

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.53

DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-4-11

### Синтез регулятора уровня в резервуарах с технической водой

О. В. Никитина, кандидат технических наук, доцент,  
Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Воткинск, Россия  
К. Б. Сентяков, кандидат технических наук, доцент,  
Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Воткинск, Россия  
А. Ф. Лузина, студент,  
Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Воткинск, Россия

Технический прогресс невозможен без создания новейших технологий, машин, материалов, а также средств автоматизации. Развитие автоматизации в любой промышленности связано с возрастающей интенсификацией технологических процессов, использованием агрегатов большой мощности, усложнением технологических схем и повышенными требованиями к получаемым продуктам. На сегодняшний день автоматизация технологических и производственных процессов является актуальной задачей для большинства предприятий во всех отраслях промышленности.

В данной работе проанализирован технологический процесс приготовления технической воды, найдены недостатки данного процесса, которые снижают качество регулирования отбора технической воды, произведен поиск существующих решений, способствующих повышению качества технической воды и увеличению уровня безопасности труда. Преобразователь уровня воды в резервуаре принят идеальным пропорциональным звеном, не имеющим инерционного запаздывания передачи сигнала. Программный регулятор работает по алгоритму ПД-регулирования (пропорционально-дифференцирующий регулятор). Это обеспечивает системе управления требуемое быстрое действие, то есть оперативное реагирование на изменение рассогласования заданного и фактического уровня воды в резервуаре. Таким образом, задача синтеза локализуется выбором коэффициентов пропорциональной  $K_p$  и дифференцирующей  $K_d$  составляющих регулятора. Для оценки адекватности выбора оптимальных значений коэффициентов пропорциональной и дифференцирующей составляющих регулятора построена имитационная модель системы автоматического регулирования. В имитационной модели реализованы все структурные связи передаточных функций и расчетные коэффициенты. В ходе имитационных экспериментов подтверждены для данных условий оптимальные значения коэффициентов регулятора. Выбраны технические средства автоматизации, разработана математическая модель управления клапаном с электроприводом, разработана структурная схема системы автоматизированного регулирования уровня воды в резервуаре, произведен синтез регулятора уровня, который позволяет эффективно использовать систему мониторинга за технологическим процессом.

**Ключевые слова:** автоматизация, система, регулирование, объект управления, преобразователь, резервуар.

#### Введение

Современное производство очень быстро развивается, поэтому ему необходимы новейшие технологии, машины, материалы и средства автоматизации. Развитие автоматизации оказывается наиболее важным фактором в любой промышленности, которое приводит к интенсификации технологических процессов, использованию агрегатов большей мощности, усложнению технологических схем и повышению требований к получаемым продуктам. Автоматизация технологических процессов минимизирует влияние человеческого фактора, повышает скорости выполнения задач, качество и точность работ, что актуально для любого предприятия.

Целью данной работы является синтез системы автоматического регулирования (САР) уровня воды в резервуаре для обеспечения эффективного управления технологическим процессом на фильтровальной станции химического предприятия Пермского края. Критериями эффективности приняты показатели качества переходных процессов объекта управления – время регулирования, перерегулирование или косвенная квадратичная интегральная оценка, а также величина установившейся ошибки управления.

#### Контроль и управление

##### состоянием производственной среды

Система автоматического регулирования (САР) в резервуарах с технической водой призвана обеспечивать поддержание уровня воды в

соответствии с заданным значением. САР построена по принципу замкнутого управления с обратной связью [1–4]. Функциональная модель (рис. 1) системы управления включает в себя все основные элементы:

- объект управления (ОУ),
- управляющее исполнительное устройство (УУ),
- преобразователь обратной связи (ОС),
- регулятор с элементом сравнения.

