

УДК 681.5:622.276

Мельникова Дарья Александровна, доцент кафедры Автоматизация и управление технологическими процессами Институт автоматики и информационных технологий, Самарский государственный технический университет, г. Самара

Шагеев Айрат Раильевич, студент 2 курса магистратуры кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами», Институт автоматики и информационных технологий, ГОУ ВО «Самарский государственный технический университет, г. Самара

Свириденко Дарья Викторовна, студент 2 курса магистратуры кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами», Институт автоматики и информационных технологий, ГОУ ВО «Самарский государственный технический университет, г. Самара

Левченко Роман Александрович, студент 2 курса магистратуры кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами», Институт автоматики и информационных технологий, ГОУ ВО «Самарский государственный технический университет, г. Самара

Марусин Артем Евгеньевич, студент 2 курса магистратуры кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами», Институт автоматики и информационных технологий, ГОУ ВО «Самарский государственный технический университет, г. Самара

РАСЧЕТ НАСТРОЕК ПИ-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КОНТУРА СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ

Аннотация

В статье приведён расчёт параметров настройки ПИ-регулятора для контура регулирования давления.

Целью текущей работы является определение таких коэффициентов ПИ-регулятора, которые обеспечат устойчивое поддержание заданного давления с требуемыми показателями качества переходного процесса.

Приводится описание технологического процесса и обоснование степени автоматизации, соответствующей требованиям ключевых нормативных документов нефтегазовой отрасли. Особое внимание уделяется реализации функций противоаварийной защиты и блокировок, такой как остановка перекачки участка трубопровода в случае достижения аварийных значений давления на регуляторе, для предотвращения разрыва трубы и выхода на поверхность содержимого.

В рамках проектирования системы диспетчеризации рассмотрено применение программного комплекса Trace Mode 6. Описаны этапы создания проекта в интегрированной среде разработки: определение нормальных, предупредительных и аварийных диапазонов технологических параметров, разработка структуры базы тегов и визуализации на АРМ оператора. Работа демонстрирует подход к построению современной АСУ ТП, направленной на минимизацию человеческого фактора, централизацию контроля и обеспечение безаварийной работы ответственного технологического оборудования.

Annotation

This article presents the calculation of PI controller settings for a pressure control loop.

The objective of this work is to determine PI controller coefficients that will ensure stable maintenance of a set pressure with the required transient response quality indicators.

A description of the process flow and a justification for the degree of automation required to meet key regulatory requirements in the oil and gas industry are provided. Particular attention is paid to the implementation of emergency protection and interlock functions, such as shutting down the pumping of a pipeline

section when emergency pressure values are reached at the regulator, to prevent pipe rupture and the release of contents to the surface.

As part of the design of the dispatching system, the use of the Trace Mode 6 software package is considered. The stages of project creation in an integrated development environment are described: defining normal, warning, and emergency ranges for process parameters, developing the tag database structure, and visualization on the operator workstation. This work demonstrates an approach to building a modern automated process control system aimed at minimizing human error, centralizing control, and ensuring the trouble-free operation of critical process equipment.

Ключевые слова: АСУ ТП, регулятор давления, контролируемые параметры, передаточная функция, противоаварийная защита (ПАЗ), технологические параметры, нормативная база.

Keywords: APCS, pressure regulator, controlled parameters, transfer function, emergency protection system (EPS), process parameters, regulatory framework.

Эффективность и стабильность автоматизированных систем управления технологическими процессами во многом определяются качеством настройки контуров регулирования. Одним из ключевых этапов проектирования является расчёт параметров регуляторов для исполнительных механизмов. Методика расчёта настроек пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора в конкретном контуре стабилизации давления.[1]

В качестве объекта исследования выступает контур регулирования давления (поз. PIRCA 2-2) с рабочим давлением 3,5 Мпа См. Рисунок 1.[2]

При решении задач автоматизации в качестве руководящих принципов приняты следующие:

- идентификация объекта управления.;

- определение передаточной функции;
- преобразование модели объекта;
- упрощение математической модели;
- расчёт настроек ПИ-регулятора;
- формирование итоговой передаточной функции регулятора;
- обеспечение качества регулирования.

