

УДК 681.5



М.С. Гаицицкий, М.И. Вольников
Пензенский государственный технологический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ДЕАЭРАТОРЕ

В работе поднимается проблема регулирования уровня воды деаэратора в одноимпульсных системах регулирования, работающих по одному каналу возмущения – по уровню воды в баке. Предложена усовершенствованная модель трехимпульсной системы с использованием микроконтроллера ОВЕН ПР200-24.4.0.0. Проведена идентификация математической модели объекта управления, построена функциональная схема, разработано программное обеспечение для контроллера, сконфигурирован графический интерфейс панели оператора.

Деаэратор, регулирование, проектирование, датчик, контроллер, панель оператора, программирование.

Актуальность

Деаэратор атмосферного типа предназначен для удаления коррозионно-агрессивных газов (кислорода и свободной углекислоты) из питательной воды паровых котлов и подпиточной воды систем теплоснабжения в котельной. Подобно котлу деаэратор нуждается в постоянном регулировании уровня воды в аккумуляторе (деаэраторном баке). Это обусловлено тем, что поддержание стабильного уровня воды сохраняет требуемые параметры (температуру и давление воды), а также обеспечивает равномерный подвод и отвод количества воды, соответствующего производительности деаэратора и потребности паровых котлов в питательной воде. Некачественное выполнение этой работы приведет к нестабильной работе котла и коррозии его труб. Требование к повышенной точности поддержания уровня воды в деаэраторе с целью подачи необходимого количества воды для питания котла делает работу актуальной.

Существующие подходы к решению проблемы

Регулирующим воздействием для стабилизации уровня воды является расход добавочной химически очищенной воды, поступающей в деаэраторную колонку деаэратора атмосферного типа, а возмущающим – расход воды на выходе из деаэраторного бака.

В качестве регулятора выступает контроллер, который собирает информацию с датчиков и формирует управляющий сигнал на регулирующий клапан подачи воды в деаэратор.

В одноимпульсной системе регулирования уровня воды в деаэраторном баке регулирование происходит только по одному каналу – по текущему уровню воды. Сюда можно отнести регулятор, работающий по пропорциональному закону. В такой системе контроллер считывает сигнал с датчика уровня воды в баке и подает сигнал на регулирующий клапан подачи воды, то есть степень открытия регулирующего клапана зависит только от значения уровня воды, как показано на рисунке 1.

В силу инерционности системы изменение уровня воды происходит не сразу: контроллер не знает, сколько в данный момент подается воды и расходует. В результате чего возникают колебания уровня воды, негативно влияющие на качественные характеристики деаэрированной воды.

На рисунке 2 представлен график отклонения уровня воды в деаэраторе атмосферного типа ДА 50/15 от заданного значения в течение одного часа работы, на котором наблюдается нежелательная колебательность уровня. Это результат работы одноимпульсной системы регулирования.

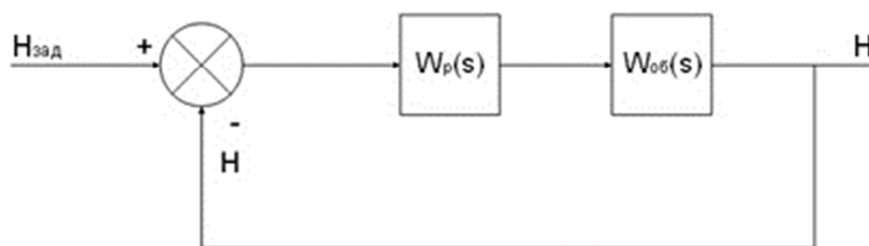


Рис. 1. Структурная схема одноимпульсной системы регулирования



Рис. 2. Отклонение уровня воды в деаэрационном баке

Более совершенными являются двухимпульсные системы, в которых пропорциональный регулятор формирует управляющее воздействие по двум каналам возмущения: по уровню воды в деаэрационном баке и по расходу воды на выходе. Если происходит изменение расхода воды из деаэрационного бака, то двухимпульсный регулятор начинает свою работу еще до изменения уровня воды в баке. В связи с чем повышается быстродействие и качество системы регулирования.

Применяемые методы

Наиболее эффективным способом регулирования уровня воды является трехимпульсное регулирование. В дополнение к двум каналам возмущения (уровень воды и расход воды на выходе) добавляется расход воды на входе в деаэрационный бак. График регулирования уровня при возмущении показан на рисунке 3.