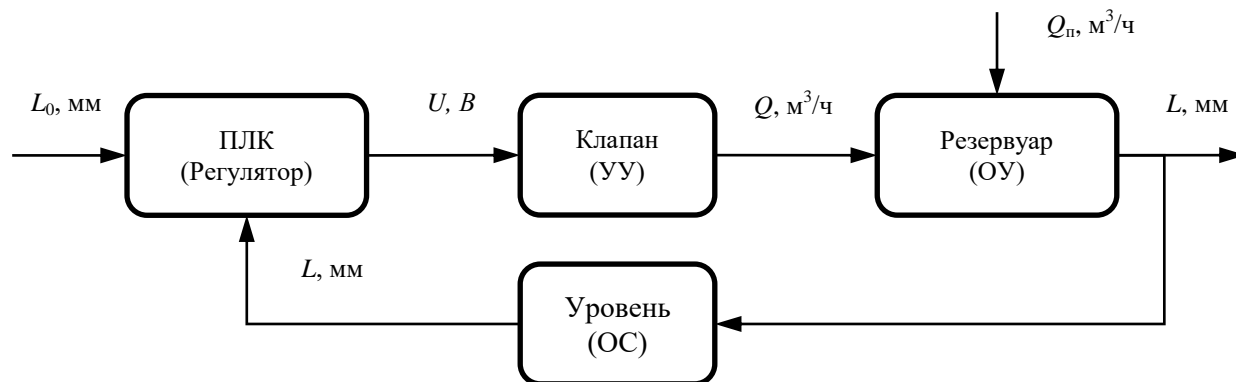


Рис. 1. Функциональная модель САР

Fig. 1. The functional model of the ACS

Объектом управления (ОУ) является резервуар объемом 980 м³. Управляемое состояние ОУ – уровень воды  $L$ , измеряемый в миллиметрах и не превышающий значения 6 м. Управляющее воздействие на ОУ, изменяющее его состояние, – подаваемый в резервуар объемный расход воды  $Q$ , м³/ч. При этом из резервуара существует непостоянный во времени отбор воды потребителем  $Q_p$ , что рассматривается как внешнее возмущение.

В качестве управляющего исполнительного устройства (УУ) выбран клапан запорно-регулирующий «25ч945п» с электроприводом [5]. Условный диаметр клапана 300 мм, номинальное давление 1,6 МПа. Клапан установлен на трубу, и изменяет расход воды  $Q$  от насоса на вход в резервуар. Давление, создаваемое насосом, – величина не постоянная во времени и является внутренним возмущающим фактором. Степень открытия задвижки изменяется в диапазоне от 0 до 100 % и определяется управляющим сигналом  $U$  от регулятора через частотный преобразователь на электропривод.

Обратная связь (ОС) реализуется посредством поплавкового преобразователя уровня жидкости «РУПТ-АМ» [6, 7]. Преобразователь имеет диапазон измерения от 1 до 16 м. Уровень воды преобразуется в стандартный токовый сигнал от 4 до 20 мА или может быть передан на регулятор в цифровом виде через каналы последовательной связи RS232 или RS485.

Функция регулятора возложена на программируемый логический контроллер (ПЛК) [8, 9]

и реализуется программно. Управление осуществляется по рассогласованию заданного уровня  $L_0$  и фактического уровня  $L$  в резервуаре. Фактический уровень ПЛК измеряет через внутренний аналогово-цифровой преобразователь по токовому сигналу от преобразователя уровня или может быть сразу получен в цифровом виде по каналу RS232 или RS485. С клапаном ПЛК связан через частотный преобразователь [10–12] для управления ее электроприводом.

Математические модели основных элементов системы регулирования получены на основе экспериментальных данных по результатам опытных испытаний. Все элементы описываются линейными дифференциальными уравнениями или передаточными функциями не выше второго порядка, то есть являются типовыми звеньями систем автоматического управления [13–16].

Переходной процесс объекта управления – резервуара при открытии клапана и подаче расхода  $Q$  в виде единичного ступенчатого сигнала представляет собой линейно увеличивающийся во времени уровень воды  $L$  в резервуаре. Это переходная характеристика типового интегрирующего идеального звена. Его передаточная функция:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{p}. \quad (1)$$

Передаточный коэффициент  $K_p$  определен экспериментально в процессе наполнения резервуара до уровня  $L = 4,6$  м (4600 мм) за время

$t = 6533$  с (1,81472 ч) при полностью открытом клапане и расходе  $Q_m = 391,2$  м<sup>3</sup>/ч.

$$K_p = \frac{L}{Q_m \cdot t} = \frac{4600}{391,2 \cdot 1,81472} = 6,48 \frac{\text{мм}}{\text{м}^3}, \quad (2)$$

Исполнительное устройство – клапан управляется ПЛК через электропривод задвижки. При этом ПЛК через частотный преобразователь выдает напряжение  $U$  от –220 до 220 В на запуск электропривода в ту или другую сторону. Положение заслонки клапана изменяется линейно во времени в сторону открытия или в сторону закрытия со скоростью пропорциональной сигналу  $U$  на электропривод, что приводит к изменению расхода  $Q$  через клапан. Такая переходная характеристика соответствует типовому интегрирующему идеальному звену. Передаточная функция клапана:

$$W_k(p) = \frac{K_k}{p}. \quad (3)$$

Полное время открытия или закрытия клапана при включении электропривода от задающего сигнала с ПЛК составляет  $t_k = 30$  с. Расход воды через полностью открытый клапан  $Q_m$  определяется объемом поступившей в резервуар воды за определенное время. Этот объем экспериментально измерен по изменению уровня воды  $L = 5,4$  м (5400 мм) с учетом площади поперечного сечения резервуара  $S = 153,94$  м<sup>2</sup>. Время наполнения при этом составило  $t = 7650$  с (2,125 ч), исключая переходной процесс.