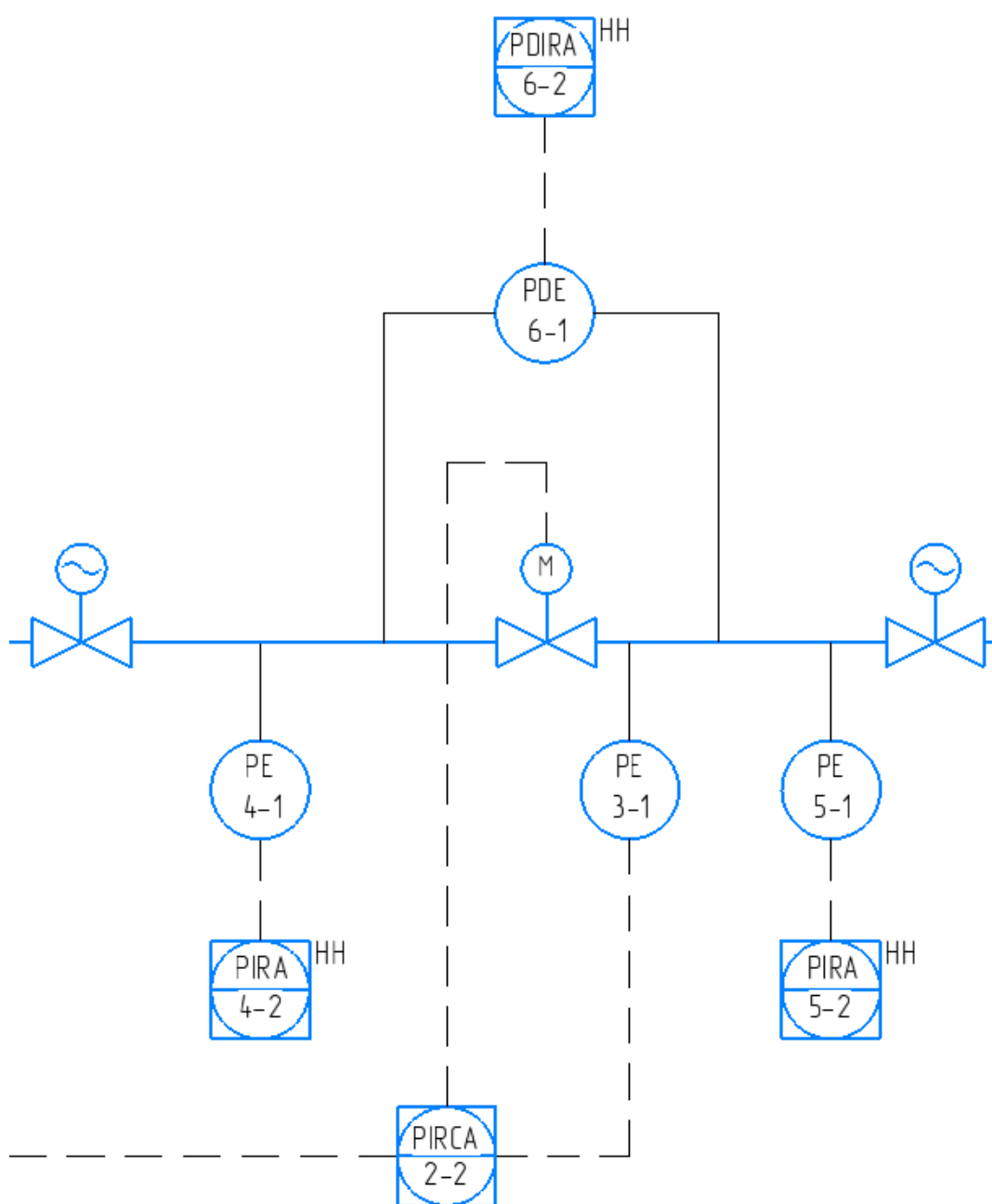
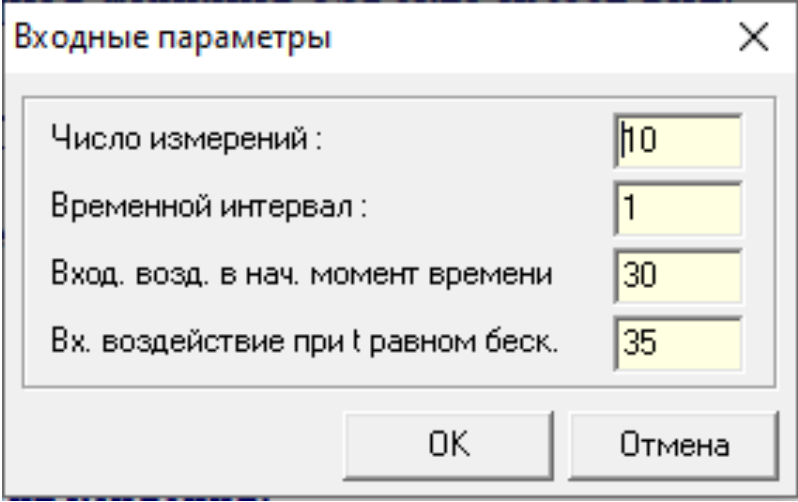


