

шинного оборудования: Учебн. пособ / Под ред. Костюкова, Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002 – 108 с.

4. Петрухин В.В. Основы вибродиагностики и средств измерения вибрации: Учебн. пособ. / Петрухин В.В., Петрухин С.В. – М.: Изд-во Инфраинженерия, 2010 – 176 с.

5. Техническое предложение. Система диагностики и мониторинга состояния роторных машин Спектр-07 (ЗАО «ТСТ») [Электронный ресурс] – URL: <http://www.tst-spb.ru/files/Image/advpics/Spektr07.pdf>.

6. Сидоров А. В. Разработка экспертной системы для оценки технического состояния металлургических машин по параметрам вибрации // Выпускники ДонТУ. [Электронный ресурс] – URL: <http://masters.donntu.edu.ua/2005/mech/sidorov/diss/index.htm>.

7. Сайт лаборатории диагностики оборудования при МГУПП. Обзор современных приборов для вибродиагностики [Электронный ресурс] – URL: [http://www.sig-nal.narod.ru/new\\_page\\_3.htm](http://www.sig-nal.narod.ru/new_page_3.htm).

8. Фаерман В. А., Аврамчук В.С. Применение частотно-временной автокорреляционной функции для повышения эффективности вибродиагностики // СТТ: Сб. трудов – Томск, 2013. – С. 379 – 381.

9. Аврамчук В. С. Определение наличия гармонических составляющих и их частот в дискретных сигналах на основе автокорреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №. 5. – С. 113–116.

10. Аврамчук В.С., Чан Вьет Тъяу. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. –Т. 315. – № 5. – С. 112–115.

11. Свиридов В.И., Абдулаев А.А. Автоматизация вибродиагностирования энергетического оборудования // Вестник науки Херсонской государственной морской академии. – 2012. – №1(6). – С. 311-316.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ САР УРОВНЯ В БАРАБАНЕ ПАРОВОГО КОТЛА

Фам Ван Дай

Научный руководитель: Коновалов В.И.  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: phamvandaibk@gmail.com

### Введение

В процессе эксплуатации котлоагрегата, поддержание уровня воды в барабане парового котла в допустимых пределах весьма важно. Снижение уровня ниже допустимых пределов может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах, в результате чего произойдет повышение температуры стенок обогреваемых труб и их перегор. При значительном повышении уровня в барабане возможен заброс воды в занос пароперегревателя солями или поломку турбину [1].

### Свойства парового котла как объекта регулирования уровня

На уровень воды в барабане парового котла влияют многие факторы, основными из них являются изменения расходов питательной воды и пара, изменения температуры воды, нагрузки топки и давление в барабане. Особенностью динамики уровня в барабане является явление «набухание». При скачкообразном увеличении подачи питательной воды при неизменной паровой нагрузке, уровень сначала уменьшился, потом восстановился и увеличился. Это явление объясняется тем, что увеличение подачи питательной воды вызывает понижение температуры всей пароводяной смеси и соответственное уменьшение объема пара в барабане котла и циркуляционной системе. При скачкообразном увеличении расхода пара при неизменной подаче питательной воды, уровень

сначала увеличился, потом восстановился и уменьшился.

Для котла с некипящим экономайзером, характер изменения уровня при возмущении расходом питательной воды имеет вид [1]:

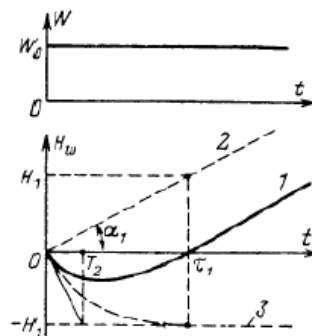


Рис. 1. Характер изменения уровня в барабане котла при возмущении расходом питательной воды

Передаточная функция объекта регулирования имеет вид [1]:

$$W_B(s) = W_1(s) + W_2(s) = \frac{1}{T_1 s} - \frac{K_1}{T_2 s + 1} \quad (1)$$

В процессе построения и расчета САР, считаем, что передаточные функции объекта по расходам воды и пара противоположны по знаку, а равны по величине, т.е.

$$W_{II}(s) = -W_B(s) \quad (2)$$

По исходным экспериментальным данным, определена передаточная функция объекта по расходу воды:

$$W_B(s) = \frac{1}{60s} - \frac{2}{22,4s + 1} \quad (3)$$

### Принципы регулирования уровня в барабане парового котла

По количеству сигналов, поданных в регулятор, имеются 3 принципа регулирования: одноимпульсный, двухимпульсный и трехимпульсный.