$$Q_m = \frac{L \cdot S}{t} = \frac{5,4 \cdot 153,94}{2,125} = 391,2 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}. \quad (4)$$

Передаточный коэффициент задвижки клапана есть отношение степени полного открытия (100 %) к величине наибольшего задающего сигнала  $U_m = 220$  В и времени полного открытия. Передаточный коэффициент клапана  $K_k$  получается последующим умножением на максимальный расход, приведенный к процентам.

$$K_k = \frac{100}{U_m \cdot t_k} \cdot \frac{Q_m}{100\%} = 0,01515 \cdot 3,912 = 0,05927 \frac{\text{м}^3}{\text{ч} \cdot \text{В} \cdot \%}. \quad (5)$$

Преобразователь уровня воды в резервуаре принят идеальным пропорциональным звеном, не имеющим инерционного запаздывания передачи сигнала. В работе алгоритма управления ПЛК этот сигнал участвует уже в цифровом виде с размерностью метры, то есть передаточный коэффициент обратной связи единица.

Программный регулятор, реализуемый ПЛК, работает по алгоритму ПД-регулирования (пропорционально-дифференцирующий регулятор). Это обеспечивает системе управления требуемое быстроедействие, то есть оперативное реагирование на изменение рассогласования заданного и фактического уровня воды в резервуаре. Таким образом, задача синтеза локализуется выбором коэффициентов пропорциональной  $K_n$  и дифференцирующей  $K_d$  составляющих регулятора.

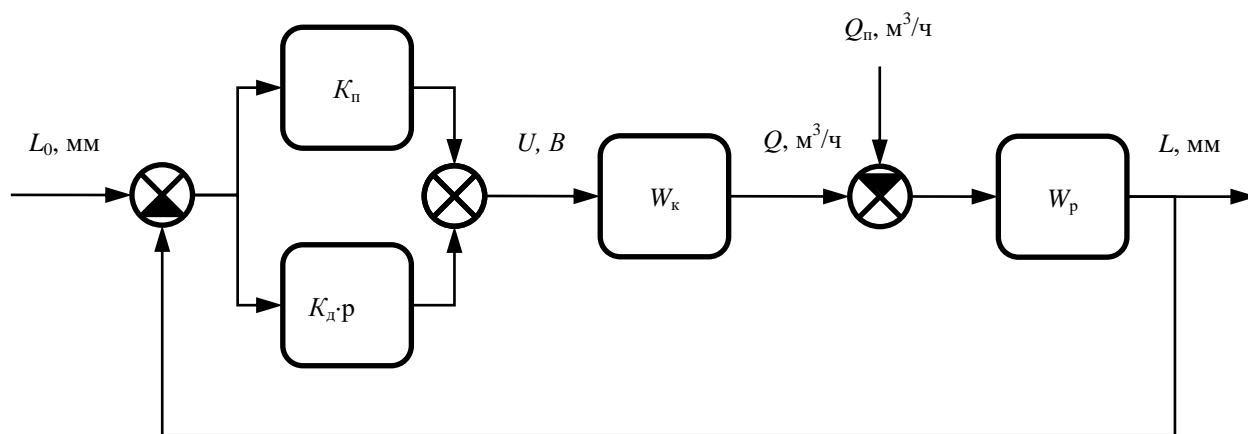


Рис. 2. Структурная модель САР

Fig. 2. The structural model ACS

Общая математическая модель САР включает в себя две передаточные функции к управляемому состоянию  $L$ :  $W_x$  от задающего сигнала  $L_0$  и  $W_v$  от внешнего возмущения  $Q_n$ . Передаточные функции определяются структурой системы (рис. 2) и передаточными функциями элементов.

