

# СЕКЦИЯ 1. ВТ и АВТОМАТИЗАЦИЯ

## АНАЛИЗ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА КРЕМНИЯ

*Бурцев А.Г.,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Большая часть карбида кремния в мире производится с помощью электроплавильной технологии в печах сопротивления периодического действия. Основными регулируемыми параметрами, влияющими на массовый выход и качество продукта, является электрическая мощность печи и общее количество электроэнергии, потребленное печью за одну плавку.

Производство карбида кремния, как правило, осуществляется одновременно на нескольких ячейках (трансформаторах), к каждой из которых периодически подключаются новые печи. Количество печей может достигать нескольких десятков, каждая из которых обладает своими электроизоляционными характеристиками, зависящими от износа печи. Утечки тока, вызванные износом изоляции печи, приводят к недостаточному выбору электроэнергии и сказываются на качестве карбида кремния.

Разработана система управления активной мощностью печи сопротивления с учетом электрического КПД печи.

Предложена математическая модель печи сопротивления, составленная методом "вход-выход" по массиву измеряемых электрических параметров печи:

$$\begin{cases} \frac{dZ(t)}{dt} = A(t) \cdot Z(t) + B(t) \cdot \Psi(t) \\ y(t) = C(t) \cdot Z(t) \pm \varepsilon_{ДОП}(t) \end{cases}, \quad (1)$$

где:  $Z(t) = \begin{bmatrix} G(t) \\ S(t) \end{bmatrix}$ ;  $A(t) = \frac{1}{T} \begin{bmatrix} -1 & b(t) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ ;  $B(t) = \frac{1}{T} \begin{bmatrix} b(t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ;  $D = \frac{1}{T} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ ;

$$\Psi(t) = \begin{pmatrix} \psi_1(t) \\ \psi_2(t) \end{pmatrix}; C(t) = \begin{bmatrix} U^2 & 0 \end{bmatrix}.$$

В качестве переменной состояния модели (1) выбрана электрическая проводимость печи  $G$ , а в качестве управляющего воздействия - напряжение  $U$ , подводимое от регулируемого трансформатора. Расчет  $G$  осуществляется в соответствии с электрической моделью печи, позволяющей на основе электрических параметров, взятых за несколько моментов времени, вычислить фактическое сопротивление шихты и каркаса печи [1]. Это позволяет оценить электрический КПД печи. Параметры модели  $b(t)$  и  $T$  найдены по экспериментальным данным. В качестве автоматического регулятора мощности применён адаптивный ПИ-регулятор (переменные  $\psi_1(t)$ ,  $\psi_2(t)$ ,  $S(t)$ ), параметры которого рассчитываются рекуррентным методом наименьших квадратов.

Имитационное моделирование (рис.1) позволило оценить погрешность регулирования активной мощности печи, которая составила 4%.

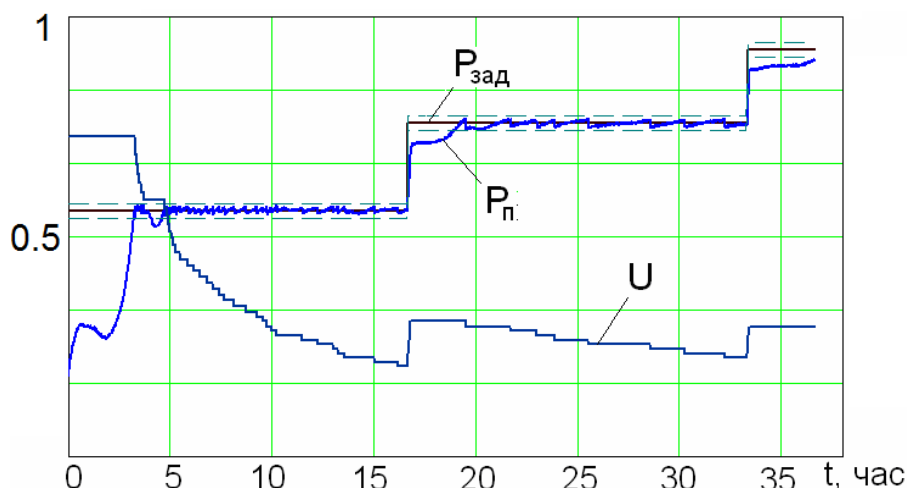


Рисунок 1 - Имитационное моделирование системы управления полезной мощностью печи при ступенчатом плане плавки (представлено в относительных единицах)

Разработанная система управления активной мощностью печи позволяет вести плавку карбида кремния в автоматическом режиме по произвольно заданному плану. Управление с учетом текущего КПД исключает влияние изоляционных характеристик различных печей на ход технологического процесса плавки. Это приводит к более однородному качеству и массовому выходу продукта, что позволяет технологам проводить более точные исследования по разработке новых рецептов шихты и планов плавки.

# ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА ОВЕН

*Бурцев А.Г.,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Современные АСУ ТП строятся по иерархическому принципу и имеют многоуровневую структуру. В АСУ ТП выделяются четыре уровня иерархии: нижний уровень — уровень датчиков и исполнительных механизмов; средний уровень — уровень промышленных контроллеров (ПЛК); верхний уровень — уровень промышленного сервера и сетевого оборудования; оперативный уровень — уровень операторских и диспетчерских станций (SCADA).

В настоящее время обучение студентов основам проектирования SCADA систем и основам программирования ПЛК, ведётся, в основном, при работе с виртуальными технологическими процессами. Наличие в лабораториях ВУЗа реальной многоуровневой АСУ ТП существенно повысит уровень подготовки специалистов в области автоматизации.

На кафедре ВАЭиВТ имеется стенд по изучению частотного электропривода, состоящий из следующих устройств: частотный преобразователь Siemens Micromaster Vector, 0.75 кВт с асинхронным короткозамкнутым двигателем; частотный преобразователь Веспер EI-8300, 1.5 кВт с асинхронным короткозамкнутым двигателем воздушной вентиляции и датчиком расхода воздуха; персональный компьютер с адаптером для интерфейса RS-485. Преобразователи частоты имеют дискретные и аналоговые входы/выходы, а также цифровые интерфейсы RS-485/RS-232 для подключения их в сеть АСУ ТП.

Была поставлена задача усовершенствования учебного стенда путём создания системы автоматизированного управления многодвигательным частотным электроприводом с верхним уровнем.

Дополнительно кафедрой было приобретён программируемый контроллер ОВЕН ПЛК 110-220.К-М с модулями ввода/вывода и панелью оператора. Компания ОВЕН является наиболее популярным и востребованным на данный момент произво-

дителям оборудования для автоматизации в нашей стране. Это обусловлено как бесплатной средой программирования контроллеров ОВЕН – средой CoDeSys, так и качественной технической поддержкой.

При подключении модулей ввода вывода по интерфейсу RS-485 к основному модулю ПЛК образуется система со следующими характеристиками:

Наименование	Количество	Тип сигнала
Дискретные входы (n-p-n/p-n-p)	18	24 В
Дискретные выходы (n-p-n)	14	12-30 В
Аналоговые входы	8	4-20 мА/0-10 В и др.
Аналоговые выходы	8	4-20 мА

Управление скоростью электропривода Siemens возможно аналоговым сигналом (4-20 мА), так как ПЛК ОВЕН не поддерживает интерфейса Profibus, встроенного в ПЧ. Управление скоростью ПЧ Веспер возможна как по аналоговому (4-20мА), так и по интерфейсному каналу (RS-485, Modbus RTU). Реализация функций пуска/останова двигателей осуществляется через дискретные входы частотных преобразователей.

ПЛК имеет на борту несколько интерфейсов, которые предложено использовать следующим образом:

Наименование	Количество
RS-485	Обмен данными с модулями ввода вывода, сенсорной панелью оператора (протокол Modbus RTU)
RS-232	Загрузка пользовательской программы в ПЛК
Ethernet	Обмен данными между SCADA системой и ПЛК

В качестве SCADA системы может быть использована система TRACE MODE, так как в ней имеется драйверная поддержка оборудования ОВЕН.

Незадействованные аналоговые входы/выходы, а также дискретные входы/выходы планируется дополнительно подключить к имитаторам ввода аналоговых и дискретных сигналов.

Разрабатываемый стенд позволит выполнять ряд новых лабораторных работ по дисциплинам «Автоматизированный электропривод», «Промышленные контроллеры»:

- 1) Изучение среды программирования CoDeSys на примере промышленного контроллера ОВЕН ПЛК110.
- 2) Работа с модулями ввода/вывода распределенной системы управления на базе ОВЕН ПЛК110.

