

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКОЙ ЛИКВИДИРУЕМОЙ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

**Степанин А.А., студент; Хорхордин А.В., к.т.н., доц.; Федюн Р.В., к.т.н., доц.**  
(ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк, ДНР)

В настоящее время достаточно сильно стоит проблема закрытия угольных шахт, в частности тех, которые отработали все запасы угля. Однако не всегда ликвидацию угольной шахты можно начинать сразу с ее физического закрытия. Подземные воды с ликвидированной шахты после ее затопления могут мигрировать в соседние шахты (если они связаны с ликвидированной горными работами), либо выходить на поверхность. Существующие на соседних действующих шахтах водоотливные комплексы, как правило, не способны принять существенно возросший приток воды. Чтобы не затопить действующие шахты, нужна реконструкция их водоотливных комплексов или строительство новых водоотливов.

Принципиальное отличие водоотливных комплексов ликвидируемых шахт от работающих в том, что они имеют небольшой (по сравнению с величиной притока) объем водосборника. Это приводит к необходимости организации работы погружной водоотливной установки с регулируемой подачей для стабилизации уровня воды в водосборнике - работа «на приток». Еще одной особенностью данного объекта является применение погружных насосов с необходимостью контроля подпора насосов и исключения их работы «на сухую». Технологическая схема погружной водоотливной установки ликвидируемой угольной шахты приведена на рис. 1.