Передаточная функция от задающего сигнала:

$$W_x = \frac{(K_n + K_d \cdot p) \cdot W_k \cdot W_p}{1 + (K_n + K_d \cdot p) \cdot W_k \cdot W_p}. \quad (6)$$

С учетом (1) и (3) получена передаточная функция второго порядка:

$$W_X = \frac{K_K \cdot K_d \cdot K_P \cdot P + K_n \cdot K_K \cdot K_P}{p^2 + K_K \cdot K_d \cdot K_P \cdot P + K_n \cdot K_K \cdot K_P}. \quad (7)$$

Полиномиальные коэффициенты передаточной функции:

$$\begin{aligned} a_0 &= K_n \cdot K_K \cdot K_P = 0,384 \cdot K_n, \\ a_1 &= K_d \cdot K_K \cdot K_P = 0,384 \cdot K_d, \\ a_2 &= 1, \\ b_0 &= K_n \cdot K_K \cdot K_P = 0,384 \cdot K_n, \\ b_1 &= K_d \cdot K_K \cdot K_P = 0,384 \cdot K_d. \end{aligned} \quad (8)$$

Передаточная функция от внешнего возмущения:

$$W_V = -\frac{W_P}{1 + (K_n + K_d \cdot p) \cdot W_K \cdot W_P}. \quad (9)$$

С учетом (1) и (3):

$$W_V = \frac{K_P \cdot p}{p^2 + K_d \cdot K_K \cdot K_P \cdot p + K_n \cdot K_d \cdot K_P}. \quad (10)$$

Здесь полиномиальные коэффициенты передаточной функции:

$$\begin{aligned} a_0 &= K_d \cdot K_K \cdot K_P = 0,384 \cdot K_n, \\ a_1 &= K_d \cdot K_K \cdot K_P = 0,384 \cdot K_d, \\ a_2 &= 1, \\ b_0 &= 0, \\ b_1 &= K_P = 6,48. \end{aligned} \quad (11)$$

Условие устойчивости системы управления по алгебраическому критерию Гурвица для второго порядка требует одинаковости знаков полиномиальных коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$ . Откуда следует, что система будет устойчива при выполнении условия:

$$\begin{cases} K_n > 0, \\ K_d > 0. \end{cases} \quad (12)$$

Технологический процесс функционирования САР уровня технической воды в резервуаре не предполагает оперативного изменения заданного уровня, то есть это исключительно стабилизационная система управления. Поэтому переходные процессы стабилизации будут вызваны лишь возмущающим воздействием – изменением расхода отбора воды потребителем. Тогда и оценка качества переходного процесса должна быть выполнена по соответствующей математической модели – передаточной функции от внешнего возмущения (10).

#### Определение критериев качества

Критерием качества переходного процесса выбрана квадратичная интегральная оценка – интегральная сумма квадратов отклонений уровня от заданного за время стабилизации. Для передаточной функции (10) интегральная оценка вычисляется через полиномиальные коэффициенты следующим образом:

$$J = \frac{B_1 \cdot \Delta_1 + B_0 \cdot \Delta_0}{2 \cdot a_0^2 \cdot \Delta} - \frac{b_0 \cdot b_1}{a_0^2},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_0 & -a_2 \\ 0 & a_1 \end{vmatrix} = a_0 \cdot a_1,$$

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} a_1 & -a_2 \\ a_0 & a_1 \end{vmatrix} = a_1^2 + a_0 \cdot a_2, \quad (13)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a_0 & a_1 \\ 0 & a_0 \end{vmatrix} = a_0^2,$$

$$B_0 = b_0^2,$$

$$B_1 = b_1^2.$$

Целевая функция квадратичной интегральной оценки должна быть минимизирована по двум аргументам:  $K_n$  и  $K_d$ . С учетом (11) и (5):

$$\begin{aligned} J(K_n, K_d) &= \frac{1}{2 \cdot K_K^2 \cdot K_n \cdot K_d} = \\ &= \frac{142.33}{K_n \cdot K_d} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (14)$$

Полученная обратно-пропорциональная зависимость не имеет локальных минимумов в области определения.

Симметрия графической интерпретации этой функции (рис. 3) относительно плоскости  $K_n = K_d$  позволяет выделить условную линию минимума, являющуюся пересечением этой плоскости симметрии и функции  $J$ , и сделать вывод о целесообразности равенства коэффициентов пропорциональной и дифференцирующей составляющих регулятора и перехода к функции одного аргумента.