Рисунок 1 - Схема контура регулирования

Расчёт выполняется на основе идентификации динамических характеристик объекта, с помощью специализированной программы «RKPF» получена кривая разгона, по результатам которой была определена передаточная функция трубопровода как объекта управления.

Запустив программу, указываем необходимые для расчёта параметры в всплывающем окне «Входные параметры»: число измерений, временной интервал, входное значение в начальный момент времени и входное значение при $t_0 = \infty$, в нашем случае 35 См. Рисунок 2.



Параметр	Значение
Число измерений :	10
Временной интервал :	1
Вход. возд. в нач. момент времени	30
Вх. воздействие при t равном беск.	35

Рисунок 2 - Входные параметры

Указываем входные параметры, нажимаем ОК и запускаем программу. Произведем расчет, учитывая, что максимальное значение $P=35 \text{ кгс/см}^2$ См. Рисунок 3.

0.0.									
Таблица Вход Безразмерный вид Результат									
№ п/п	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	30	0	0	1	0	1	1	1	1
2	30,25	1	0,0556	0,9444	0,2442	0,7558	0,7138	0,5414	0,5113
3	30,875	2	0,1944	0,8056	0,4885	0,5115	0,4121	0,1423	0,1146
4	31,5	3	0,3333	0,6667	0,7327	0,2673	0,1782	-0,197	-0,1313
5	32,25	4	0,5	0,5	0,9769	0,0231	0,0116	-0,4766	-0,2383
6	33,025	5	0,6722	0,3278	1,2212	-0,2212	-0,0725	-0,6967	-0,2284
7	33,625	6	0,8056	0,1944	1,4654	-0,4654	-0,0905	-0,8571	-0,1666
8	33,975	7	0,8833	0,1167	1,7096	-0,7096	-0,0828	-0,9578	-0,1118
9	34,325	8	0,9611	0,0389	1,9538	-0,9538	-0,0371	-0,9989	-0,0389
10	34,5	9	1	0	2,1981	-1,1981	0	-0,9804	0

Рисунок 3 - таблица расчетов

Получаем 2 графика: «Входное воздействие» и «Кривые разгона» См. Рисунок 4 и Рисунок 5.