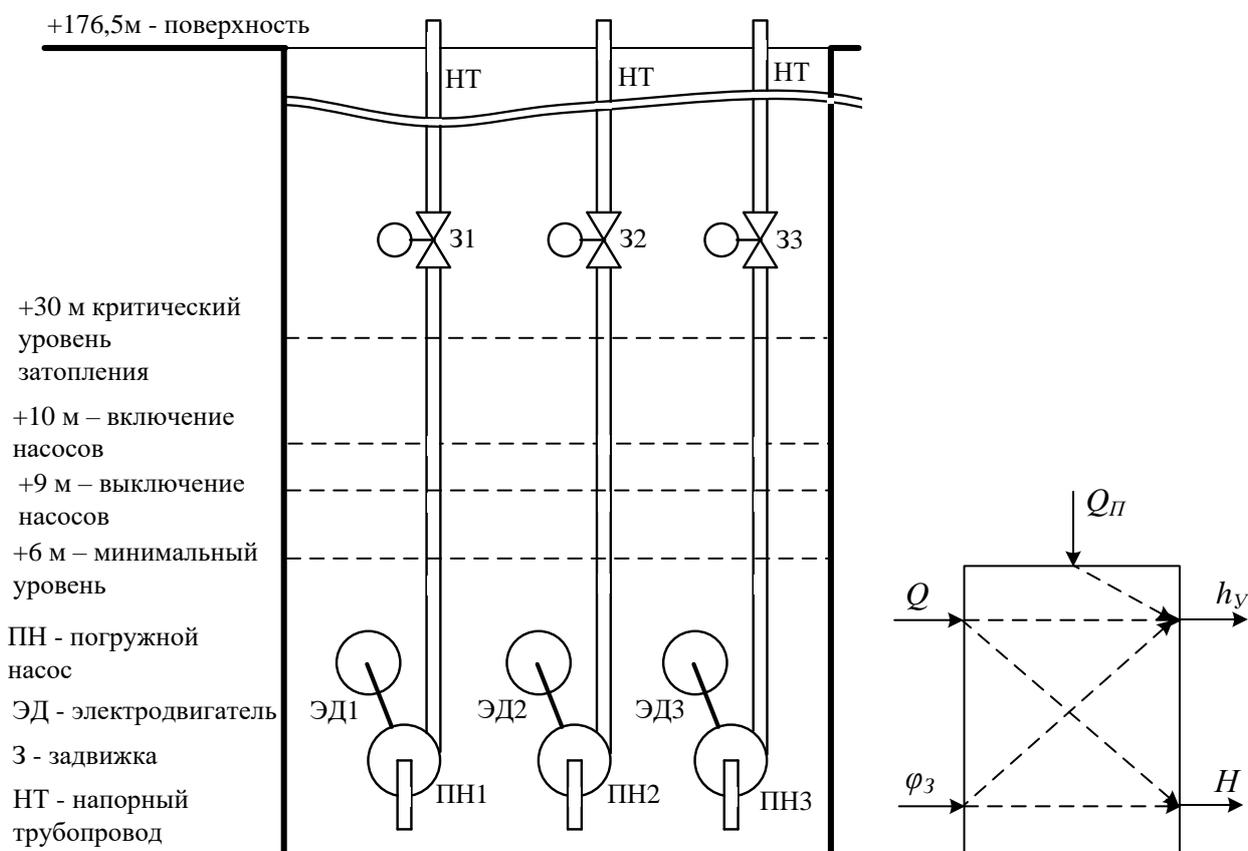


Рисунок 1 - Технологическая схема и схема информационных переменных погружной водоотливной установки шахты

В соответствии с требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах» для откачки вышеуказанного притока в скиповом стволе установлено три погружных насосных установки типа АНПШ 375-240: два агрегата - рабочих, один - резервный, откачка производится по 3-м напорным трубопроводам, подвешенным в стволе (рис.1). Роль водосборника погружной водоотливной установки выполняет зумпф скипового ствола.

Пуск, работа и остановка насоса производится согласно с инструкцией по эксплуатации погружного насосного агрегата завода-изготовителя. В рабочем положении насосный агрегат полностью погружен в воду. Для защиты насосного агрегата от кавитации при недопустимом снижении уровня воды, минимальный уровень воды в водосборнике устанавливается на отметке +6 м. Таким образом, с учетом всех особенностей и ограничений, отметка уровня +10 м – соответствует верхнему уровню, при достижении которого осуществляется запуск погружной насосной установки; отметка +9 м – нижний уровень, при достижении которого осуществляется остановка погружной насосной установки; +30 м – аварийный, критический уровень, при достижении которого осуществляется запуск второй погружной насосной установки; отметка +6 м – минимально допустимый нижний уровень воды в водосборнике, необходимый для устойчивой безкавитационной работы погружных насосных агрегатов АНПШ 375-240 (рис.1).

Наиболее предпочтительной, эффективной и экономичной является работа погружного водоотлива в режиме непрерывной откачки воды – «работа на приток» с соответствующим регулированием подачи насосных агрегатов.

По требованию завода-изготовителя погружных насосов [1] при организации водоотлива по схеме периодической работы агрегатов необходимо увеличивать длительность цикла непрерывной работы агрегата, эксплуатируя его при меньших значениях расхода в пределах рабочего диапазона. При этом необходимо учесть, что число включений погружного насосного агрегата не должно составлять более 3-х в сутки с интервалом не менее 60 мин. Работу агрегатов всегда необходимо завершать в штатном режиме (на закрытую задвижку на напорном трубопроводе).

При пуске погружного насосного агрегата задвижка на нагнетательном трубопроводе должна быть закрыта. После успешного запуска насосного агрегата (после того как напор на выходе насосного агрегата достигнет номинального значения), задвижка плавно открывается, причем во время открытия задвижки не должно наблюдаться забросов давления (напора).

Для рассматриваемой погружной водоотливной установки управляемыми переменными являются: уровень в водосборнике  $h_v$  и напор на выходе насосного агрегата  $H$  (рис.1).

Основным управляющим воздействием, позволяющим целенаправленно воздействовать на управляемые переменные  $h_v$  и  $H$  является подача  $Q$  погружной насосной установки (рис.1). Существуют различные технические способы управления подачей погружного центробежного насоса, наиболее часто применяемыми из которых являются дросселирование напорного трубопровода управляемой задвижкой и изменение частоты вращения приводного электродвигателя насоса с помощью преобразователей частоты.

На погружную водоотливную установку действуют следующие возмущающие воздействия: изменение напорной характеристики насосов в процессе эксплуатации; изменение напорной характеристики трубопроводов в процессе эксплуатации; изменение плотности жидкости  $\rho$ ; часовой приток шахты  $Q_{\text{п}}$  (рис.1). Для рассматриваемого объекта управления – погружной водоотливной установки основным возмущением, максимально влияющим и определяющим режим ее работы, является часовой приток шахты  $Q_{\text{п}}$ .