- 3) Разработка SCADA системы на базе ОВЕН ПЛК110.
- 4) Разработка системы согласованного управления частотными электроприводами (на примере системы управления пассажирским лифтом).
- 5) Разработка системы автоматического управления расходом воздуха.

## **СТРУКТУРА НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ**

*А.Г. Бурцев, В.И. Капля, В.А. Носенко,  
Волжский политехнический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета*

Управление энергетическими ресурсами необходимо для группы производственных объектов, которые объединены в единый энергетический комплекс со строго регламентированным графиком доступной энергии. Система управления должна обеспечить минимальное расхождение заданного и фактического уровней потребления энергии.

Задача управления энергетическими ресурсами является многопараметрической: она должна учитывать динамические характеристики энергопотребления каждого производственного объекта. Основными характеристиками отдельных производственных объектов являются:

- Текущая и плановая величины потребления энергии.
- Длительности рабочего цикла и интервала между циклами.
- Диапазон управляемой вариации потребления энергии.

Каждый производственный объект должен иметь отдельное звено многослойной НС, на входы которой поступают исходные данные технологического процесса и текущие измерения параметров потребления энергии. Исходные данные изменяются в начале цикла управления конкретного объекта и определяются типом начатого производственного цикла. Структура выходных данных НС можно разбить на две группы в соответствии с их предназначением: сигналы контроля состояния звена НС и сигналы для передачи на входы обобщающего модуля нейронной сети (ОМНС), как показано на приведенном рисунке.

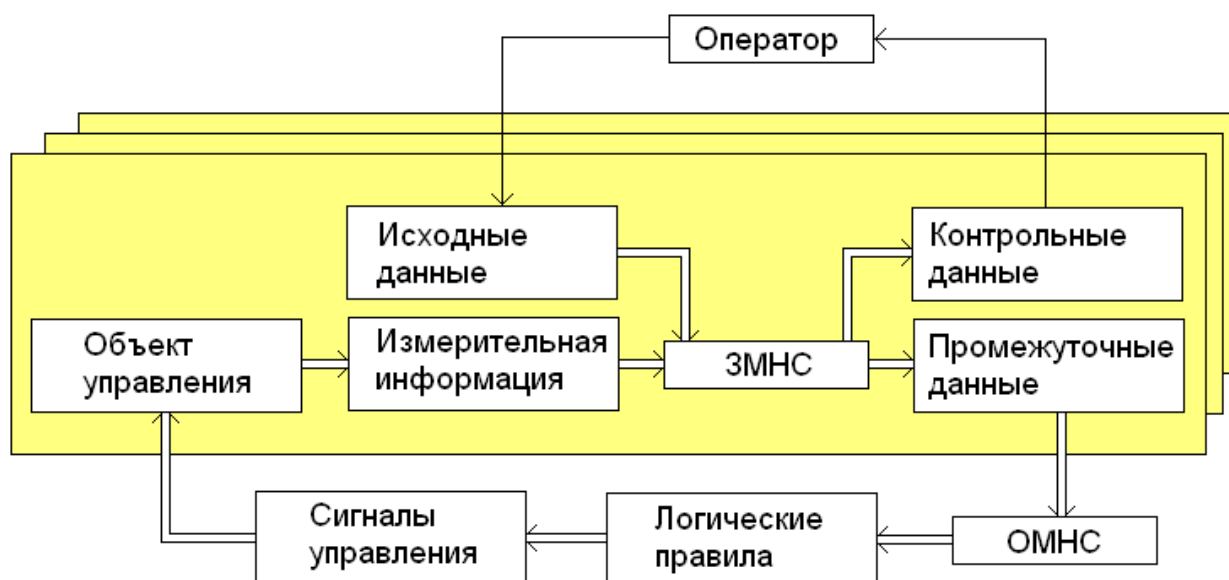


Рис.1. Структура НССУ.

Звенья НС отдельных объектов формируют промежуточные данные для обобщающего модуля НС, который должен формировать сигналы управления для всех объектов системы.

Исходные данные формируются оператором и должны вводиться в начале очередного технологического цикла работы объекта управления. Исходные данные изменяются в случае перехода на производство другой продукции. Контрольные данные создаются для оператора, что бы он мог оперативно проверить корректность работы ЗМНС. На этапе обучения нейронной сети контрольные данные служат основой для коррекции весовых коэффициентов НС. Контрольные данные должны иметь формат списка предлагаемых НС управляющих действий.

Обобщающий модуль НС осуществляет совместную обработку информации о всех объектах системы и формирует для каждой из них управляющие сигналы. Именно эти сигналы фактически распределяют энергетический потенциал между объектами системы. Логические правила анализа сигналов ОМНС необходимы для учета технических возможностей исполнительных элементов системы управления.

Выводы: структура НС должна соответствовать информационной конфигурации объекта управления; входная информация НС образуется множеством исходных данных технологического процесса и текущими измерениями; сигналы управления, формируемые НС, должны ограничиваться в соответствии с логическими правилами технологического процесса.

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВОРОТОМ ЛОПАСТЕЙ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ГИДРОАГРЕГАТА ВОЛЖСКОЙ ГЭС

*Ассистент кафедры ВАЭиВТ Браганец С.А.,  
Научный руководитель - д.т.н, профессор Гольцов А.С,  
Волжский политехнический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета*

В настоящее время происходит техническое переоснащение систем управления гидроагрегатами. Взамен устаревших аналоговых систем вводятся современные комплексы с использованием микропроцессорной техники и систем верхнего уровня. Вычислительные мощности этих систем позволяют реализовывать сложные алгоритмы управления. Однако, в настоящее время даже в переоборудованных системах используются алгоритмы основанные на линеаризованных системах управления. Что и приводит к некачественному регулированию.

Одним из важнейших узлов в системе управления гидроагрегатом является электрогидравлический преобразователь (ЭГП), используемый в подсистемах разворота лопастей рабочего колеса и открытия направляющего аппарата. От данного узла зависит качество отработки управляющего воздействия, поступающих от регулятора мощности и комбинатора САУ ГА. ЭГП изображен на рисунке 1.

Управляющее воздействие в виде электрического сигнала поступает в ЭГП и заставляет двигаться подпружиненный постоянный магнит. Тот, в свою очередь, двигает золотник, регулирующий вход-выход масла. Таким образом, меняются между собой области высокого и низкого давления, что вызывает перемещение поршня сервомотора. Через систему механизмов поршень изменяет угол разворота лопаток РК (рабочего колеса). Контур охвачен обратными связями, т.е. является следящей системой.

Повысить качество управления разворотом лопастей рабочего колеса и открытием направляющего аппарата можно с помощью адаптивной системы управления. Суть метода заключается в том, что в цепь обратной связи системы управления включают обучаемую математическую модель процессов перемещения золотника и штока сервопривода. Математическая модель содержит нелинейные уравнения, описывающие эти

процессы, и учитывает неконтролируемые возмущающие воздействия на объект управления.

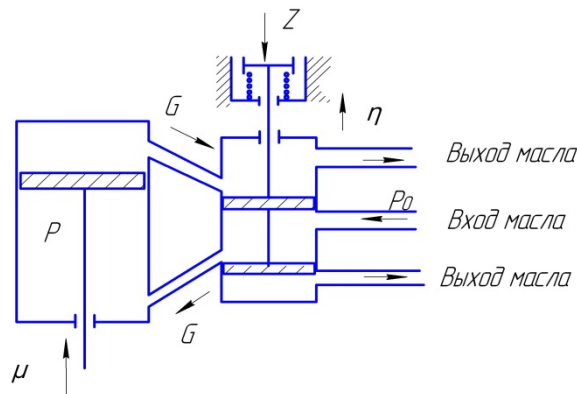


Рисунок 1 - Электрогидравлический преобразователь

Была предложена следующая модель главного золотника с учетом нелинейностей:

$$X_2(t) = a_0 \cdot U(t) - a_1 \cdot \dot{X}_2(t) - a_2 \cdot \ddot{X}_2(t) - a_3 \cdot X_2(t)^2 - a_4 \cdot \dot{X}_{CM}(t) \cdot \dot{X}_2(t),$$

где  $U(t)$  - управляющий сигнал;

$X_2(t)$  - положение золотника;

$\dot{X}_2(t)$  - скорость перемещения золотника;

$\ddot{X}_2(t)$  - ускорение при перемещении золотника;

$\dot{X}_{CM}(t)$  - скорость перемещения штока сервопривода;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  - параметры модели.