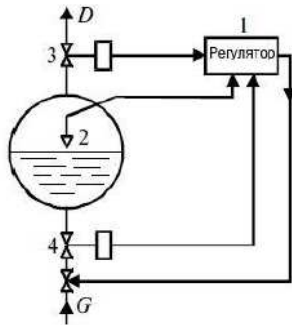


Рис. 2. Принципиальная схема САР уровня

По одноимпульсному принципу регулирования (рис. 2), на вход регулятор 1 поступает только сигнал от уровнемера 2. В двухимпульсном принципе регулирования, на вход регулятора 1 поступает еще опережающий сигнал расхода пара 3. Есть другой вариант, в котором на входе регулятор поступают сигнал от уровнемера 2 и сигнал расхода питательной воды. Трехимпульсный принцип учитывает все сигналы: расхода пара, воды и уровня.

### Варианты построения САР уровня

На основе трех вышеперечисленных принципов регулирования, построены следующие варианты САР. Обозначения на схемах САР  $W_P(s)$ ,  $W_{II}(s)$ ,  $W_{TP}(s)$ ,  $W_P(s)$ ,  $W_{P1}(s)$ ,  $W_{P2}(s)$ ,  $W_K(s)$  – передаточные функции объекта по расходу воды, по расходу пара, передаточные функции трубопровода, регулятора, ведущего и ведомого регулятора, передаточная функция корректирующего устройства.

1. Вариант 1 по одноимпульсному принципу, это обычная схема САР.

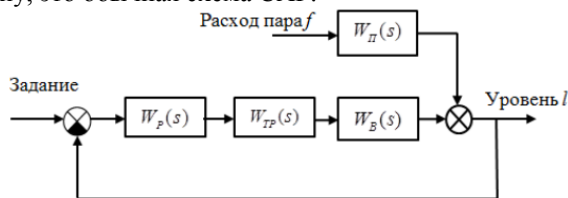


Рис. 3. Первый вариант САР

Используем метод незатухающих колебаний [2] для расчета параметров регулятора.

2. Вариант 2 по двухимпульсному принципу, использующий принцип инвариантности [3]

определения передаточной функции корректирующего устройства.

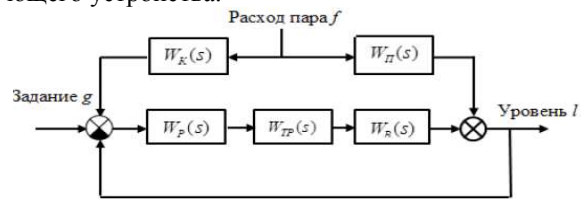


Рис. 4. Второй вариант САР

3. Вариант 3

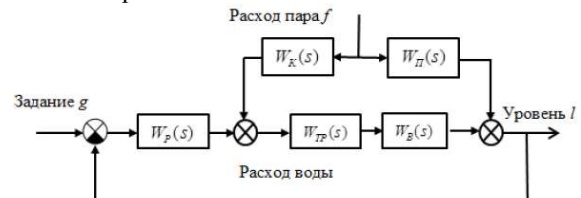


Рис. 4. Третий вариант САР

4. Вариант 4 по двухимпульсному принципу с применением принципа каскадного регулирования для стабилизации расхода воды при изменении давления в трубопроводе. Синтез регуляторов проведен сначала в контуре стабилизации расхода воды, а потом во внешнем контуре.

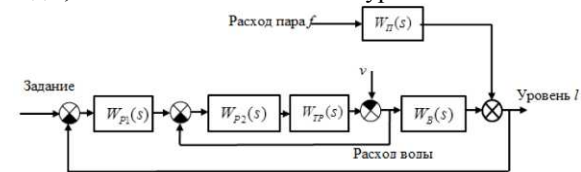


Рис. 5. Четвертый вариант САР

5. Вариант 5 по трехимпульсному принципу

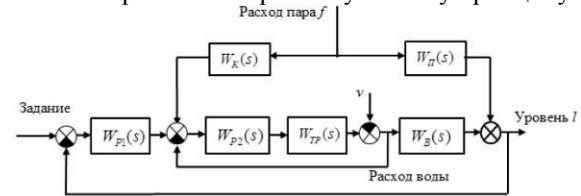


Рис. 6. Пятый вариант САР

6. Вариант 6 по трехимпульсному варианту. Внутренний контур, предназначенный для стабилизации расхода воды, имеет малую инерционность по сравнению с внешним. Поэтому можно рассматривать этот контур как «условный П регулятор» для внешнего контура, коэффициент пропорциональности которого равен коэффициенту передачи внутреннего контура.