подавляющее большинство современных систем автоматического управления технологическими процессами и техническими объектами реализуются при использовании принципа управления по отклонению (принципа обратной связи). Поэтому разрабатываемая САУ погружной водоотливной установкой и ее отдельные контуры управления реализуются при использовании принципа управления по отклонению. Исходя из рассмотренных выше особенностей погружной водоотливной установки (пуск/остановка на закрытую задвижку; открытие задвижки на нагнетательном трубопроводе после запуска насосной установки;

регулирование подачи насоса для реализации функции «работа на приток») предлагается в разрабатываемой САУ использовать три отдельных контура управления работающих по принципу обратной связи. Укрупненная схема предлагаемой концепции построения САУ погружной водоотливной установкой приведена на рисунке 2.

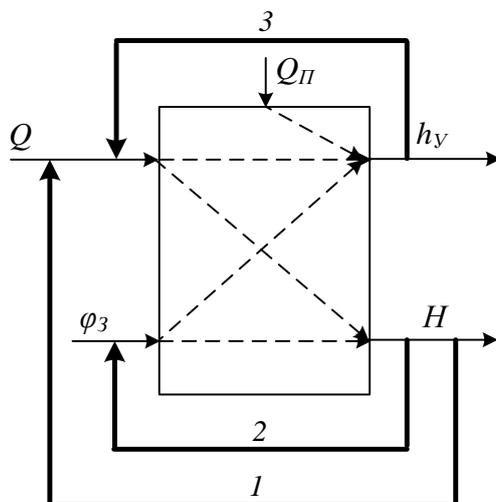


Рисунок 2 – Укрупненная схема концепции построения САУ

Первый контур управления (контур 1 на рис.2) – реализует управление насосной установкой в процессе ее запуска на закрытую задвижку, путем необходимого изменения подачи насосной установки  $Q$  по сигналу обратной связи о текущем значении напора на выходе насоса  $H$ .

Второй контур управления (контур 2 на рис.2) – реализует управление открытием задвижки на нагнетательном трубопроводе после запуска насоса, которое осуществляется путем изменения ее угла поворота  $\varphi_z$  по сигналу обратной связи о текущем значении напора на выходе насоса  $H$ .

Третий контур управления (контур 3 на рис.2) – реализует управление подачей насоса в соответствии с изменением уровня воды в резервуаре – «работа на приток», которое осуществляется за счет необходимого изменения подачи насосной установки  $Q$  по сигналу обратной связи о текущем значении уровня в резервуаре  $h_y$ .

Для повышения точности и качества управления погружной насосной установкой предлагается в контуре управления пуском насосной установки на закрытую задвижку и в контуре управления подачей насоса в соответствии с изменением уровня в водосборнике (работа водоотлива «на приток») использовать внутренний контур управления подачей насосной установки. Обобщенная структура двухконтурной САУ параметрами погружной водоотливной установки приведена на рисунке 3.

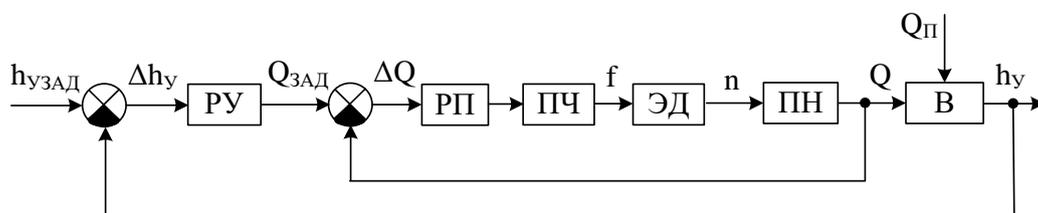


Рисунок 3 – Обобщенная функциональная схема САУ уровнем в водосборнике

На обобщенной схеме (рис.3) присутствуют следующие элементы: РУ – регулятор уровня в водосборнике; РП – регулятор подачи погружной насосной установки; ПЧ – преобразователь частоты приводного электродвигателя; ЭД – приводной электродвигатель погружной насосной установки; ПН – погружной насос; В – водосборник. На основании рис.2, рис.3, получена структурная схема САУ уровнем водосборнике (САУ погружной водоотливной установки при работе «на приток»), которая приведена на рис.4.