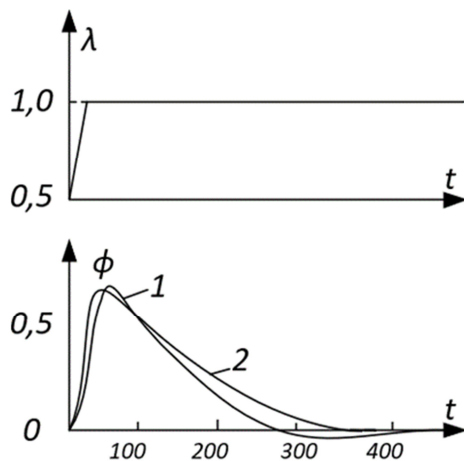


Рис. 3. Двух- и трехимпульсное регулирование уровня воды

На верхнем графике (рис. 3) показаны изменения относительного уровня ϕ при возмущении нагрузкой λ , а на втором графике показан переходный процесс регулирования уровня трехимпульсным регулятором. При этом кривой 1 обозначено двухимпульсное регулирование, а кривой 2 – трехимпульсное. Если сравнить данные кривые, можно сделать вывод о том, что трехимпульсное регулирование значительно лучше двухимпульсного. В трехимпульсной системе регулирования уровня воды подводятся три сигнала: уровень

воды в деаэрационном баке, расход воды на выходе из бака, поступление питательной воды. Несмотря на сложность трехимпульсной системы, она характеризуется достаточно высокой устойчивостью, показателями качества и надежности, которые положительно влияют на долгосрочное обслуживание оборудования [1–5].

Для настройки трехимпульсной системы регулирования необходимо идентифицировать математическую модель объекта регулирования. В нашем случае это – деаэрационный бак деаэратора ДА 50/15 [6]. Требуется исследовать его динамическую составляющую, как объекта без самовыравнивания.

Как известно, динамические свойства объекта без самовыравнивания характеризуются двумя величинами: запаздыванием τ и коэффициентом пропорциональности интегрирующего звена:

$$k_u = (b/\tau) = tg\alpha. \quad (1)$$

Найдя все величины, можем определить передаточную функцию объекта, которая представляет собой последовательное соединение запаздывающего и интегрирующего звеньев:

$$W(s) = \frac{k_u}{s} e^{-st}. \quad (2)$$

Предположим, что выходной клапан перекрыт, следовательно, уровень воды в деаэрационном баке может либо подниматься, либо оставаться на прежней отметке. Текущий уровень считаем на средней отметке, поскольку изменение площади в пределах средних значений по высоте незначительное.

Исходя из технических характеристик деаэратора ДА 50/15, можно отметить, что номинальная производительность деаэрированной воды составляет 50 т/ч. Переведем данное значение в литры на секунду и найдем расход питательной воды:

$$G_{ПВ} = \frac{50 \text{ т}}{1 \text{ ч}} = \frac{50000 \text{ л}}{1 \text{ ч}} \approx \frac{833 \text{ л}}{1 \text{ м}} \approx \frac{13,9 \text{ л}}{1 \text{ с}}. \quad (3)$$

Основываясь на габаритных размерах деаэрационного бака, где длина составляет 5900 мм, а ширина 2173 мм, найдем максимальную площадь сечения относительно горизонтальной поверхности:

$$S = 5,9 \text{ м} \cdot 2,173 \text{ м} \approx 12,8 \text{ м}^2. \quad (4)$$

Предположим, что нужно поднять уровень воды на 100 мм. Считаем уровень воды, находящийся на средней отметке, нулевым. Произведем расчет требуемого количества воды и найдем объем жидкости:

$$V = 12,8 \text{ м}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 1,28 \text{ м}^3 = 1280 \text{ л.} \quad (5)$$

Рассчитаем, за какое время заполнится требуемый объем воды при возмущении $G_{ПВ} = 13,9 \text{ л/с}$:

$$t = \frac{1280 \text{ л}}{13,9 \text{ л/с}} \approx 92 \text{ с.} \quad (6)$$

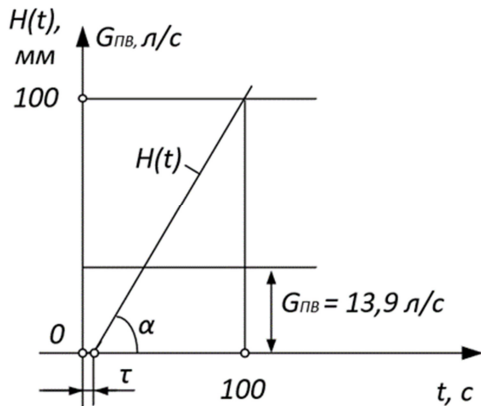


Рис. 4. Динамическая характеристика ДА 50/15 по уровню воды

Таким образом, динамическая характеристика деаэратора ДА 50/15 по уровню воды в деаэраторном баке при возмущении водой 13,9 л/с и запаздыванием 8 секунд примет вид, как на рисунке 4.