Модель сервопривода имеет вид:

$$\dot{X}_{CM}(t) = \sum_{n=0}^6 K_n \cdot X_{CM}(t)^n \cdot X_2(t),$$

где  $K_n$  - параметр модели при соответствующем члене ряда.

С внедрением современных микропроцессорных систем управления «Овация», появилась возможность вести запись технологических параметров в архив. С помощью данных, полученных «Овацией» были обучены модели главного золотника и штока сервопривода. Обучение проводилось одношаговым и рекуррентным методом наименьших квадратов. Лучшие результаты дал рекуррентный метод наименьших квадратов. Результаты обучения представлены на рисунке 2 и 3.



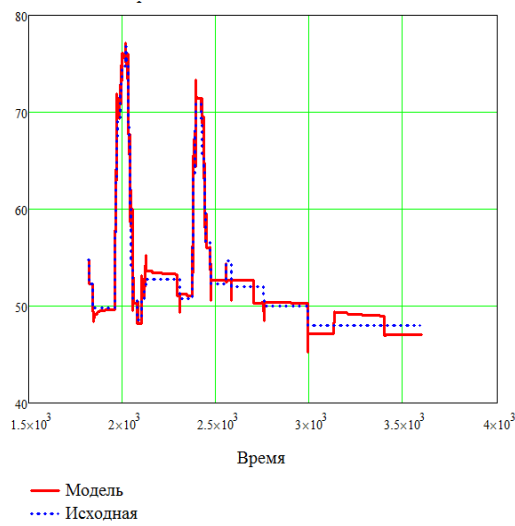


Рисунок 2 – Моделирование перемещения золотника

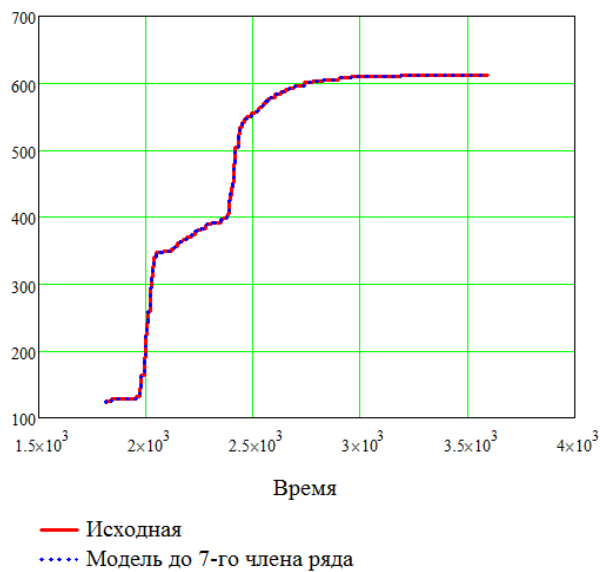


Рисунок 3 – Моделирование перемещения штока сервомотора

Данные модели в дальнейшем планируется использовать для разработки адаптивной системы управления разворотом лопастей рабочего колеса и открытия направляющего аппарата. Данная система позволит улучшить качество управления, снизить погрешность управления и уменьшить износ оборудования.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ КАБИНЫ ВОДИТЕЛЯ ГОРОДСКОГО АВТОБУСА**

*В.Н. Платонов, А. А. Гайдуков,*

*Научные руководители:*

*д.т.н, профессор А.С. Гольцов, к.т.н., доцент А.П. Кулько,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

На российском рынке климатических систем отсутствуют разработчики автоматических систем управления микроклиматом в салоне и кабине водителя коммерческих транспортных средств большого и особо большого класса. Существующие зарубежные аналоги систем автоматического климат-контроля не устанавливаются на отечественные автобусы из-за высокой стоимости и необходимости настройки алгоритмов автоматического управления к тепловым и аэродинамическим характеристикам кузова автобуса.

Температура в кабине определяется теплом, поступающим от фронтальной отопительной установки (ФОУ), а также солнечной энергией извне, проходящей через стеклянные ограждения. В утренние и вечерние часы значения температуры непостоянны по сравнению с дневными, они образуют пики. Ввиду этого расход топлива на обогрев в существующих централизованных системах отопления автобусов не рационален.

Переход на зональную систему регулирования микроклимата позволит получать данные о температуре и других параметрах, необходимых для расчета именно той тепловой мощности, которая необходима в данный момент времени. Для этого используются средства измерения, преобразователи, микропроцессорные средства обработки информации со встроенным программным обеспечением; учитываются гидравлические и тепловые характеристики органов управления тепловым потоком – радиаторов, клапанов, теплообменников.

Разработанная структурная схема автоматической системы управления отоплением кабины приведена на рисунке 1.

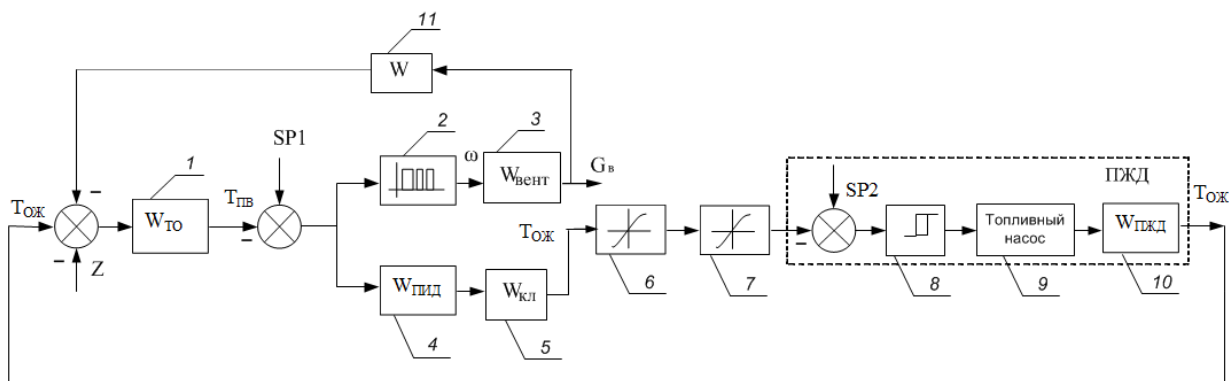


Рисунок 1- Структурная схема АСУ отоплением кабины водителя автобуса

Объектом управления являются автономный жидкостный подогреватель (ПЖД) 1, вентилятор обдува теплообменников в ФОРУ 3, дросселирующие клапаны 5.

Экономия топлива обеспечивается уменьшением нагрузки генератора на двигатель путем ШИМ регулирования мощности привода вентилятора и поддержанием оптимального баланса температуры воздуха в кабине и рабочей температуры двигателя с помощью дросселирующего клапана, регулирующего подачу нагретой охлаждающей жидкости из рубашки охлаждения двигателя и теплообменника гидромеханической автоматической коробки передач в отопитель кабины. В результате чего, поддерживается благоприятная рабочая температура системы охлаждения двигателя, при которой тепловая мощность автономного ПЖД лучше согласуется с потребностями в тепле кабины автобуса, таким образом, уменьшается частота включения топливного насоса автономного, подающего топливо в камеру сгорания ПЖД.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСТОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ НА КОНТРОЛЛЕРАХ

*Доцент кафедры ВАЭ и ВТ Севастьянов Б.Г.,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Цель работы: Рассмотреть особенности реализации чистого запаздывания на контроллерах.

Звено чистого запаздывания используется для введения динамической коррекции или для моделирования динамических свойств объекта управления.

В атомной промышленности, в нефтепереработке и нефтехимии имеются объекты, у которых чистое запаздывание соизмеримо с постоянной времени ОУ, если по каналам использовать динамическую модель в виде звена первого порядка с запаздыванием. В докладе приводится реализация чистого запаздывания применительно к библиотеке алгоритмов контроллера Ремиконт Р-130[9], что не принципиально. Толчком для написания этой статьи явилось изучение, в своё время, и работа на аналоговых машинах[1-8], в которых реализованы идеи, полезные и сегодня. В контроллере Р-130 имеется алгоритм ЗАП, реализующий звено чистого запаздывания. Структура алгоритма представлена на рис.1.