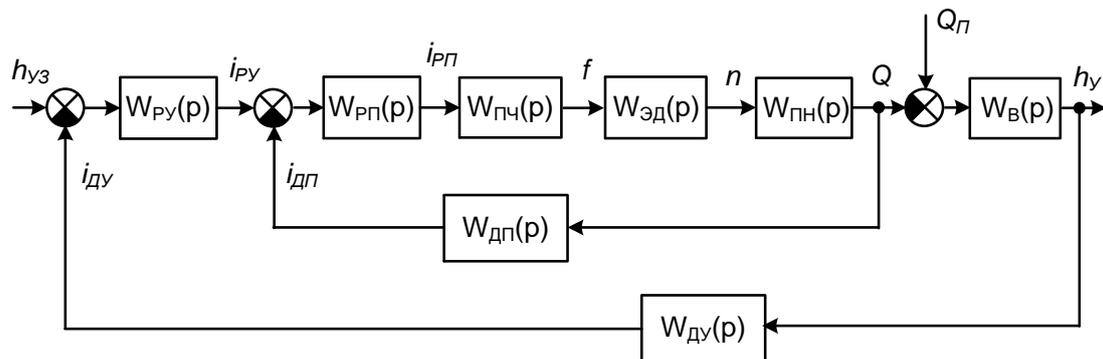


Рисунок 4 – Структурная схема САУ уровнем воды в водосборнике

На структурной схеме САУ уровнем воды в водосборнике представлены следующие элементы:  $W_{в}(p)$  – передаточная функция водосборника;  $W_{пн}(p)$  – передаточная функция погружной насосной установки;  $W_{эд}(p)$  – передаточная функция приводного электродвигателя погружной насосной установки;  $W_{пч}(p)$  – передаточная функция преобразователя частоты;  $W_{рп}(p)$  – передаточная функция регулятора подачи насосной установки;  $W_{ру}(p)$  – передаточная функция регулятора уровня в водосборнике;  $W_{дп}(p)$  – передаточная функция датчика подачи насосной установки;  $W_{дв}(p)$  – передаточная функция датчика уровня.

С использованием структурной схемы САУ уровнем воды в водосборнике погружной водоотливной установки (рис.4) и математических моделей ее элементов получена модель внутреннего контура автоматического управления подачей погружной насосной установки в программном пакете simulink, схема которой приведена на рисунке 5.