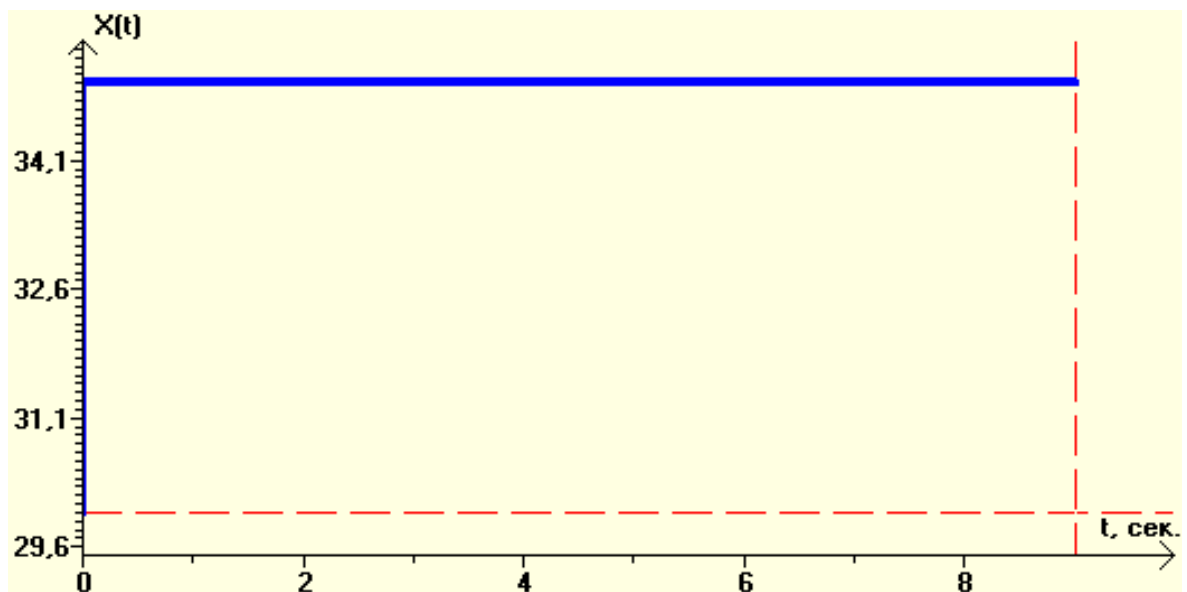


Рисунок 4 - входное воздействие

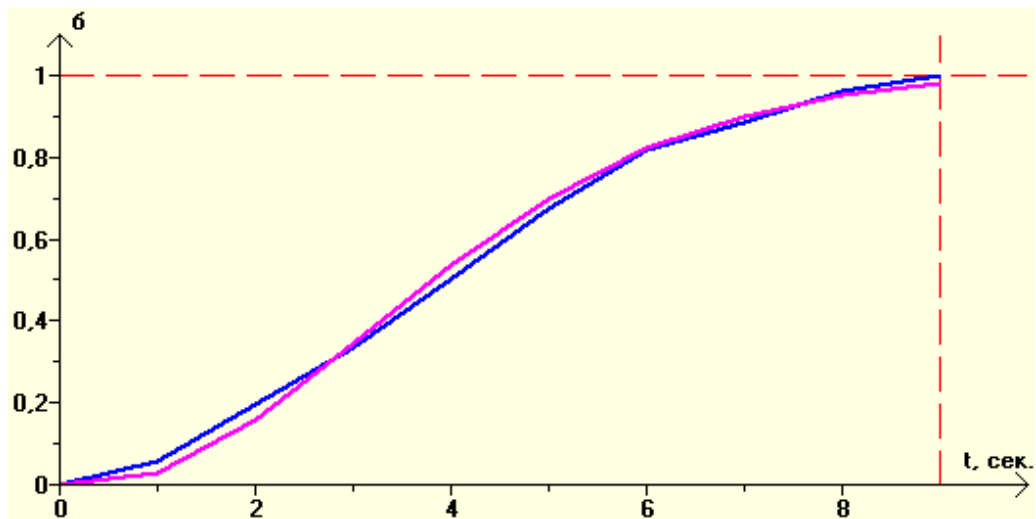


Рисунок 5 - кривые разгона

В итоге мы можем увидеть уравнение передаточной функции, процент ошибки ввода и указанные коэффициенты на рисунке 6.