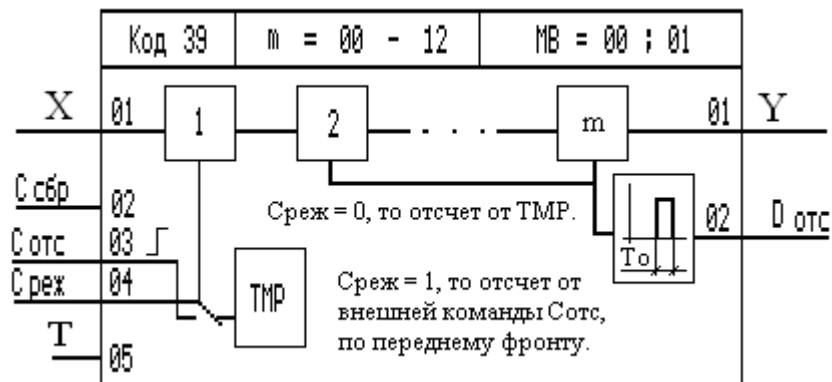


Рисунок 1

То-время цикла контроллера. Команды С сбр, С отс - сброс, отсчет соответственно. Среж - признак работы алгоритма ЗАП. 1, 2, ..., m – ячейки памяти.

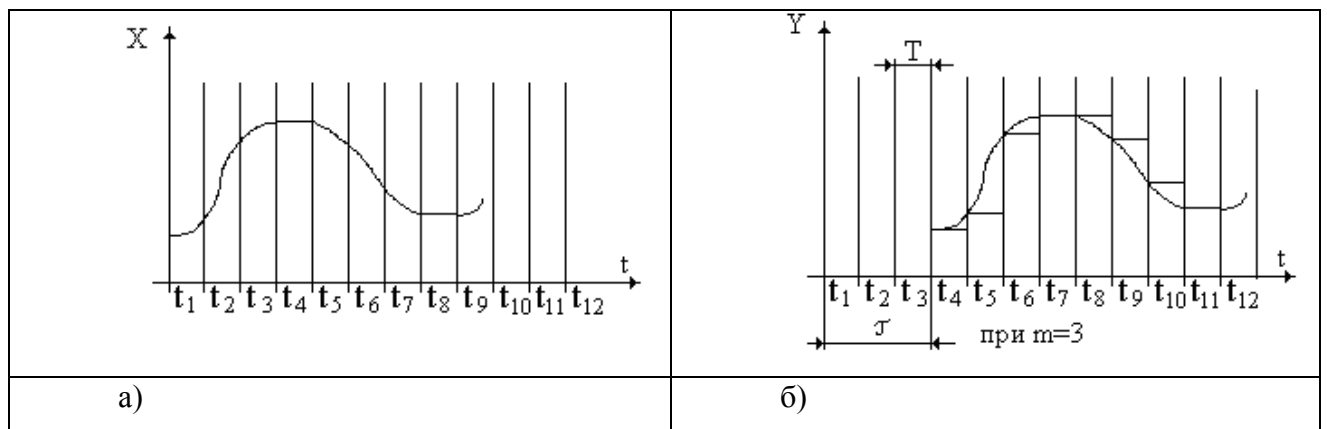


Рисунок 2

Один алгоритм ЗАП содержит несколько (до 12) ячеек памяти. Число этих ячеек  $0 \leq m \leq 12$  и задается модификатором.

По каждой команде отсчета происходит "проталкивание" сигналов через ячейки памяти: в первую ячейку записывается текущее значение входного сигнала  $X$ , значение, ранее записанное в первой ячейке, передается во вторую ячейку, предыдущее значение, записанное во второй ячейке, пересылается в третью ячейку и т.д. Текущее значение последней ячейки является выходным сигналом алгоритма.

Таким образом, текущее значение входного сигнала  $X$  появится на выходе  $Y$  через  $m$  отсчетов. При этом выходной сигнал  $Y$  будет запаздывать относительно сигнала  $X$  на время  $m \cdot T$ , где  $T$  - интервал времени между отсчетами (при условии, что этот интервал постоянен). Если  $m=0$ , то всегда  $Y=X$ . Команда отсчета может поступать либо от внутреннего таймера, либо извне. В последнем случае отсчет осуществляется по переднему фронту команды  $\text{Сотс}$ . Алгоритм имеет дискретный вход  $\text{Среж}$ . Если  $\text{Среж} = 0$ , то управление ведется от внутреннего таймера, если  $\text{Среж} = 1$  - от внешней команды  $\text{Сотс}$ .

В момент отсчета на дискретном выходе  $\text{Дотс}$  на время, равное одному циклу работы контроллера (т.е. на время от 0,2 до 2 с), формируется сигнал  $\text{Дотс}=1$ . В остальное время  $\text{Дотс}=0$ . Этот выход позволяет включать алгоритм ЗАП последовательно, увеличивая время запаздывания без увеличения времени квантования входного сигнала. Для этого выход  $\text{Дотс}$  каждого предыдущего алгоритма ЗАП соединяется с входом  $\text{Сотс}$  каждого последующего алгоритма ЗАП, причем в последующих алгоритмах используется внешнее управление отсчетами.

При управлении от внутреннего таймера интервал времени между отсчетами (период квантования) задается с помощью настроечного входа  $T$ . Значение  $T \leq T_0$  ( $T_0 = 0.2-2$  с - время цикла работы контроллера) алгоритм воспринимает как  $T=T_0$ .

При сигнале "сброс" ( $\text{Ссбр}=1$ ) во все ячейки памяти записывается сигнал на входе  $X$ , при этом  $Y=X$  (т.е. запаздывание отсутствует). Если используется внешнее управление и сигналы  $\text{Сотс}=1$  и  $\text{Ссбр}=1$ , то после снятия сигнала "сброс" происходит однократное проталкивание (т.е. такая ситуация воспринимается алгоритмом как приход переднего фронта сигнала  $\text{Сотс}$ ). Если  $\text{Сотс}=1$ , то осуществляется переход от внутреннего к внешнему управлению (т.е. выполняется переход от  $\text{Среж}=0$  к  $\text{Среж}=1$ ).

При управлении от внутреннего таймера время чистого запаздывания определяется выражением  $t_{\text{зап}} = m \cdot T$ , если  $m = 0$ , то  $Y = X$  и  $\text{Дотс} = 0$ .

Для того, чтобы при сохранении требуемого значения уменьшить период квантования входного сигнала, следует уменьшать время  $T$  и увеличивать значение модификатора  $m$ . На величину чистого запаздывания будет влиять и время цикла контроллера.

лера. Поэтому рассмотрим другой способ представления и реализации чистого запаздывания, а именно, разложением в ряд Пада.

Ряд Пада является быстроходящимся рядом и сравнительно небольшим числом членов ряда[2] можно достаточно точно представить звено чистого запаздывания.. Естественно, в первую очередь используют приближения с помощью дробно-рациональных функций вида, как наиболее универсальных. Разложение  $e^{-p\tau}$  в дробный ряд Пада является известным примером такого подхода. В этом случае получим:

$$K(p) = e^{-p\tau} = \lim_{(\mu+\nu) \rightarrow \infty} \frac{F_{\mu,\nu}(p \cdot \tau)}{G_{\mu,\nu}(p \cdot \tau)}, \quad (1)$$

где

$$F_{\mu,\nu}(p \cdot \tau) = 1 - \frac{\nu \cdot p \cdot \tau}{(\mu + \nu) \cdot 1!} + \frac{\nu \cdot (\nu - 1) \cdot (p \cdot \tau)^2}{(\mu + \nu) \cdot (\mu + \nu - 1) \cdot 2!} + \dots + (-1)^\nu \cdot \frac{\nu \cdot (\nu - 1) \cdot (\nu - 2) \dots 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot (p \cdot \tau)^\nu}{(\mu + \nu) \cdot (\mu + \nu - 1) \dots (\mu + 1) \cdot \nu!}$$

$$G_{\mu,\nu}(p \cdot \tau) = 1 + \frac{\mu \cdot p \cdot \tau}{(\mu + \nu) \cdot 1!} + \frac{\mu \cdot (\mu - 1) \cdot (p \cdot \tau)^2}{(\mu + \nu) \cdot (\mu + \nu - 1) \cdot 2!} + \dots + \frac{\mu \cdot (\mu - 1) \cdot (\mu - 2) \dots 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot (p \cdot \tau)^\mu}{(\mu + \nu) \cdot (\mu + \nu - 1) \dots (\nu + 1) \cdot \mu!}$$

Для  $\mu=\nu=1$  получим  $K(p)$  вида: 
$$K(p) \approx \frac{1 - \frac{p \cdot \tau}{2}}{1 + \frac{p \cdot \tau}{2}}$$

При  $\mu=\nu=2$  получим: 
$$K(p) \approx \frac{\tau^2 \cdot p^2 - 6 \cdot p \cdot \tau + 12}{\tau^2 \cdot p^2 + 6 \cdot p \cdot \tau + 12}$$

Рассмотрим приём (способ) решения дифференциального уравнения, как это делается на аналоговых машинах (АВМ).