$$K_n = K_d = K.$$

$$J(K) = \frac{1}{2 \cdot K_K^2 \cdot K^2} \rightarrow \min. \quad (15)$$

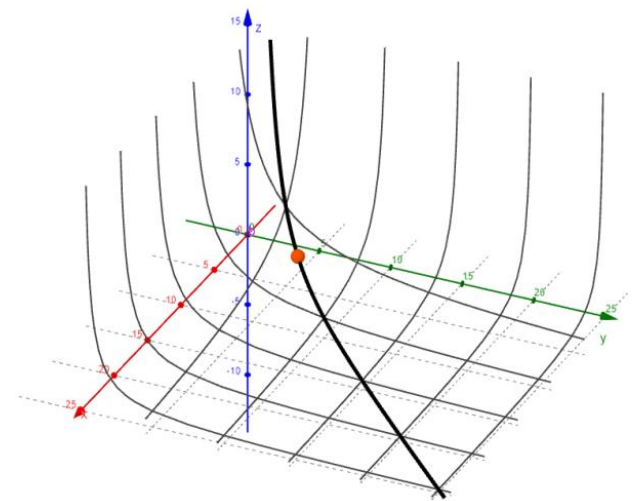


Рис. 3. График функции интегральной квадратичной оценки

Fig. 3. Graph of the integral quadratic estimation function

Оптимальным значением аргумента  $K$  в этом случае может быть условно выбрано значение, после которого интенсивность уменьшения функции к нулю в пределе снижается и до которого интенсивность увеличения функции возрастает. Это соответствует значению, при котором первая производная функции будет равна  $-1$ .

$$\frac{dJ}{dK} = -\frac{1}{K_k^2 \cdot K^3} = -1. \quad (16)$$

Решение этого уравнения относительно  $K$  дает оптимальные значения коэффициентов регулятора для любых САР с аналогичной структурой:

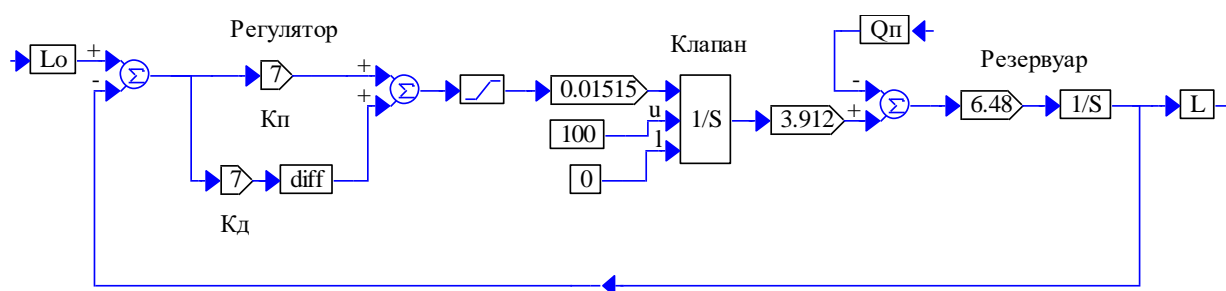


Рис. 4. Имитационная модель САР

Fig. 4. Simulation model ACS

В имитационной модели реализованы все структурные связи передаточных функций и расчетные коэффициенты. Учтены такие особенности реальной системы, не вошедшие в математическое описание, как ограничение интегратора клапана диапазоном от 0 до 100 %, то есть физическими пределами хода задвижки.

Также установлено ограничение на управляющий сигнал регулятора в диапазоне от  $-220$  до  $+220$  В. Основное внимание при исследовании было уделено влиянию значений коэффициентов регулятора на качество переходного процесса при ступенчатом изменении возмущающего воздействия – расхода отбора воды потребителем. На рис. 4 и 5 переходной процесс инициирован на 5-й секунде ступенчатым изменением  $Q_n$  на  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Синхронное уменьшение значений (рис. 5) приводит к затяжному переходному процессу с большей колебательностью, с большим периодом и с большей амплитудой. Увеличение коэффициента дифференцирующей составляющей относительно коэффициента пропорциональной составляющей приводит к увеличению времени регулирования (рис. 6).

А уменьшение вызывает усиление колебательности с ростом амплитуды, частоты и времени затухания.

$$K_n = K_d = \frac{1}{\sqrt[3]{K_k^2}}. \quad (17)$$

Для данного случая с учетом (5) и округляя в большую сторону принимаем  $K_n = K_d = 7$ .

Для оценки адекватности выбора оптимальных значений коэффициентов пропорциональной и дифференцирующей составляющих регулятора построена имитационная модель САР (рис. 4) в моделирующей программе VisSim.

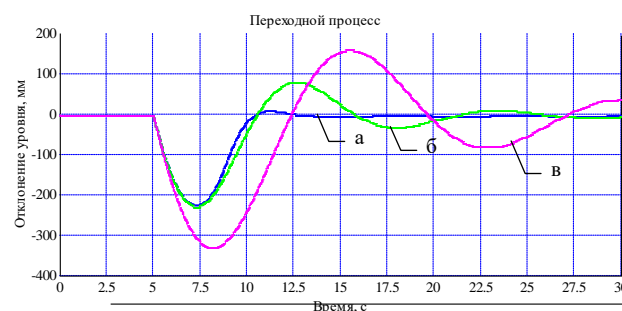


Рис. 5. Сравнение переходных процессов:  $a - K_n = 7, K_d = 7$ ,  $б - K_n = 1, K_d = 1$ ,  $в - K_n = 0,5, K_d = 0,5$