Найдем передаточную функцию объекта регулирования без самовыравнивания, преобразовав формулу (1):

$$k_u = \frac{(b/\tau)}{\Delta x} = \frac{tg\alpha}{\Delta x}; \quad (7)$$

$$tg\alpha = \frac{H}{t} = \frac{100}{92} = 1,087; \quad (8)$$

$$k_u = \frac{tg\alpha}{\Delta x} = \frac{1,087}{13,9} \approx 0,0782; \quad (9)$$

$$W(s) = \frac{0,0782}{p} e^{-8p}. \quad (10)$$

В качестве регулятора выберем П-регулятор, который обладает достаточным быстродействием, небольшим перерегулированием и отсутствием колебательности в установившемся режиме.

Функциональная схема трехимпульсной системы регулирования уровня воды в деаэраторе примет вид, показанный на рисунке. 5.

Основная часть

Принцип работы следующий. Предварительно химически очищенная питательная вода поступает на деаэраторную колонку. Она проходит через регулирующий клапан, который управляется с помощью регулятора уровня (РУ). Значение расхода питательной воды фиксируется с помощью соответствующего датчика, который формирует сигнал $G_{ПВ}$. Вода, попав в деаэраторную колонку, проходит две ступени деаэрации – струйную и барботажную. Здесь осуществляется нагрев и обработка паром. Затем вода струями стекает в деаэраторный бак, уровень воды которого фиксирует датчик уровня (ДУ). Вода выдерживается и выходит через штуцер. Деаэрированная вода проходит через датчик расхода, который формирует сигнал $G_{ДВ}$, а далее идет к насосам. С помощью задатчика устанавливается требуемое значение уровня воды в деаэраторном баке $H_{зад}$. Проходя через сумматоры, сигнал сравнивается с текущим значением уровня воды, а также со значениями расходов на входе и выходе. Результирующий сигнал поступает на регулятор уровня, который в свою очередь меняет положение крана регулирующего клапана подачи питательной воды.

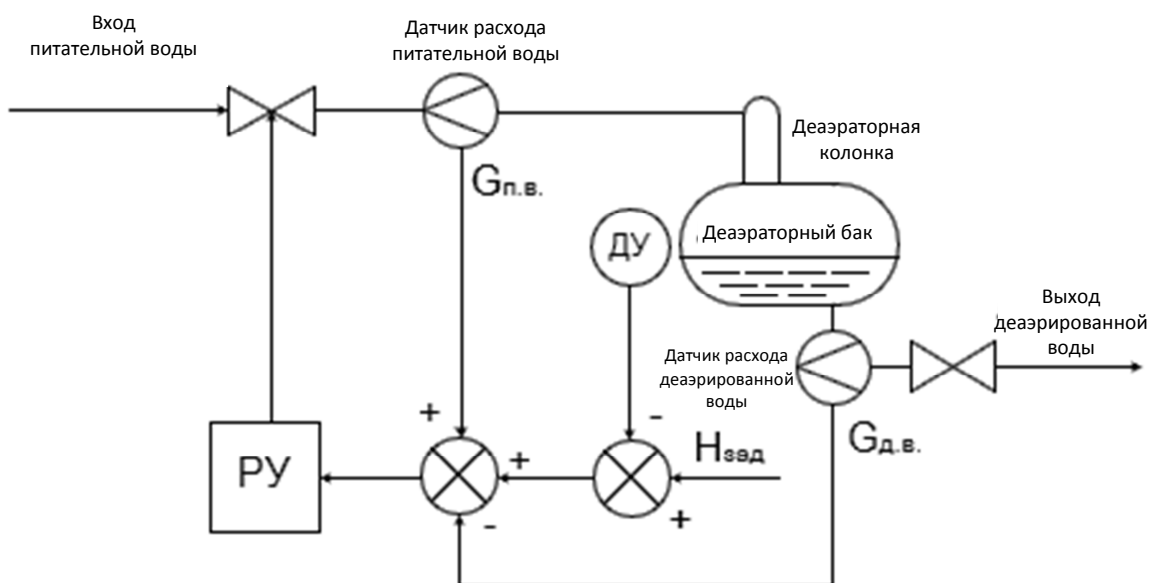


Рис. 5. Функциональная схема трехимпульсной системы регулирования уровня воды деаэратора

