровнем в резервуарах чистой воды в терминах пакета *simulink* (рис. 2).

На рис.3 приведены результаты моделирования динамики замкнутой САУ уровнем с использованной разработанной модели (рис.2).

Моделирование осуществлялось при постоянном возмущении и заданном уровне в резервуаре $h_{зад}=3,5\text{м}$. Согласно поставленным выше требованиям к САУ уровнем водопроводного узла, приведенный на рисунке 4 переходный процесс является

неудовлетворительным: колебательный вид переходного процесса приводит к преждевременному износу и выходу из строя технологического оборудования водопроводного узла (задвижка, электропривод), уровень в резервуаре не поддерживается в заданных пределах (2...4,5 м), что приводит к переливу (при $h > 4,5$ м) и возникновению кавитаций в насосах водопроводного узла (при $h < 2$ м). Таким образом, необходимо выполнить синтез соответствующих регуляторов САУ уровнем в резервуарах чистой воды.

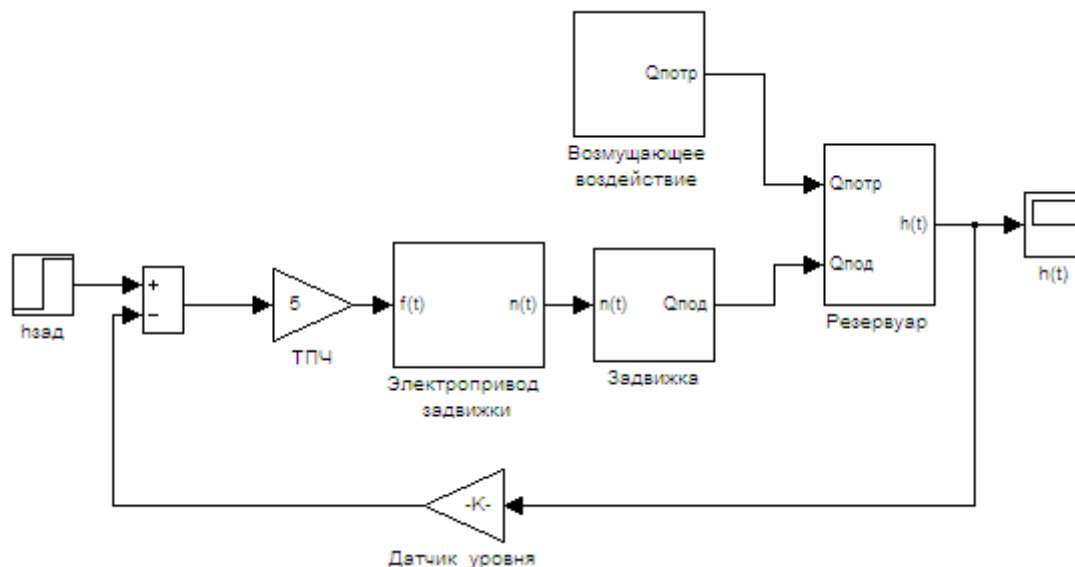


Рисунок 2 – Модель САУ уровнем в резервуаре в терминах пакета simulink

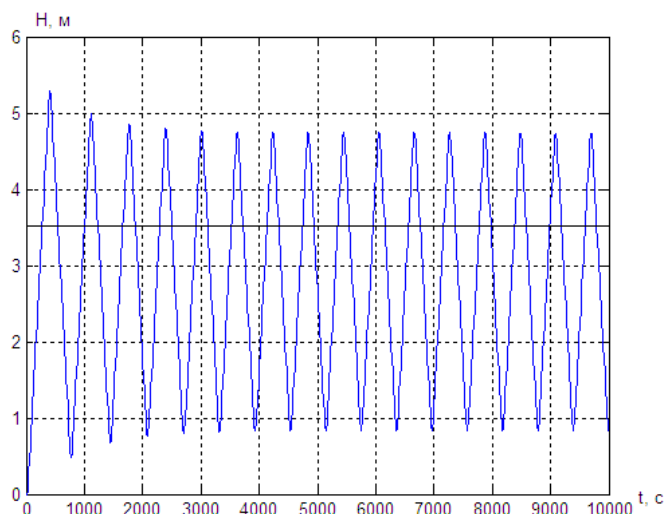


Рисунок 3 – Изменение уровня в резервуаре при использовании САУ без регулятора

Для улучшения показателей качества предлагается ввести дифференцирующую составляющую в закон управления и таким образом, получить ПД-регулятор со следующей передаточной функцией:

$$W_p(p) = k_p + T_d p, \quad (7)$$

где k_p и T_d – настроечные параметры ПД-регулятора.

С использованием разработанной модели САУ уровнем (рис.2) получены настроечные параметры ПД-регулятора: $k_p=0,1$; $T_d = 40$, которые использованы в модели САУ с ПД-регулятором, которая приведена на рис.4.