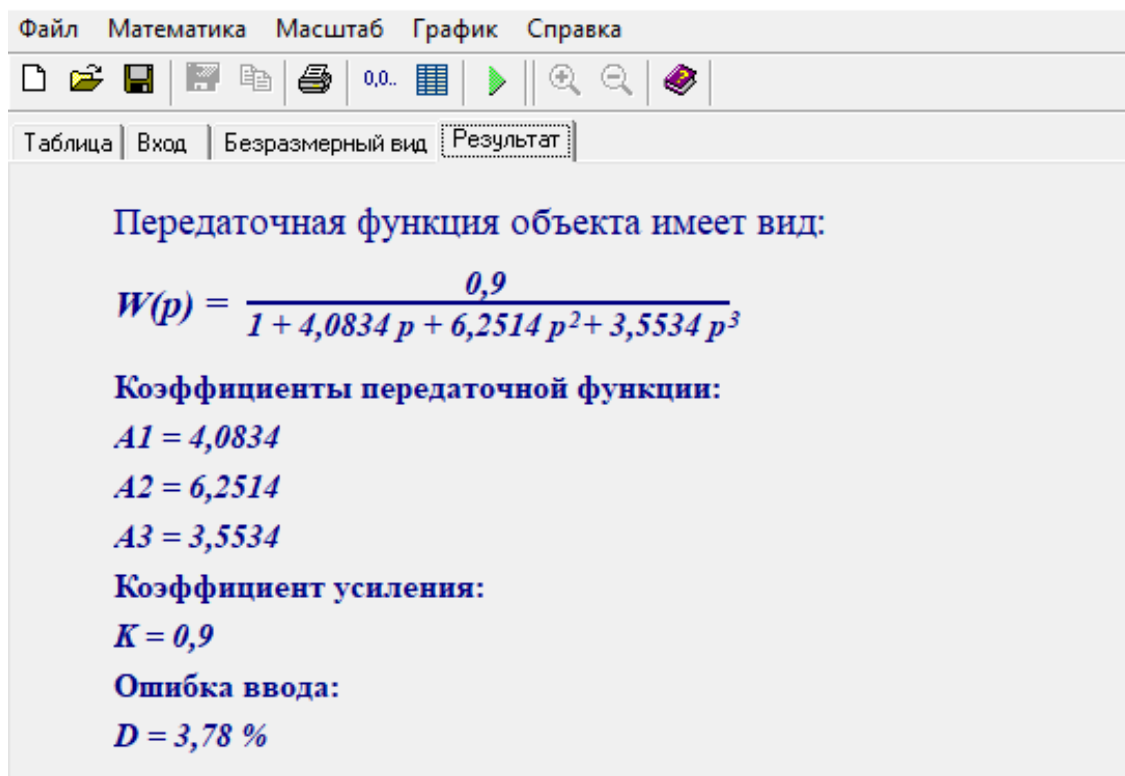


Рисунок 6 - уравнение передаточной функции

Передаточную функцию объекта нужно преобразовать к виду [4]:

$$W(p) = \frac{k * e^{-p\tau}}{1 + Tp} \quad (1)$$

k - коэффициент усиления

τ - время запаздывания

T -постоянная времени.

Далее требуется вычислить значение преобразованных коэффициентов используя метод площадей:

$$A1 / 60 = 4,08 / 60 = 0,068$$

$$A2 / 60^2 = 6,2514 / 3600 = 0,0017365$$

$$A3 / 60^3 = 3,5534 / 216000 = 0,0000289$$

Следовательно, постоянная времени $T=0,068$, а $K=0,9<1$

Коэффициенты $A2$ и $A3 < A1$, ими можно пренебречь, а значит передаточная функция объекта имеет вид апериодического звена первого порядка[5]:

$$W_0(P) = \frac{0,9 \cdot e^{-p\tau}}{1 + 0,068 \cdot p} \quad (2)$$

Далее указываем дополнительные параметры и производим расчет настроек регулятора в одноконтурной системе См. Рисунки 7 и Рисунок 8.