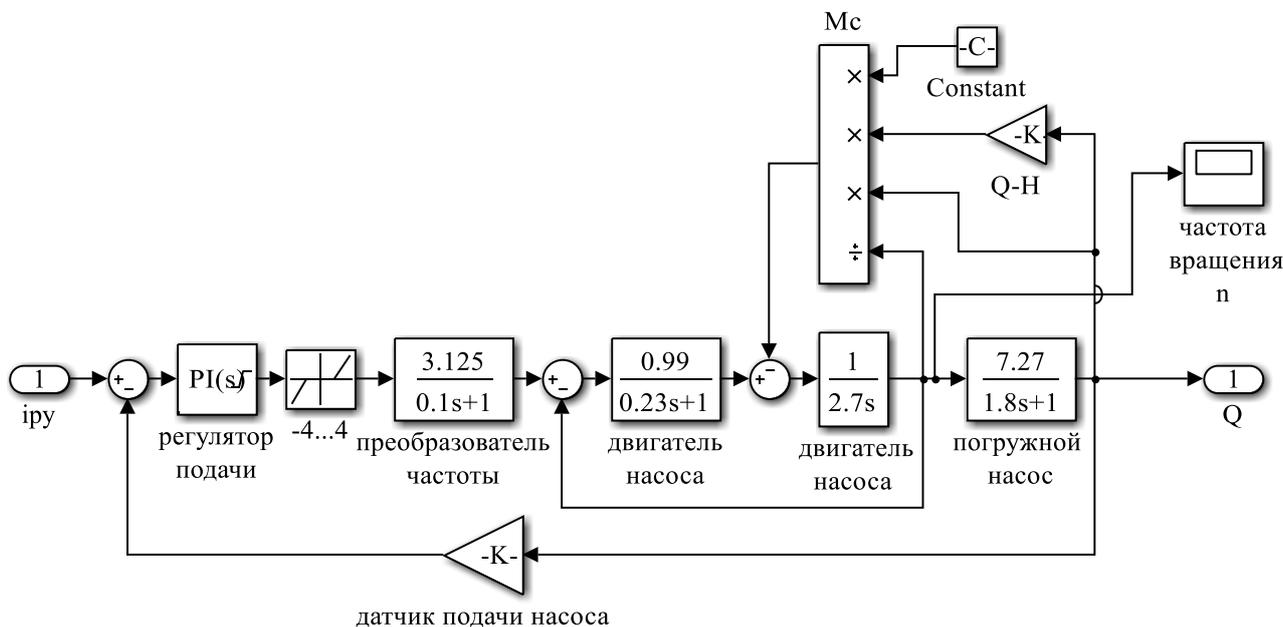


Рисунок 5 – Модель САУ подачи насосной установки в пакете Simulink

Требуемый алгоритм управления подачей погружной насосной установки реализует регулятор подачи (рис.5), в качестве которого предлагается использовать пропорционально-интегральный закон регулирования, или ПИ-регулятор и который имеет следующее математическое описание [3]:

$$W_P(p) = k_{\Pi} + \frac{k_{И}}{p}.$$

ПИ-регуляторы имеют два настроечных параметра - коэффициенты пропорциональной  $k_{\Pi}$  и интегральной  $k_{И}$  составляющих. Существуют достаточное количество теоретических

методов и методик настройки типовых регуляторов [3]. Применение средств вычислительной техники существенно упрощает настройку типовых регуляторов. Настройка регулятора подачи насоса контура автоматического управления подачей погружной насосной установки выполнена в автоматическом режиме специализированными инструментальными средствами пакета Simulink. В результате получены следующие параметры типового ПИ-регулятора подачи насосной установки:  $k_{II}=0,8015$ ;  $k_{I}=0,2606$  (рис.5).

На рисунке 6 приведена схема модели двухконтурной системы автоматического управления уровнем воды в водосборнике погружной водоотливной установки, которая реализована в программном пакете simulink.