Fig. 5. Comparison of transients

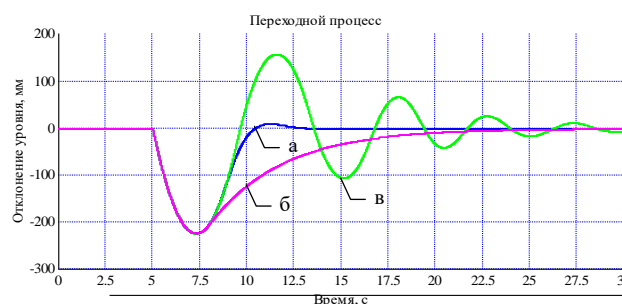


Рис. 6. Сравнение переходных процессов:  $a - K_n = 7, K_d = 7$ ,  $б - K_n = 5, K_d = 20$ ,  $в - K_n = 5, K_d = 1$

Fig. 6. Comparison of transients

В ходе имитационных экспериментов подтверждено, что для данных условий оптималь-

ными значениями коэффициентов регулятора являются  $K_n = 7$  и  $K_d = 7$ .

Следует отметить, что такая САР с ПД-регулятором обладает астатизмом 1-го порядка, то есть будет иметь установившуюся ошибку при линейно растущем возмущении. Имитационное моделирование переходного процесса при равномерном увеличении отбора воды потребителем (рис. 7) до  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  за 20 с показало статическое отклонения уровня от заданного на величину 5 мм (рис. 8).



Рис. 7. Возмущающее воздействие

Fig. 7. Disturbing effect

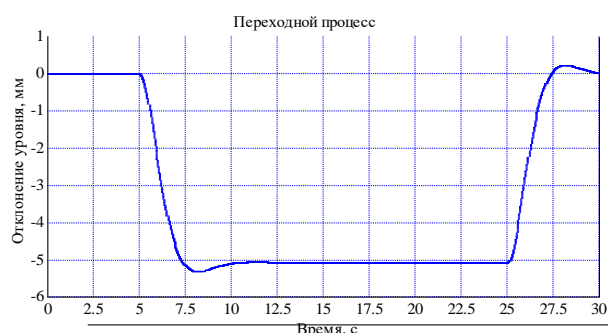


Рис. 8. Статическое отклонение уровня

Fig. 8. Static level deviation

Для исключения установившейся ошибки управления при ужесточении требований к точности процесса регулирования в состав регулятора следует добавить интегрирующую составляющую для реализации полного ПИД-регулятора.

### Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований выполнен структурный и параметрический синтез регулятора уровня воды в резервуаре для условий технологического процесса, включающего переменный отбор воды потребителем. Получены математические модели системы, позволяющие выполнять аналитические исследования процесса регулирования. Создана имитационная модель для экспериментальных исследований поведения регулятора в

задаваемых условиях. Найдены оптимальные значения коэффициентов пропорциональной и дифференцирующей составляющих регулятора для эффективного управления уровнем воды. Для данной САР при установленных параметрах объекта управления оптимальными значениями обоих коэффициентов регулятора выбраны величины, равные 7. При этом обеспечивается оптимальный характер переходного процесса с наименьшим временем регулирования 5 секунд и практическим отсутствием перерегулирования. Установившаяся ошибка управления при линейно растущем возмущении не превышает 5 мм и находится в допустимом диапазоне.

### Библиографические ссылки

1. Тверской Ю. С., Муравьев И. К. О методологии структурного синтеза эффективных систем управления технологическим процессом // Газотурбинные технологии. 2022. № 5 (188). С. 32–37. EDN IXOJY.
2. Оптимизация цифрового регулятора системы автоматического регулирования непрерывного объекта / В. А. Доровской, А. А. Зинченко, Е. Г. Зинченко [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 1. С. 67–78. DOI 10.24143/2073-1574-2022-1-67-78. EDN OLB DJT.
3. Гусев С. С. Типовые каналы автоматического регулирования // Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. 2024. № 3 (108). С. 4–13. EDN IRMFFD.
4. Михайлушкин Д. Е. Исследование действия автоматического регулятора возбуждения в программном комплексе SIMINTech // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тезисы докладов Тридцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 29 февраля – 02 марта 2024 года. М. : Радуга, 2024. С. 1222. EDN IFGABC.
5. Разработка автоматизированной системы регулирования подачи газозоудушной смеси / К. В. Личин, Д. А. Гнедков, А. Д. Морев, Д. В. Некипелов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 5. С. 467–472. DOI 10.24412/2071-6168-2024-5-467-468. EDN XLURNT.
6. Автоматизация производственных процессов на предприятиях строительной промышленности / Д. Довлетгелдиева, М. Аманмухаммедов, А. Меджидов, А. Рахимова // Символ науки : международный научный журнал. 2024. Т. 2, № 2-2. С. 34–36. EDN ULSJZJ.
7. Колтаков А. В. Разработка системы автоматического регулирования температуры триполифосфата натрия в химическом реакторе // Матрица научного познания. 2024. № 7-2. С. 44–55. EDN BAMJFY.
8. Петров А. М., Попов А. Н. Развитие научно-технических основ совершенствования автоматизированных систем оперативного контроля и управле-