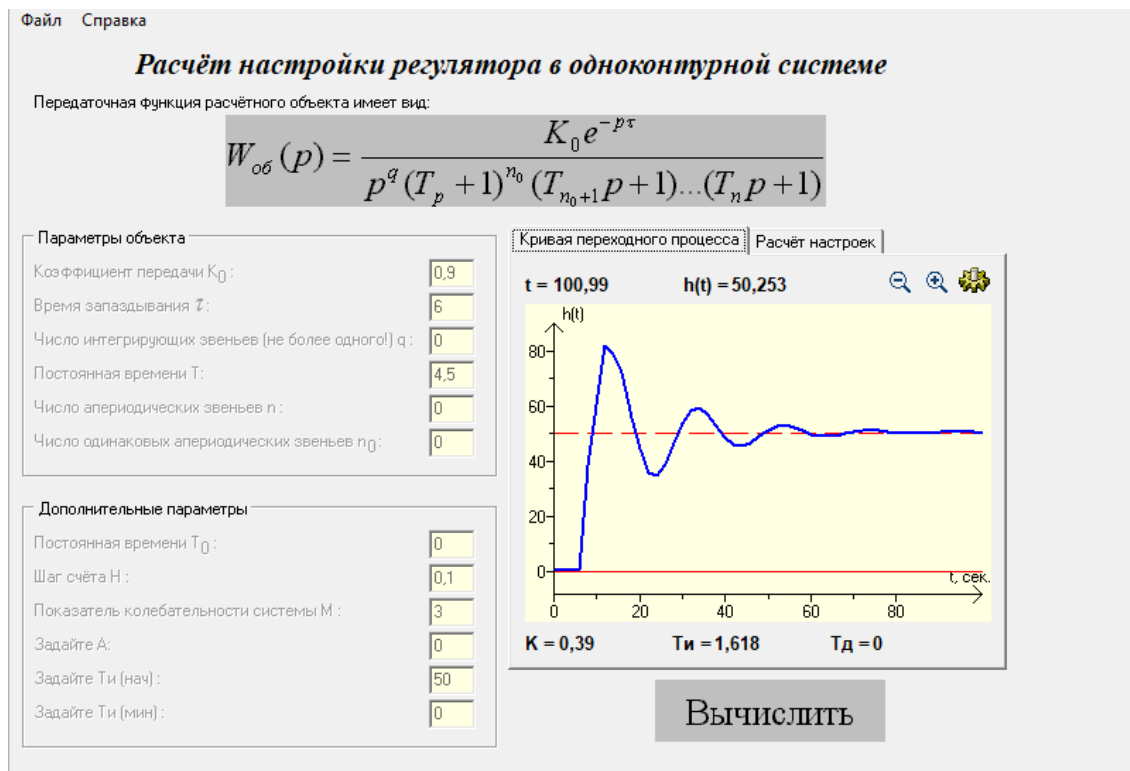


Рисунок 7 - Кривая переходного процесса

Расчёт настройки регулятора в одноконтурной системе

Передаточная функция расчётного объекта имеет вид:

$$W_{об}(p) = \frac{K_0 e^{-p\tau}}{p^q (T_p + 1)^{n_0} (T_{n_0+1}p + 1) \dots (T_n p + 1)}$$

Параметры объекта

Коэффициент передачи K_0 :

Время запаздывания τ :

Число интегрирующих звеньев (не более одного!) q :

Постоянная времени T :

Число апериодических звеньев n :

Число одинаковых апериодических звеньев n_0 :

Кривая переходного процесса Расчёт настроек

K	Tи	Tд	K/Tи
0,555	2,368	0	0,2344
0,59	2,605	0	0,2264
0,512	2,153	0	0,2378
0,468	1,957	0	0,2392
0,427	1,779	0	0,24
0,39	1,618	0	0,241
0,354	1,47	0	0,2407

Рекомендуем: K=0,39; Ти=1,618; Tд=0

Дополнительные параметры

Постоянная времени T_0 :