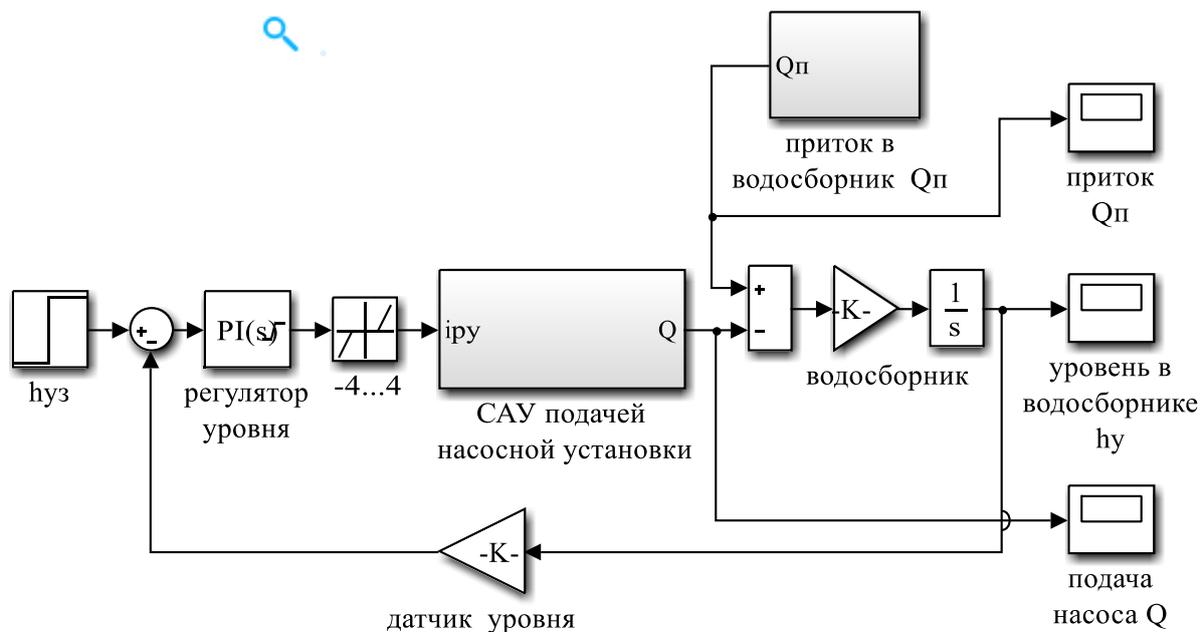


Рисунок 6 – Модель САУ уровнем воды в водосборнике в пакете Simulink

В результате настройки ПИ-регулятора уровня (рис.6) в автоматическом режиме специализированными инструментальными средствами пакета Simulink, получены следующие значения его параметров:  $k_{II} = -0,5795$ ;  $k_{I} = -0,0011$ .

С полученными параметрами ПИ-регулятора уровня ( $k_{II} = -0,5795$ ;  $k_{I} = -0,0011$ ) выполнено моделирование, результаты которого приведены на рис.7.

Анализ результатов моделирования – приведенных на рис.7 кривых изменения основных параметров САУ уровнем воды в водосборнике погружной водоотливной установки показал, что качество управления удовлетворительно и соответствует требованиям завода изготовителя погружных насосов, а также требованиям «Правил технической эксплуатации угольных шахт»: уровень воды в водосборнике в установившихся режимах поддерживается в допустимых пределах от +9 м до +10 м ( $h_y = h_{уз} = 9,5$  м). Отклонение уровня в водосборнике от заданного значения ( $h_{уз} = 9,5$  м) в переходных режимах при изменении возмущения – притока воды в водосборник, по величине и длительности находится в технологически допустимых пределах. Так, при снижении притока на 30% в момент времени  $t=4000$  с происходит снижение уровня до 7,8 м с последующим его увеличением до требуемого значения  $h_{уз} = 9,5$  м. Как было указано выше, по требованиям завода-изготовителя погружных насосных агрегатов, для обеспечения их устойчивого безкавитационного режима работы уровень в водосборнике должен быть не менее + 6 м. Также и при увеличении притока (на 40 % в момент времени  $t=7000$  с) уровень достигает максимума в 11,6 м при допустимом +30 м (рис.7). Анализ графиков изменения притока в водосборник  $Qп$  и подачи насоса  $Q$  показывает их равенство в каждый момент времени, что соответствует режиму работы погружной водоотливной установки «на приток».