Подобрав оборудование в виде датчиков расхода, емкостного датчика уровня жидкости, контроллера ОВЕН ПР200-24.4.0.0 [7] и панели оператора ОВЕН СП307-Р [8], необходимо написать программу для контроллера, создать графический интерфейс в панели оператора и связать эти устройства по физическому интерфейсу RS-485 с использованием протокола Modbus RTU. Также возможна поддержка SCADA-системы через преобразователь RS485-RS232.

Контроллер ОВЕН ПР200-24.4.0.0 является свободно программируемым в бесплатном программном обеспечении OWEN Logic. В качестве языка программирования выступает язык функциональных блочных диаграмм (FBD). Необходимо считать сигналы с датчиков, которые выдают значение тока 4–20 мА, добавить задатчик уровня воды, реализованный на панели оператора и выходное воздействие на исполнительный механизм 0–10 В. Итоговый вид программы показан на рисунке 6.

Программа считывает сигналы с датчиков, преобразовывая их из аналогового сигнала 4–20 мА в требуемые значения. Для датчика уровня настроен диапазон 173–2173 мм. Сигналы с датчиков расхода воды преобразуются в корректирующее воздействие с диапазоном 0–100. Программа понимает, где в данный момент наблюдается большой расход воды – на входе или на выходе, тем самым действует на опережение.

Преобразованные сигналы сравниваются с текущим заданием в регуляторе, который формирует управляющее воздействие 0–10 В на выходе контроллера.

Теперь необходимо организовать сетевой обмен контроллера с панелью оператора по физическому интерфейсу RS-485 с использованием протокола Modbus RTU. В настройках конфигуратора СП300 и среде программирования OWEN Logic выставляются одинаковые сетевые настройки и прописываются сетевые переменные. В конфигураторе создается графический интерфейс панели оператора, показанный на рисунке 7.