Шаг счёта H :

Показатель колебательности системы M :

Задайте A:

Задайте Ти (нач):

Задайте Ти (мин):

Вычислить

Рисунок 8 - Расчет настроек регулятора

В результате получили коэффициенты $K_p = 0,39$ и $T_{и} = 1,618$, где K_p - коэффициент пропорциональности а $T_{и}$ - время интегрирования, которые необходимо подставить в передаточную функцию ПИ-регулятора в общем виде:

$$W(P) = k_p + \frac{1}{T_u \cdot p} \quad (3)$$

Подставив полученные коэффициенты, получим передаточную функцию данного ПИ-регулятора:

$$W(P) = 0,39 + \frac{1}{1,618 \cdot p} \quad (4)$$

В рамках данной работы был выполнен расчёт настроек ПИ-регулятора для контура стабилизации давления. В качестве исходных данных использовались результаты идентификации объекта управления, проведённой с помощью программы «RKPF», что позволило получить кривую разгона и определить динамические характеристики трубопровода.

В результате обработки экспериментальных данных передаточная функция объекта была преобразована к стандартному виду и аппроксимирована моделью апериодического звена первого порядка.

На основе полученной модели с использованием метода площадей были вычислены оптимальные параметры настройки регулятора для одноконтурной системы автоматического регулирования.

Основные проектные решения включают:

1. Математическое моделирование объекта управления. В качестве основного проектного решения принято описание динамики контура регулирования давления с помощью передаточной функции.

2. Выбор и расчёт типа регулятора. В качестве управляющего устройства для данного контура выбран пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор.

3. Определение параметров настройки регулятора. На основе математической модели объекта и с использованием метода площадей были рассчитаны конкретные числовые значения настроечных коэффициентов ПИ-регулятора, которые обеспечивают заданное качество процесса регулирования.

4. Формирование итоговой передаточной функции регулятора. На основе рассчитанных параметров сформирована итоговая передаточная функция ПИ-регулятора для данной системы

Таким образом, поставленная задача решена. Найденные настройки являются теоретически обоснованными и могут быть использованы для программирования контроллера в системе автоматизации, что обеспечит поддержание давления в заданных пределах с требуемым качеством переходного процесса.

Список литературы

1. Астапов, В.Н. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учебное пособие / В.Н. Астапов, В.М. Мисриханов. - Самара: СамГТУ, 2018.

2. ГОСТ 21.208-2013 - Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. - [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108003>
3. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды". - [Электронный ресурс] <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=504467>
4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ [Электронный ресурс](URL:https://siurgtu.ru/sveden/files/MU_230301_Nadeghnosty_texnicheskix_sistem_MU_k_PR.pdf)
5. Справочник правил настройки ПИ- и ПИД-регуляторов. - Эйдан О'Двайер, 2003. [Электронный ресурс] (URL: https://cyxtp.ucoz.ru/pdf/Aidan_O_Dwyer_Handbook_of_PI_and_PID_Controller_Tuning_Rules.pdf)

References

1. Astapov, V.N. Design of Automated Process Control Systems: Study Guide / V.N. Astapov, V.M. Misrikhanov. - Samara: SamSTU, 2018.
2. GOST 21.208-2013 - System of design documentation for manufacturing. Automation of technological processes. Designations of conventional devices and automation equipment in diagrams. - [Electronic resource] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108003>
3. Federal Law of 10.01.2002 N 7-FZ "On Environmental Protection". - [Electronic resource] (URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=504467>)
4. FUNDAMENTALS OF RELIABILITY THEORY AND DIAGNOSTICS [Electronic resource] (URL: https://siurgtu.ru/sveden/files/MU_230301_Nadeghnosty_texnicheskix_sistem_MU_k_PR.pdf)

5. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules. - Aidan O'Dwyer, 2003.
[Electronic resource] (URL:
https://cyxtp.ucoz.ru/pdf/Aidan_O_Dwyer_Handbook_of_PI_and_PID_Controller_Tuning_Rules.pdf)