Уравнение объекта управления без учета звена чистого запаздывания представим в виде дифференциального неоднородного уравнения с постоянными коэффициентами в следующем виде:

$$T \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t), \quad (2)$$

где  $x(t)$  – входной сигнал;

$y(t)$  – выходной сигнал;

$T$  – инерционность объекта управления, с;

$k$  – коэффициент передачи объекта управления.

Запишем это же уравнение следующим образом:

$$T \cdot \frac{dy(t)}{dt} = k \cdot x(t) - y(t) \quad \text{или} \quad \frac{dy(t)}{dt} = \frac{k}{T} \cdot x(t) - \frac{1}{T} y(t) \quad (3)$$

При этом объект, описываемый подобным уравнением, реализуется с помощью сумматора и интегратора, что проиллюстрировано на рисунке 3.

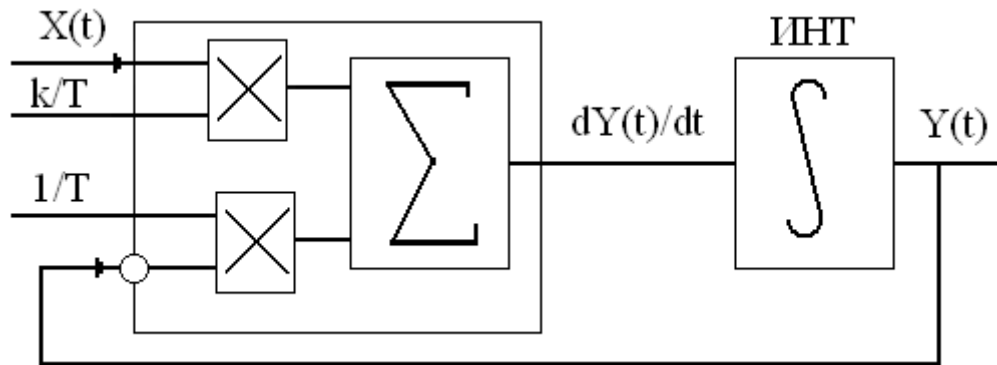


Рисунок 3– Структурная схема решения уравнения (2)

$k/T$  и  $1/T$  – коэффициенты. ИНТ – интегратор.  $\times$  – операция умножения.  $X(t)$  – известная функция внешнего воздействия.  $Y(t)$  – искомая функция.

Данный подход будет использован для реализации чистого запаздывания, передаточная функция которого имеет вид:

$$Wz1(p) = e^{-p \cdot \tau}. \quad (4)$$

Представим чистое запаздывание (1) двумя членами ряда Пада [2]:

$$Wz1(p) \approx Wz2(p) = \frac{\tau^2 \cdot p^2 - 6 \cdot p \cdot \tau + 12}{\tau^2 \cdot p^2 + 6 \cdot p \cdot \tau + 12}, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время чистого запаздывания, с.

Передаточную функцию(5) представим в виде неоднородного дифференциального уравнения:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{d^2 x(t)}{dt^2} - \frac{6}{\tau} \cdot \frac{dx(t)}{dt} + \frac{12}{\tau^2} \cdot x(t) - \frac{6}{\tau} \cdot \frac{dy(t)}{dt} - \frac{12}{\tau^2} \cdot y(t), \quad (6)$$

Один из вариантов структурной схемы для решения уравнения (6) на АВМ представлен в литературе[1, с.318-319]. От уравнения (6) можно перейти к системе уравнений канонической формы[11, с.106-108]. Можно производить преобразования и в операторной форме выражения (5). Пример таких преобразований приведён в литературе[8, с.60-61]. В результате получают структурную схему решения уравнения (6), которая достаточно просто программируется на контроллере на языке FBD.

Предлагаемый подход может быть использован на различных контроллерах в АСУ ТП.

Литература:

1. Анисимов Б.В., Голубкин В.Н. Аналоговые вычислительные машины.- М.:Высшая школа, 1971.-448с.
2. Догановский С.А., Иванов В.А. Устройства запаздывания и их применение в автоматических системах. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
3. Кажичкин С.А., Севастьянов Б.Г. Упредитель Смита в одноконтурных системах автоматического регулирования. Конференция ВФ МЭИ.-2008.
4. Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, Физматгиз, 1963.
5. Корн Г. А., Корн Т. М., Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины, пер. с англ., ч. 1 — 2, М.: 1967.
6. Левин Л., Методы решения технических задач с использованием аналоговых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1966
7. Луценко В.А., Финякин Л.Н. Аналоговые вычислительные машины в химии и химической технологии.-М.: Химия., 1979.-248с.
8. Луценко В.А., Финякин Л.Н. Математическое моделирование химико-технологических процессов на аналоговых вычислительных машинах.-М.: Химия, 1975.-336.
9. Микропроцессорный контроллер Ремиконт Р-130.–М.: НИИТЕПЛО-ПРИБОР, 1990–330с.
10. Севастьянов Б.Г., Асафов К.В. Упредители в системах автоматического регулирования XVII-я межвузовская научно-практическая конференция молодых учённых и студентов (25 мая-2июня).-Волжский, 2011.-с.36-38.
11. Урмаев А. С. Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах.- М.: Наука, 1978.-272с.
12. Шапоров О. М. Техника работы на электронных моделирующих установках. «Энергия», 1967 г. Библиотека по автоматике.



# **АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*Медведева Л.И., к.т.н., доцент кафедры ВАЭ и ВТ,  
Волжский политехнический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета*

Выбор структуры и параметров САУ определяет ее динамические свойства. Устойчивость систем является, как правило, необходимым, но далеко не достаточным условием для того, чтобы система выполняла свое назначение. Возникает задача обеспечения не только устойчивости, но и надлежащего качества САУ и, более того, наилучшего (оптимального) в том или ином смысле, режима функционирования.

Постановка задачи на оптимизацию и ее решение включает в себя ряд этапов:

- выбор и обоснование цели оптимизации;
- согласование цели с имеющимися возможностями, то есть учет ограничений;
- реализация способа достижения цели (экспериментального значения критерия качества) при учете ограничений.

Выбор и обоснование цели оптимизации предусматривают определение критериев качества (целевых функций), которые наиболее полно отражали бы цели оптимизации. Этот этап является одним из основных, так как от правильности выбора критерия качества зависит решение задачи в целом.

Второй этап решения задачи связан с определением ограничений, которые должны учитываться в процессе оптимизации. Смысл этого этапа заключается в том, что часто качество системы характеризуется не одним, а группой показателей качества, поэтому если система оптимизируется по одному показателю качества, то другие могут не достичь такой величины. Следовательно, если выбран какой-либо параметр системы как критерий качества, то на другие показатели качества и варьируемые параметры накладываются ограничения.

При реализации третьего этапа применяется то или иной метод оптимизации, обеспечивающий решение поставленной задачи - достижение экстремального значения критерия качества при учете ограничений.

Наиболее значимым этапом при решении оптимизационной задачи является третий этап. При этом структура выражения функции качества целиком зависит от особенностей математического описания объекта оптимизации, так как функция качества находится из математического описания объекта, которое может быть представлено либо в виде аналитических соотношений, либо в виде алгоритмов. Последняя форма описания практикуется при описании сложных объектов, когда целесообразно применение методов машинного моделирования. Поэтому не всегда удается получить функцию качества в форме явной аналитической зависимости.