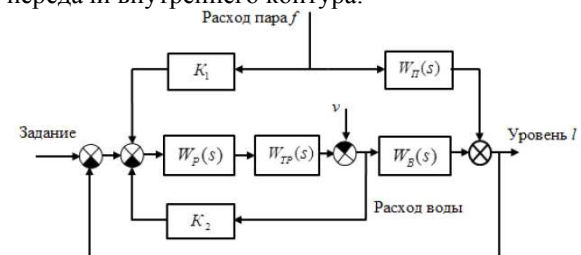


Рис. 7. Шестой вариант САР

### Сравнение результатов моделирования

Таблица 1. Качества регулирования по задающему воздействию

Вариант		$t_{рег}$ (с)	$\sigma$ (%)	$\varepsilon_{см}$
1,2 и 3 с регулятором	П	439	4,89	0
	ПИ	330	2,38	0
	ПИД	363	2,7	0
4 и 5 с регуляторами ведущим - ведомым	П-ПИ	432	4,66	0
	ПИ-ПИ	338	2,33	0
	ПИД-ПИ	362	2,66	0
6		438	5,09	0

На уровень воды влияют изменения расхода пара и давления в трубопроводе, следует сравнить изменений уровня при ступенчатом увеличении расхода пара и ступенчатом уменьшении расхода воды.

Таблица 2. Изменения уровня при ступенчатом увеличении расхода пара

Вариант		Максимальное отклонение уровня (мм)	$\varepsilon_{см}$ (мм)
1 с регулятором	П	3,5	3,44
	ПИ	3,67	0
	ПИД	3,36	0
2		0	0
3		0,0005	0
4		3,34	0
5		0,02	0
6		0,065	0

Таблица 3 Изменения уровня при ступенчатом уменьшении расхода воды из-за возмущения

Вариант		Максимальное отклонение уровня (мм)	$\varepsilon_{см}$ (мм)
1 и 3 с регулятором	П	3,5	3,44
	ПИ	3,67	0
	ПИД	3,36	0
2		3,5	3,44
4 и 5		0,02	0
6		0,07	0

### Заключение

Приведенные результаты моделирования показали, что при использовании трехимпульсного принципа (варианты 5 и 6), качество регулирования САР наилучшее. Эти варианты (5 и 6) дает хорошее качество переходного процесса по задающему воздействию и уменьшают до минимума влияния изменений давления в трубопроводе и расхода пара. На практике, варианты 5 и 6 широко применяются.

### Литература

1. Клюев А.С., Товарнов А.Г., Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов, М., «Энергия», 1970.
2. Токарев В.В., Ягубов З.Х., Приезжаев А.Б., Скабыкин Н.Г. Расчет оптимальных параметров промышленных автоматических систем регулирования. Учебное пособие– Ухта: УГТУ, 2003.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплотехническими процессами. –М.: «Энергоавтомиздат», 1985.

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ DOF-МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

Фандикова О.В., Попова Д.А., Громаков Е.И.  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: olafan@sibmail.com

### Введение

Digital Oil Field (цифровое нефтяное месторождение) – система автоматизированного управления операциями по добыче нефти и газа, предусматривающая непрерывную оптимизацию интегральной модели месторождения и модели управления добычей. Термин основан на понятии интеллектуального управления, в связи с чем цифровое месторождение также называют интеллектуальным [1]. Целью работы является концептуальное описание проекта DOF.

### Принцип работы DOF-месторождения нефти

В первую очередь создание цифрового месторождения означает более широкое применение информационных технологий дистанционного

управления с целью содействия в разведке и добыче нефти.

Одна из главных особенностей – это интеграция информации от оптоволоконных датчиков температуры и давления по всему месторождению (преимущественно под землей), которые подключаются к станциям управления на поверхности [3]. Информация от этих станций, а также от средств КИПиА поступает на промышленный логический контроллер (ПЛК) и обрабатывается им. Далее обработанная информация посредством радиоканала отправляется в служебно-эксплуатационный блок (СЭБ) АРМ диспетчера, где данные о параметрах измерения передаются и загружаются в компьютерные модели оптимизации, которые позволяют инженерам видеть в режиме реального времени (а также в виде трехмерных изображе-