ния процессами теплоснабжения // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 117–124. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-117-124.

9. Осолков А. А., Безукладников И. И., Трушников Д. Н. Применение вихретокового метода контроля в контуре управления температурой процесса трехмерной печати // Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18, № 3. С. 110–117. DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-110-117.

10. Марголис Б. И., Макаров К. И. Синтез регулирующих устройств в системах автоматического управления методом линий равного быстродействия // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2021. № 1 (9). С. 86–91. DOI 10.46573/2658-5030-2021-1-86-91.

11. Поляков С. И., Сорокин И. А. Автоматизация технологического процесса паропроизводства в котельном цехе // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 5 (41). С. 118–122.

12. Теоретическое обоснование пропускной способности разработанного авторегулятора подачи воды в оросительный канал / А. С. Овчинников, А. А. Киселев, К. М. Мелихов, О. А. Козинская // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1(73). С. 234–241. DOI 10.32786/2071-9485-2024-01-27. EDN NDXMGC.

13. Храменков В. Н. Обоснование требований к точности воспроизведения системой управления технического объекта управляющих воздействий на показатели его назначения // Вестник метролога. 2023. № 3. С. 9–11. EDN ICHWNA.

14. Юхно А. И., Плуготаренко Н. К. Разработка алгоритма управления системой автоматизированного дозирования хлора на станциях водоподготовки // Вестник молодежной науки России. 2019. № 2. С. 8.

15. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Автоматизированное управление аварийными сбросами в системах очистки сточных вод // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 1 (25). С. 133–139.

16. Тверской Ю. С., Муравьев И. К. О методологии структурного синтеза эффективных систем управления технологическим процессом // Газотурбинные технологии. 2022. № 5 (188). С. 32–37.

## References

1. Tverskoj Ju.S., Murav'ev I.K. [On the methodology of structural synthesis of effective process control systems]. *Gazoturbinnye tehnologii*. 2022. No. 5. Pp. 32–37. EDN IIXOJY (in Russ.).

2. Dorovskoj V.A., Zinchenko A.A., Zinchenko E.G. [i dr.] [Optimization of the digital controller of the automatic control system of a continuous object]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaja tehnika i tehnologija*. 2022. No. 1. Pp. 67–78. DOI 10.24143/2073-1574-2022-1-67-78. EDN OLB DJT (in Russ.).

3. Gusev S.S. [Typical automatic control channels]. *Operativnoe upravlenie v elektrojenergetike: podgotov-*

*ka personala i podderzhanie ego kvalifikacii*. 2024. No. 3. Pp. 4–13. EDN IRMFFD (in Russ.).

4. Mihajlushkin D.E. *Issledovanie dejstviya avtomaticheskogo reguljatora vzbuzhdeniya v programmnom komplekse SIMINTECH* [Study of the operation of the automatic excitation regulator in the SIMINTECH software package]. *Radioelektronika, jelektrotehnika i je-nergetika : Tezisy dokladov Tridcatoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i aspirantov* [Proc. Radioelectronics, electrical engineering and power engineering: abstracts of the reports of the Thirtieth International Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates, Moscow, February 29 – March 02, 2024]. Moscow: RADUGA, 2024. P. 1222. EDN IFGABC (in Russ.).

5. Licin K.V., Gnedkov D.A., Morev A.D., Nekipelov D.V. [Development of an automated system for regulating the supply of gas-air mixture] *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2024. No. 5. Pp. 467–472. DOI 10.24412/2071-6168-2024-5-467-468. EDN XLURNT (in Russ.).

6. Dovletgel'dieva D., Amanmuhammedov M., Medzhidov A., Rahimova A. [Automation of production processes in construction industry enterprises]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*. 2024. Vol. 2, no. 2-2. Pp. 34–36. EDN ULSJZJ (in Russ.).