В условиях непрерывного дрейфа характеристик объекта алгоритм управления должен быть построен так, чтобы на основе измерения текущих входных и выходных параметров процесса постоянно корректировалось значение основных управляющих воздействий, то есть в алгоритме управления должна активно использоваться получаемая с объекта текущая информация. Кроме того, в алгоритме управления должна быть максимально использована априорная информация об объекте, если она имеется. Возможны и случаи, когда в алгоритме используется только часть априорной информации, позволяющая оценить ситуацию в объекте. Поэтому алгоритмы управления можно разбить на три типа, характеризующиеся различным соотношением применения в них априорной и текущей информации:

- 1) алгоритмы управления, основанные на обработке данных нормального функционирования объекта, то есть использующие только текущую информацию (экстремальные системы управления);
- 2) алгоритмы управления, использующие всю текущую информацию об объекте и часть априорной (адаптивные системы управления);
- 3) алгоритмы управления на основе применения эталонных математических моделей, использующие всю текущую и априорную информацию.

Таким образом, разработка и исследование алгоритма текущего оптимального управления подразумевает синтез алгоритмов всех трех типов для технологического процесса и выбора из них наиболее эффективного.

Основным критерием оценки алгоритма управления (то есть, хорош он или плох) является его работоспособность - это отношение потерь, образующихся при применении этого алгоритма, к потерям, образующимся в режиме жесткой стабилизации:

$$\eta = \frac{G_y}{G_c},$$

где  $\eta < 1$  - алгоритм признается работоспособным и целесообразным;

$\eta = 1$  - алгоритм работоспособен, но не целесообразен;

$\eta > 1$  - алгоритм не работоспособен.

В режиме жесткой стабилизации экстремум статической характеристики жестко фиксируется на оси  $X$  (Рис. 1), где:

- кривая 1: статическая характеристика при  $x = x_0$ ;
- кривые 2 и 3: статические характеристики, возможные при дрейфе выходного сигнала.

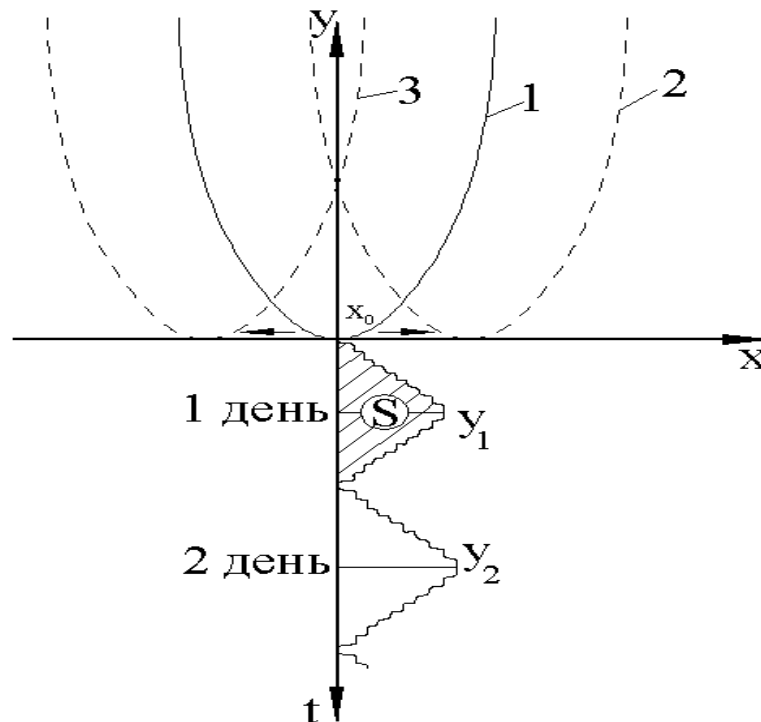


Рисунок 1

Дрейф может возникать при искажениях входного параметра, при вибрации подвижных частей приборов в системе управления и т.п.

В течение первого дня потери при жесткой стабилизации постепенно возрастают. При внесении нового стабилизирующего воздействия, они постепенно снижаются до нуля. Но продолжающийся дрейф приводит к новому изменению характеристики. Таким образом, потери при стабилизации представляют собой функцию от площади под кривой временной характеристики:  $G_c = f(S)$ .

В сумме  $G_c$  складывается из потерь от дрейфа статической характеристики объекта ( $G_1$ ) и потерь от флуктуации входного управляющего воздействия ( $G_2$ ) (Рис.2):

$$G_c = G_1 + G_2.$$

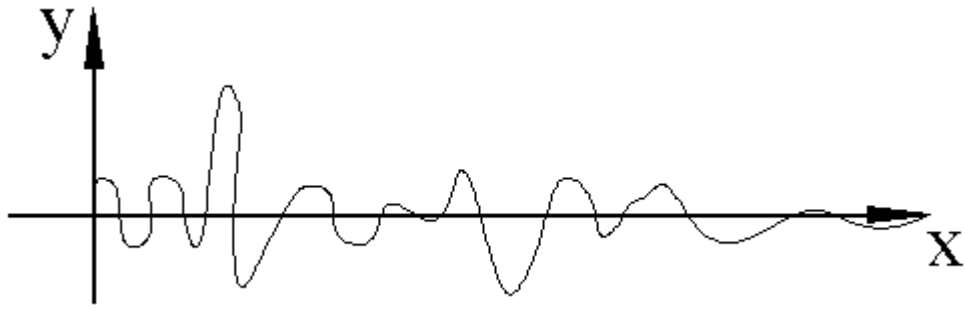


Рисунок 2

Дисперсия случайного процесса определяется формулой:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2,$$

где N - число замеров или воздействий на управляемый объект;

$$M_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i - \text{математическое ожидание входного сигнала.}$$

Так как статическая характеристика объекта - это парабола, то она описывается уравнением:

$$Y = Ax^2, \quad (*)$$

где A - коэффициент параболы, который определяет ее крутизну.

Из уравнения (\*) следует, что  $\sigma_y^2 = A \cdot \sigma_x^2$  и  $G_1 = A \cdot \sigma_{dp}^2$ ,  $G_2 = A \cdot \sigma_x^2$ .

$$\text{Тогда: } G_c = A(\sigma_x^2 + \sigma_{dp}^2).$$

В режиме оптимального управления потери складываются следующим образом (Рис. 3):

$$G_y = G_2 + G_3 + G_4,$$

где  $G_2 = A \cdot \sigma_x^2$  - потери от флуктуации управляющего воздействия;

$G_3 = \alpha \cdot T_y \cdot A \cdot \sigma_{dp}^2$  - потери от остаточного дрейфа  
( $\alpha$  - скорость дрейфа;  $T_y$  - период управления);

$G_4 = \frac{S}{N-2}$  - потери от неточности идентификации

( $S = \frac{\sigma_{ном}^2}{\sigma_x^2}$  - уровень помехи;

N - количество измерений при идентификации).

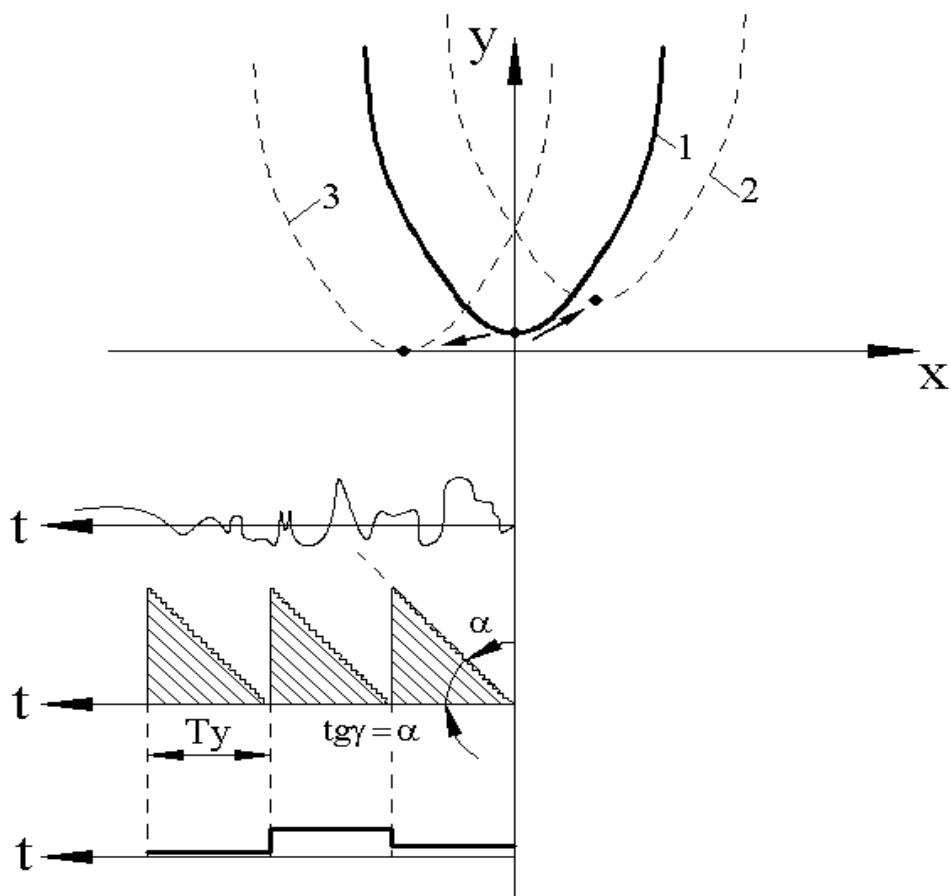


Рисунок 3

**АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ПОСЕЩАЕМОСТИ И ФАКТОРОВ,  
ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЙТИНГ ВЕБ-САЙТА  
ВПИ (ФИЛИАЛ) ВОЛГГТУ В ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ**