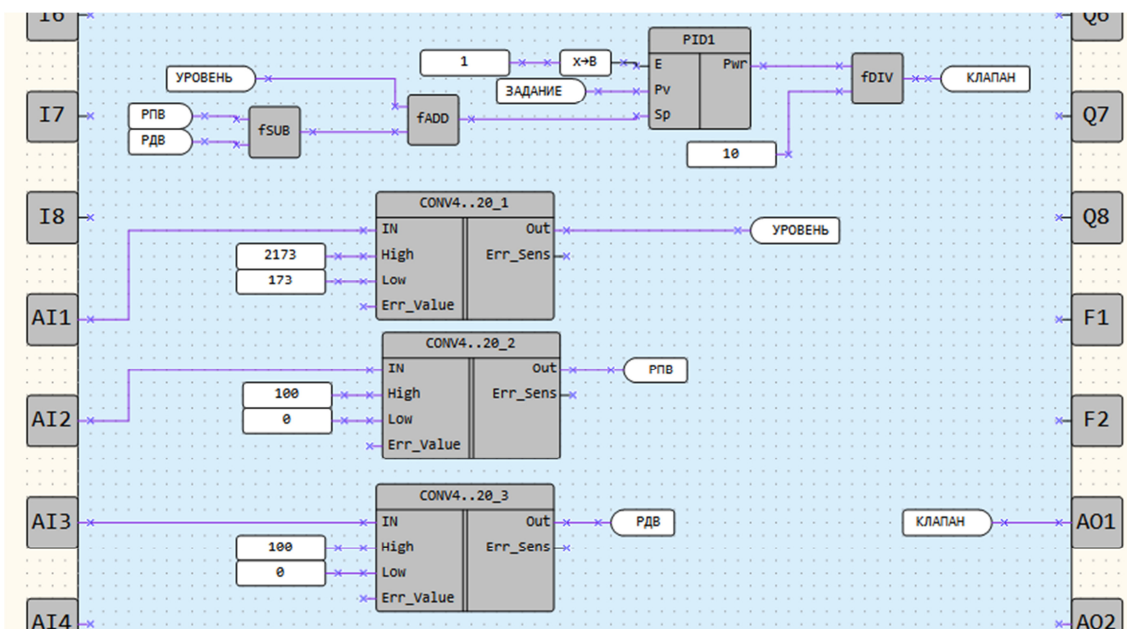


Рис. 6. Итоговый вид управляющей программы

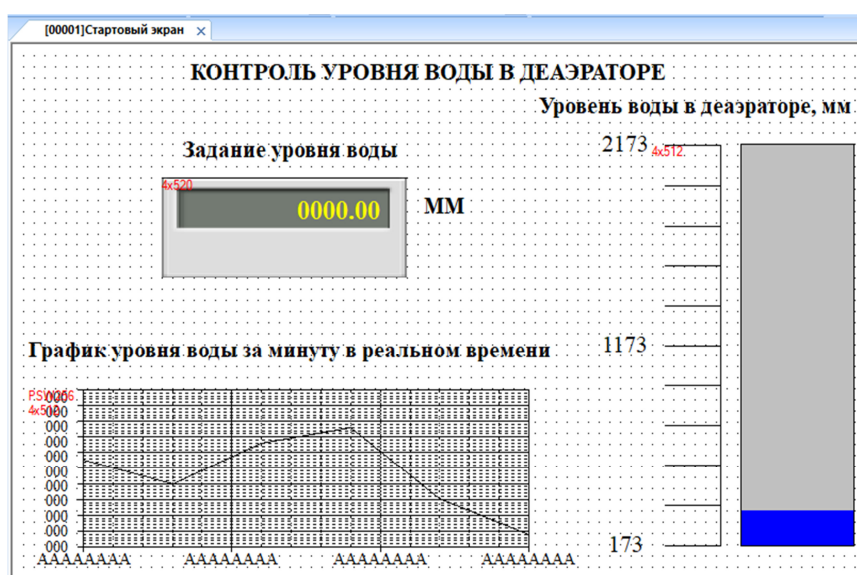


Рис. 7. Конфигурирование панели оператора ОВЕН СП307-Р

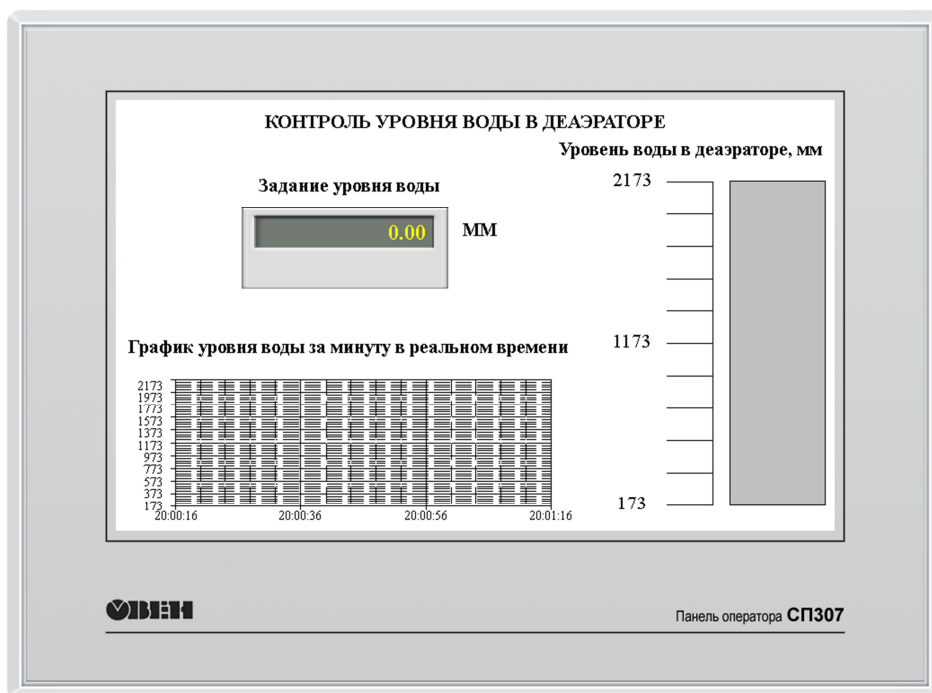


Рис. 8. Итоговый вид панели оператора СП307-Р

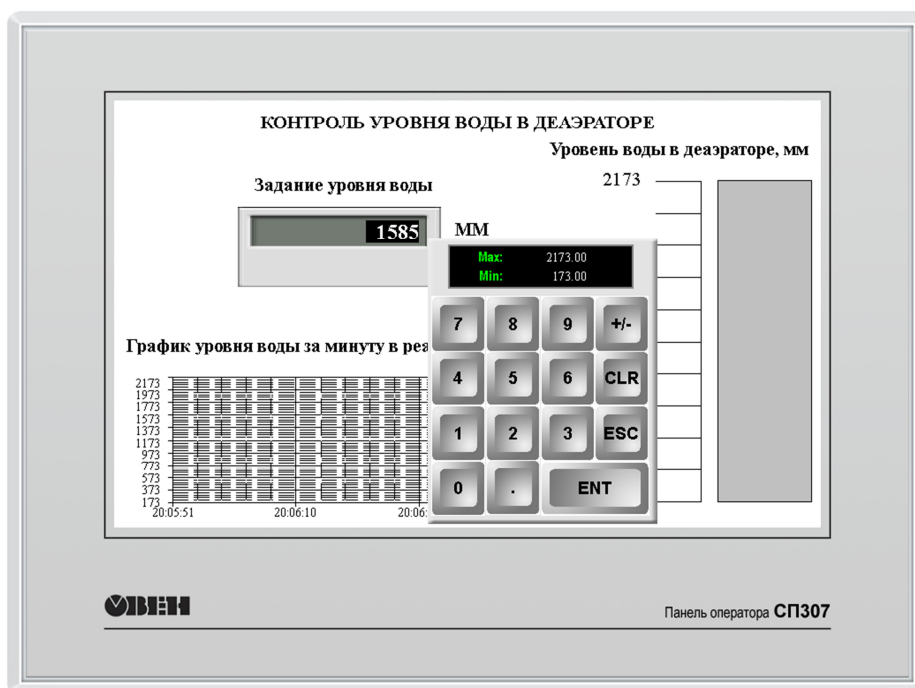


Рис. 9. Задание уровня воды в панели оператора

На панели оператора размещены сопровождающие надписи, датчик, текущий уровень воды в деаэраторе в виде шкалы и графика реального времени (рис. 8).

Датчик настроен таким образом, чтобы можно было ввести уровень исключительно в пределах допустимого диапазона с помощью цифровой клавиатуры, как на рисунке 9.

Закключение

В ходе проектирования была разработана и настроена трехимпульсная система регулирования уровня воды в деаэраторе. Благодаря совершенствованию информаци-

онной структуры САР, было повышено качество регулирования, что позитивно сказывается на сроке службе оборудования, а следовательно, наблюдается положительный технико-экономический эффект.

Литература

1. Плетнев, Г. В. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике : учебник для студентов вузов / Г. П. Плетнев. – Москва : МЭИ, 2007. – 352 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник : в 3 томах / под ре-

дакцией Н. Д. Егупова. – Москва : Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2000.

3. Никулин, Е. А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем : учебное пособие для вузов / Е. А. Никулин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 640 с.

4. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления : учебник / А. Р. Гайдук. – Москва : Высшая школа, 2010. – 415 с.

5. Ротач, В. А. Теория автоматического управления : учебник для вузов / В. Я. Ротач. – 5-е изд. – Москва : МЭИ, 2008. – 394 с.

6. Деаэрагор ДА-50/15. – URL: <https://goo-gl.ru/srX3o> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст : электронный.

7. Программируемое реле с дисплеем ОБЕН ПР200-24.4.0.0. – URL: <https://goo-gl.ru/jUc57> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст : электронный.

8. Сенсорные панели оператора ОБЕН СПЗхх. – URL: <https://owen.ru/product/sp3xx> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст : электронный.

M.S. Gashitskiy, M.I. Volnikov
Penza State Technological University

IMPROVEMENT OF INFORMATION STRUCTURE OF WATER LEVEL REGULATION SYSTEM IN DEAERATOR

The article deals with the problem of regulating the water level of the deaerator in single-pulse control systems operating on one channel of disturbance – on the level of water in the reservoir. A model of a three-pulse system was suggested. During the project, the mathematical model of the control object was identified, a functional scheme was built, as well as software for the controller was created and the graphical interface of the operator panel was configured.

Deaerator, regulating, designing, sensor, controller, operator panel, programming.