7. Koltakov A.V. [Development of an automatic temperature control system for sodium tripolyphosphate in a chemical reactor]. *Matrica nauchnogo poznaniya*. 2024. No. 7-2. Pp. 44–55. EDN BAMJFY (in Russ.).

8. Petrov A.M., Popov A.N. [Development of scientific and technical foundations for improving automated systems for operational control and management of heat supply processes]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023. Vol. 21, no. 4. Pp. 117–124 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-117-124.

9. Oskolkov A.A., Bezukladnikov I.I., Trushnikov D.N. [Application of Eddy Current Testing Method in Temperature Control Loop of 3D Printing Process]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2020. Vol. 18, no. 3. Pp. 110–117 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-110-117.

10. Margolis B.I., Makarov K.I. [Synthesis of control devices in automatic control systems by the method of equal-speed lines]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Seriya: Tehnicheskie nauki*. 2021. No. 1. Pp. 86–91 (in Russ.). DOI 10.46573/2658-5030-2021-1-86-91.

11. Poljakov S.I., Sorokin I.A. [Automation of the technological process of steam production in the boiler shop]. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika*. 2018. Vol. 6, no. 5. Pp. 118–122 (in Russ.).

12. Ovchinnikov A.S., Kiselev A.A., Melihov K.M., Kozinskaja O.A. [Theoretical justification of the capacity of the developed automatic regulator of water supply to the irrigation canal]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2024. No. 1. Pp. 234–241. DOI 10.32786/2071-9485-2024-01-27. EDN NDXMGC (in Russ.).



13. Hramenkov V.N. [Justification of requirements for the accuracy of reproduction by the control system of a technical object of control actions on the indicators of its purpose]. *Vestnik metrologa*. 2023. No. 3. Pp. 9-11. EDN ICHWNA (in Russ.).

14. Juhnno A.I., Plugotarenko N.K. [Development of a control algorithm for an automated chlorine dosing system at water treatment plants]. *Vestnik molodjozhnoj nauki Rossii*. 2019. No. 2. Pp. 8 (in Russ.).

15. Alekseev V.A., Usol'cev V.P., Juran S.I. [Automated control of emergency discharges in wastewater treatment systems]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2015. No. 1. Pp. 133-139 (in Russ.).

16. Tverskoj Ju.S., Murav'ev I.K. [On the methodology of structural synthesis of effective process control systems]. *Gazoturbinnye tehnologii*. 2022. No. 5. Pp. 32-37 (in Russ.).

\* \* \*

### Level Regulator Synthesis in Process Water Tanks

*O. V. Nikitina*, PhD in Engineering, Associate Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Votkinsk, Russia

*K. B. Sentyakov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Votkinsk, Russia

*A. F. Luzina*, Student, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Votkinsk, Russia

*Technological progress is impossible without creation of the advanced technologies, machines, materials, as well as automation tools. Automation development in any industry is associated with the increasing intensity of technological processes, application of high-power units, sophistication of technological schemes and increased requirements for the produced items. Today, automation of technological and production processes is an urgent task for most enterprises in all industries.*

*This work analyzes the technological process of service water preparation, shortcomings reducing process water selection quality regulation were found, a search for existing solutions improving the process water quality and labour safety was made. The water level converter in the tank is taken as an ideal proportional link without inertial delay in signal transmission. The software controller operates according to a PD control algorithm (proportional-differentiating controller). This provides the control system with the required speed, i.e. a prompt response to changes in the mismatch between the specified and actual water levels in the tank. Thus, the synthesis problem is localized by choosing the coefficients of the proportional  $K_p$  and differentiating  $K_d$  components of the controller. To assess the relevance of optimal value selection of the proportional and differentiating component coefficients of the regulator, a simulation model of the automatic control system was developed. The simulation model implements all structural connections of transfer functions and calculated coefficients. During simulation experiments, the optimal values of the controller coefficients were confirmed for the described conditions. Technical means of automation were selected, a mathematical model for controlling a valve with an electrical drive was developed, and a block diagram of a system for automated control of the water level in the tank was developed, a level controller has been synthesized, providing the effective monitoring system implementation with regard to the technological process.*

**Keywords:** automation, system, regulation, controlled object, converter, tank.

Получено: 27.10.24

### Образец цитирования

*Никитина О. В., Сентяков К. Б., Лузина А. Ф. Синтез регулятора уровня в резервуарах с технической водой // Интеллектуальные системы в производстве. 2025. Т. 23, № 1. С. 4–14. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-4-11.*

### For Citation

*Nikitina O.V., Sentyakov K.B., Luzina A.F. [Synthesis of a level regulator in tanks with process water]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2025, vol. 23, no. 1, pp. 4-11 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-4-11.*