*Д. Н. Лясин, С. Г. Саньков, М. В. Петров, А. И. Тыртышный,  
Волжский политехнический институт (филиал)  
Волгоградского государственного технического университета*

Стремительное развитие Интернета за последнее десятилетие резко увеличило количество информации и её доступность. Однако, как показывает многолетнее наблюдение за действительностью Рунета, вопросы качества предоставления контента и по сей день остаются в стороне. Именно это свойство веб-ресурса в наибольшей степени определяет позицию выдачи его в поисковых системах. Понимание основ механизмов

индексации, используемых современными поисковыми системами, поможет сотрудникам ВПИ (филиал) ВолгГТУ выстроить правильную стратегию позиционирования своих услуг на рынке, поскольку задача создания качественной информации носит, по сути, коллективный характер.

В основе ранжирования веб-сайтов лежит та или иная модификация технологии PageRank, опубликованной в 1998 году основоположниками Google — Сергеем Брином и Ларри Пейджем (1).

$$PR(A) = (1-d) + d (PR(T_1)/C(T_1) + \dots + PR(T_n)/C(T_n)), \quad (1)$$

где  $A$  — страница, вес которой нужно определить;

$T_1, T_2, \dots, T_n$  — страницы, содержащие в себе ссылки на страницу  $A$ ;

$PR(x)$  — функция определения веса страницы;

$C(x)$  — количество ссылок со страницы  $x$  на страницу  $A$ ;

$d$  — коэффициент затухания (в диапазоне от 0 до 1).

Смысл данного подхода заключается в определении значимости страницы в зависимости от количества ссылок на неё из других источников, вес которых тоже учитывается. [1]

При ранжировании страницы в результатах выдачи (определении релевантности) учитывается также плотность ключевых слов, указанных в запросе.

Комплекс мер по поднятию позиций сайта в результатах выдачи поисковых систем по определённым запросам пользователей называется поисковой оптимизацией (SEO — англ. Search Engine Optimization).

Естественная оптимизация позволяет путём анализа поведения потребителей добиться максимальной отдачи от сайта, а именно возрастания целевой посещаемости, популярности ресурса среди пользователей Интернета и рейтинга в поисковых системах.

Вычислительным центром ВПИ (филиал) ВолгГТУ был предпринят комплекс мер по оптимизации сайта, включающий в себя следующие пункты:

- улучшение видимости сайта [роботами поисковых систем](#);
- совершенствование удобства сайта для посетителей — [юзабилити](#);
- совершенствование текстов на сайте — [контента](#) для формирования [семантического ядра](#);
- анализ [запросов](#), связанных с поиском образовательных услуг;
- поиск сайтов родственной тематики для создания [конкурентного](#) преимущества.

Благодаря грамотной корректировке контента сайта, его настройке под поисковые системы, улучшению навигации сайта и постоянному анализу пользовательских запросов — [веб-сайт volpi.ru](http://volpi.ru) становится более посещаемым, интересным и удобным для пользователя. В естественной оптимизации ключевую роль сыграло развитие функциональности ресурса (то есть, увеличение сложности [системы](#)) и удобства пользователей ([юзабилити](#)).

Так, в результате постоянной работы над улучшением качества контента и его представления, нам удалось увеличить посещаемость сайта в среднем в полтора раза в сравнении с прошлым годом: 23 600 визитов в декабре 2011 года (против 16 300 в 2010 г.). Вместе с тем, выросло и количество посетителей: 8300 (против 6200 в 2010 г.). Также наблюдается заметное снижение среднего времени пребывания на сайте с 12-ти до пяти минут при неизменном соотношении количества просмотренных страниц за одно посещение (3,65) и показателя отказов (37 %), что косвенно указывает на ускорение поиска информации посетителями. При этом доля новых посетителей за декабрь 2011 г. по сравнению с таким же периодом позапрошлого года составила 22 %.

Большую популярность среди студентов заимел созданный в прошлом году раздел заочного отделения: [volpi.ru/zo/](http://volpi.ru/zo/), имеющий 2200 просмотров за последний месяц (около 3 % от общего числа просмотров).

55 % пользователей веб-сайт [volpi.ru](http://volpi.ru) получает из поисковых систем (преимущественно, «Яндекса» — 65 %) по ключевым словам в порядке убывания числа посещений: «впи», «впи волжский», «волжский политехнический институт», «[volpi.ru](http://volpi.ru)», «волпи», «впи официальный сайт», «впи расписание», «дудин впи» и т. д. Самый большой процент рефералов приходит из социальной сети «ВКонтакте» (28 %), социальной сети «Mail.ru» (26 %), городской компьютерной сети Powernet (7 %) и с сайта ВолгГТУ (4 %).

Ещё одним направлением развития сайта ВПИ стало повышение его рейтинга в системах узкорпорпоративного ранжирования сайтов, в частности, в системе Webometrics. Рейтинг Webometrics стал с недавних пор одним из популярнейших и авторитетных инструментов ранжирования вузов всего мира. При этом составитель — организация Cybermetrics Lab, базирующаяся в Испании, — позиционирует свой рейтинг как оценку использования веб-технологий и результатов научно-исследовательской и образовательной деятельности лучших вузов мира.

Формула подсчёта итогового значения в рейтинге Webometrics выглядит следующим образом (2):

$$Q = 4V + 2S + 1R + 1Sc, \quad (2)$$

где  $Q$  — значение результирующего показателя (рейтинга) для  $j$ -го вуза;

$V$  (visibility) — место  $j$ -го вуза в ранжировке по числу уникальных внешних ссылок на страницы официального интернет-сайта вуза в системах Yahoo Search, Live Search и Exalead;

$S$  (size) — место  $j$ -го вуза в ранжировке по числу страниц официального интернет-сайта вуза, покрываемых поисковыми системами Google, Yahoo, Live Search и Exalead;

$R$  (rich files) — место  $j$ -го вуза в ранжировке по числу «ценных» файлов, размещённых на официальном интернет-сайте вуза. К числу ценных отнесены файлы Adobe Acrobat (.pdf), Adobe Postscript (.ps), Microsoft Word (.doc), Microsoft PowerPoint (.ppt);

$Sc$  (scholar) — место  $j$ -го вуза в ранжировке по числу страниц и ссылок на официальный интернет-сайт вуза в системе Google Scholar.

В июле 2011 года сайт Волжского политехнического института занимал в рейтинге Webometrics 10226 место среди всех мировых вузов. Анализ основных составляющих обобщённого рейтинга вуза позволил определить основные направления развития сайта для улучшения его позиции. Ими стали в ряду прочих: увеличение англоязычного контента на сайте, постоянное поддержание его в актуальном состоянии, интенсификация публикаций учебно-методических и научных материалов преподавателей и сотрудников института, а также материалов курсовых и дипломных работ студентов, принятие программ по обмену ссылками с организациями-партнерами.

Рейтинг Webometrics обновляется каждые полгода, что не даёт возможности непрерывно наблюдать за влиянием изменений контента ресурса на величину рейтинга, однако, направленность развития сайта позволяет надеяться на улучшение позиции и, что не менее приоритетно, на развитие современной реальной среды передачи и обмена знаниями в вузе на базе сайта института.

Список используемой литературы:

1. Sergey Brin, Lawrence Page. [The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine](#). — 1998.



# СТРУКТУРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДЪЕМА ВОДЫ

*Матвеева В.В.,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Задачей работы является исследование возможности построения ветроустановки для подъема воды из скважины без промежуточного преобразования энергии ветра в электрическую.