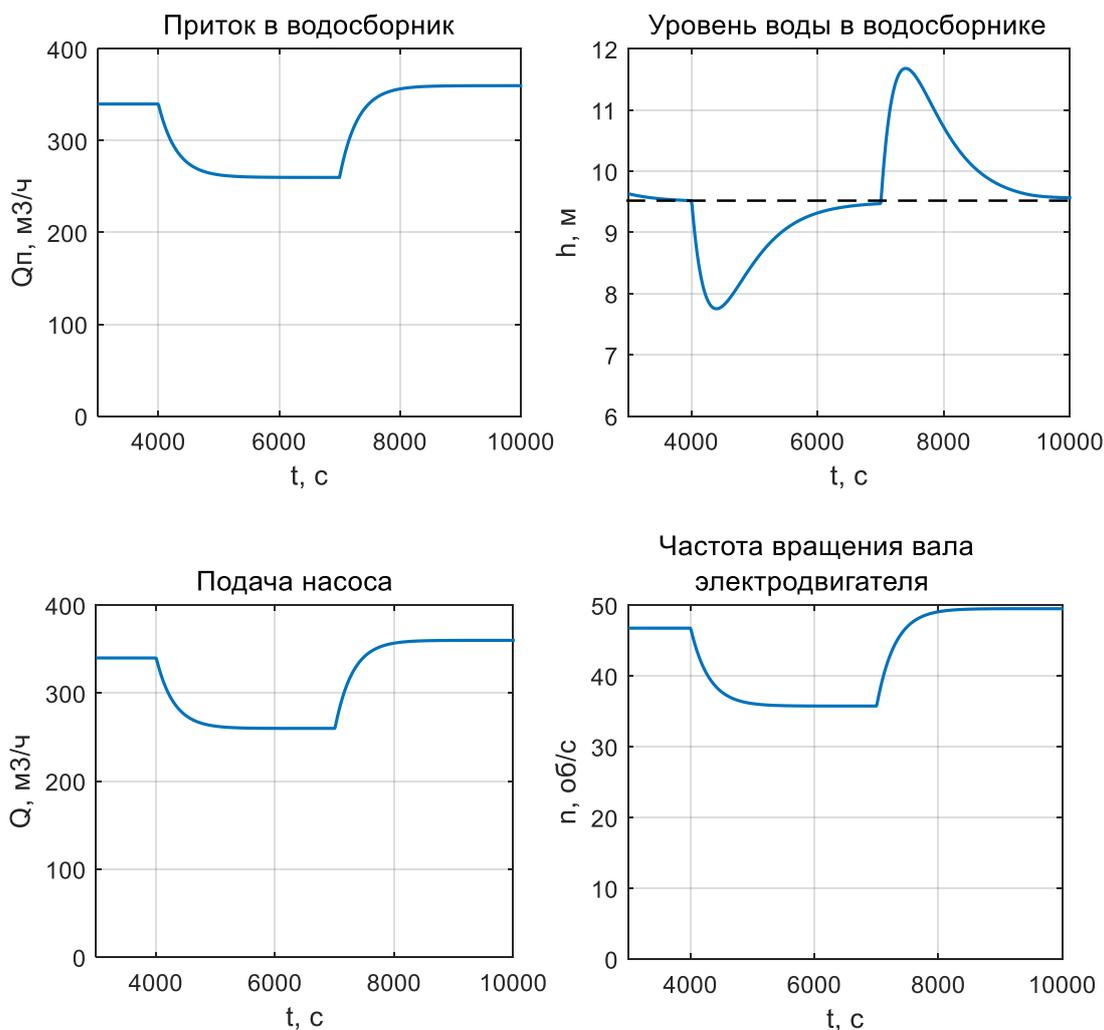


Рисунок 7 – Изменение основных параметров САУ уровнем воды в водосборнике погружной водоотливной установки

В данном разделе выполнен синтез САУ уровнем воды в водосборнике погружной водоотливной установки угольной шахты. Показано, что получение необходимого качества управления рассматриваемым объектом возможно только при использовании двухконтурной структуры системы автоматического управления.

Разработана структурная схема САУ уровнем в водосборнике погружной водоотливной установки. Полученные модели элементов САУ позволили осуществить выбор и настройку ПИ-регулятора подачи в контуре автоматического управления подачей погружной насосной установки, а также внешнего ПИ-регулятора уровня.

Выполненное моделирование подтвердило эффективность применяемых типовых ПИ-регуляторов и их полученных настроек для всех контуров управления в САУ погружной водоотливной установкой.

#### Перечень ссылок

1. Указания по монтажу и применению в проектах систем шахтного водоотлива агрегатов насосных погружных шахтных АНПШ. Инструкция по эксплуатации АЭТА.062313.005.375.250ТО. ОАО Завод «Молот», 2010.- 40 с.
2. Гейер, В.Г. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. / В.Г. Гейер, Г.М. Тимошенко М.: Недра, 1987.- 270 с.
3. Лукас, В.А. Теория автоматического управления / Лукас, В.А.. – М.: Недра, 1990. – 416 с.