Результаты моделирования переходных процессов в САУ уровнем с ПД-регулятором приведены на рис.5. Анализ приведенной кривой переходного процесса показывает удовлетворительное качество управления по задающему воздействию (получен

апериодический монотонный переходный процесс с нулевой установившейся ошибкой) и неудовлетворительное качество по возмущающему. Предложенный ПД-регулятор не позволяет скомпенсировать влияние возмущающего воздействия – при уменьшении расхода потребляемой воды (на 70% в момент $t=40000$ с) наблюдается рост уровня выше допустимого, при увеличении расхода потребляемой воды (на 50% в момент $t=70000$ с) не устанавливается требуемый уровень в резервуаре $h_{зад}=3,5$ м.

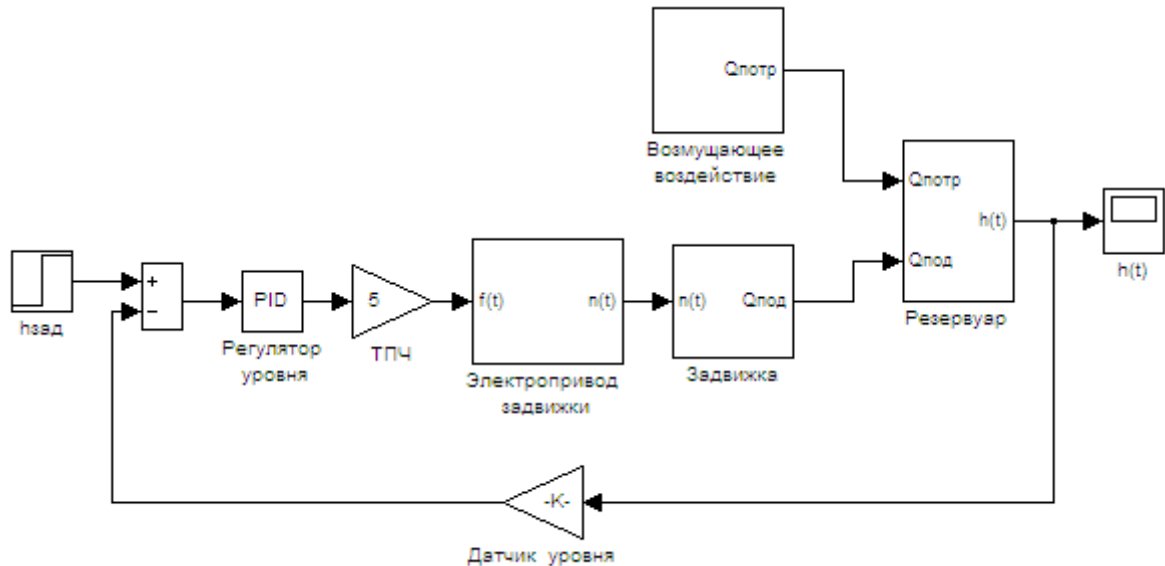


Рисунок 4 – Модель САУ уровнем в резервуаре с ПД-регулятором

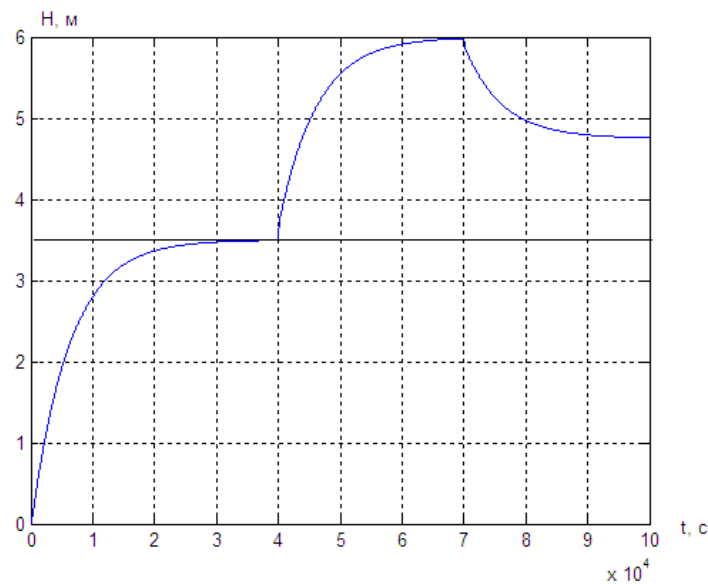


Рисунок 5 – Изменение уровня в резервуаре при использовании ПД-регулятора

По динамическим показателям качества (форма кривой, перерегулирование, время переходного процесса) приведенные кривые переходного процесса по возмущающим воздействиям удовлетворяют поставленным требованиям. Неудовлетворительно работает предложенная САУ уровнем в установившихся режимах – при действии возмущений уровень в резервуаре не устанавливается в заданные $h_{зад}=3,5$ м. Так как в разрабатываемой САУ расход потребляемой воды можно непрерывно контролировать датчиком расхода, то предлагается ввести компенсатор возмущающего воздействия в виде П-регулятора с коэффициентом передачи $k_{п} = 1,25$ (рис.6).

Результаты моделирования переходных процессов в САУ уровнем с ПД-регулятором и компенсатором приведены на рис.7. Анализ приведенной кривой переходного процесса показывает удовлетворительное качество управления по всем каналам взаимодействия.

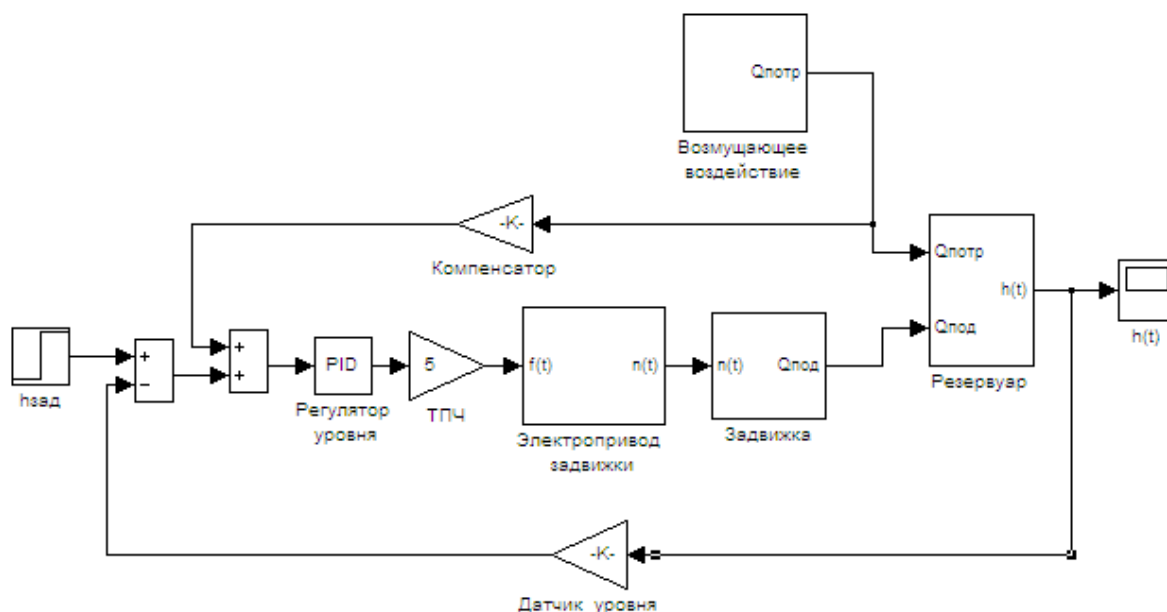


Рисунок 6 – Модель САУ уровнем в резервуаре с ПД-регулятором и компенсатором

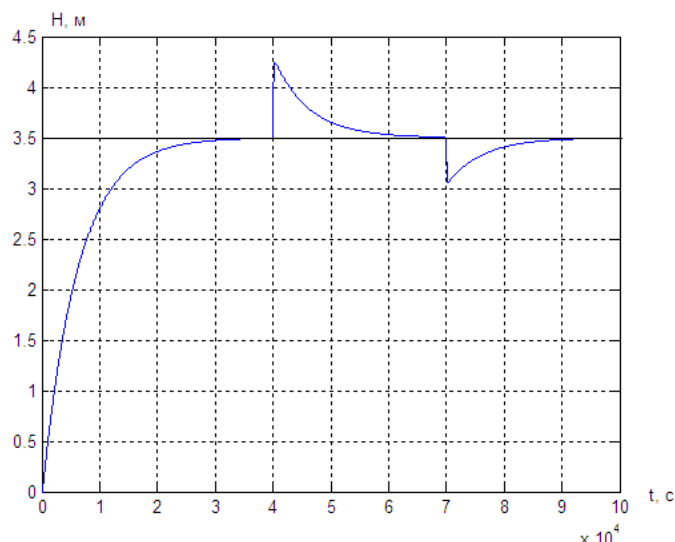


Рисунок 7 – Изменение уровня в резервуаре с ПД-регулятором и компенсатором

Таким образом, предложенная САУ уровнем с ПД-регулятором и компенсатором полностью компенсирует возмущающее воздействие и имеет необходимые показатели качества в переходных и установившихся режимах.

Перечень ссылок

1. Федюн, Р. В. Особенности районной системы водоснабжения как объекта автоматического управления / Р. В. Федюн, В. С. Малахивская // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сб. науч. тр. XVI научно-техн. конф. асп. и студ. в г. Донецке 25-26 мая 2016 г. – Донецк, ДонНТУ, 2016. – С. 262 – 266.
2. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – Москва : Издательство АСВ, 2004. Т. 3. : Системы распределения и подачи воды. – 256 с.
3. Гликман, Б. Ф. Математические модели пневмогидравлических систем / Б. Ф. Гликман. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.- мат., 1986. – 368 с.
4. Башарин, А. В. Управление электроприводами: уч. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Ленинград : Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982. – 392 с.