С учетом требуемой глубины скважины до 60 м и сравнительно низкой скорости вращения ветряного двигателя возможные варианты ограничены плунжерными и винтовыми типами насосов. Однако плунжерные насосы весьма чувствительны к примесям грунта в воде, в смысле быстрого выхода из строя, в связи с чем основное внимание было уделено винтовым насосам.

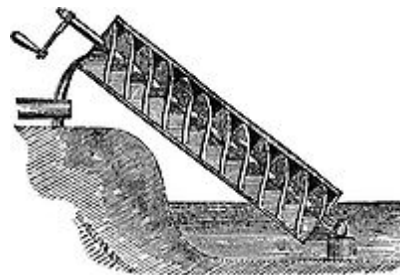


Рисунок 1. Винт Архимеда

Данный тип насосов известен с древних времен, примером чего может служить архимедов винт, изображенный на рис. 1.

Преимущества винтовых насосов:

- Ровный не пульсирующий поток на выходе;
- Пропорциональная перекачка;
- Возможность создавать большое давление;
- Перекачивание суспензий без нарушения структуры и разрушения включений;
- Перекачивание жидкостей с абразивными включениями и высоким содержанием сухого вещества без износа;
- Неприхотливость насоса в эксплуатации;
- Простая конструкция.

На рис. 2 показана схема винтового насоса с приводом на устье скважины фирмы «Гриффин» (<http://neftandgaz.ru/?p=753>). На устье скважины находится двигатель (газовый, электрический, гидравлический), который через редуктор вращает штанго-

вую колонну и ротор винтового насоса по часовой стрелке. Такие насосы нашли применение на нефтяных месторождениях.

Условия применения:

Производительность до  $185 \text{ м}^3/\text{сут}$

Глубина подачи до 1830 м

Удельная плотность нефти не ниже 0,82

Содержание воды любое

Содержание песка любое

Забойная температура не выше  $107^\circ\text{C}$

История отечественных винтовых штанговых насосных установок (ВШНУ) начинается в 50-е годы XX века от выпускавшихся в СССР установок винтовых артезианских насосов типа ВАН для откачки воды из неглубоких (до 100 м) скважин с приводом через соборанный из штанг трансмиссионный вал, вращающийся в радиальных резинометаллических опорах внутри напорного трубопровода.

ВШНУ включают в свой состав наземное и скважинное оборудование.

Наземное оборудование ВШНУ устанавливается на трубной головке скважины и предназначено для преобразования энергии приводного двигателя в механическую энергию вращающейся колонны штанг.

Наземное оборудование состоит из:

- тройника для отвода пластовой жидкости;
- приводной головки;
- рамы для крепления приводного двигателя;
- трансмиссии;
- приводного двигателя с устройством управления;
- устройства для зажима (подвески) полированного штока.

Приводная головка предназначена для передачи крутящего момента колонне штанг, восприятия осевых нагрузок от веса штанг и гидравлической силы в рабочих органах насоса, уплотнения устья скважины.

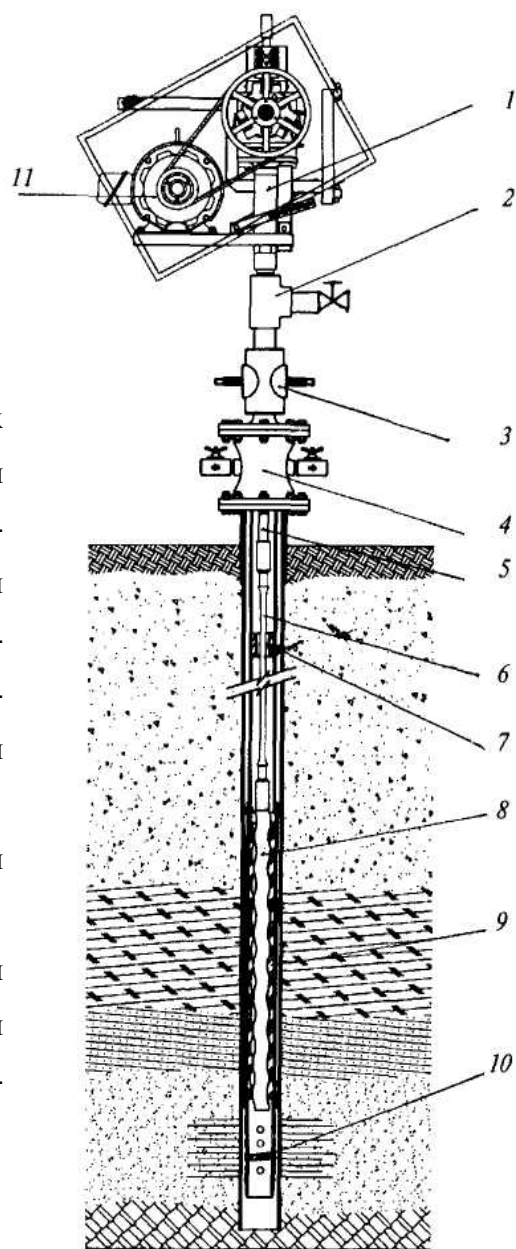


Рис. 2

- 1 — приводная головка;
- 2 — тройник-отвод;
- 3 — превентор; 4 — трубная головка; 5 — полированный шток; 6 — штанга; 7 — центратор; 8 — ротор; 9 — статор; 10 — палец; 11 — электродвигатель

Конструктивно приводная головка выполнена на базе корпуса, устанавливаемого на тройник-отвод посредством фланцевого или резьбового соединения. Внутри корпуса, заполненного маслом, на подшипниках качения располагается приводной вал, связанный с ведомым шкивом силовой передачи. В качестве упорного подшипника, воспринимающего осевую нагрузку, используются конический или сферический роликовые подшипники. Для уплотнения вращающегося приводного вала или полированного штока служит одинарное или вдвоенное сальниковое устройство с использованием уплотнительных колец или мягкой набивки.

Для предотвращения обратного вращения колонны штанг после остановки приводного двигателя приводная головка оснащается тормозным устройством механического или гидравлического типа. Это устройство необходимо для восприятия момента кручения от колонны насосных штанг и не допускает отворота резьб штанг и обратного вращения, как самой колонны штанг, так и элементов приводной головки и трансмиссии.

В отдельных компоновках ВШНУ для удобства обслуживания установки под приводной головкой устанавливается дополнительный сальник или плащечный превентор. Первый служит для замены основного сальника без остановки насоса, что особенно актуально в зимних условиях эксплуатации ВШНУ, второй — для герметизации устья скважины при ремонте поверхностного оборудования.

В ряде моделей ВШНУ зарубежных фирм приводная головка снабжается ограничителем крутящего момента.

Рама под приводной двигатель при использовании клиноременной силовой передачи оснащается устройством натяжения ремней.

Зажим полированного штока, как правило, осуществляется двумя полухомутами, внутренняя цилиндрическая поверхность которых закрепляется со штоком с помощью четырех или шести болтов, а наружная профилированная поверхность (например, прямоугольная) вставляется в ступицу приводного вала.

Конструкция винтового насоса представлена на рис. 3 и состоит из ротора (рис. 3, а) в виде простой спирали (винта) с шагом  $l_p$  и статора (рис. 3, б) в виде двойной спирали с шагом  $l_c$ , в два раза превышающим шаг ротора, т.е.  $l_c = 2 l_p$ .

Основными параметрами винтового насоса являются диаметр ротора  $D$ , длина шага статора  $l_c$  и эксцентриситет  $e$ . Полости, сформированные между ротором и статором, разделены. При вращении ротора эти полости перемещаются как по радиусу, так и по оси. Перемещение полостей приводит к проталкиванию жидкости снизу вверх, поэтому иногда

этот насос называют насосом с перемещающейся полостью. Ротор представляет собой однозаходный винт с плавной нарезкой и изготавливается из высокопрочной стали с хромированным или иным покрытием против истирания.

Статор представляет собой двухзаходную винтовую поверхность с шагом в два раза большим, чем шаг винта ротора, изготавливается из резины или пластического материала и устанавливается в корпусе насоса. К материалу для статора предъявляются достаточно жесткие требования.

В любом поперечном сечении статора лежит круг, а центры этих кругов лежат на винтовой линии, ось которой является осью вращения ротора.

В любом поперечном сечении ротора круговое сечение смещено от оси вращения на расстояние  $e$ , называемое эксцентриситетом. Поперечные сечения внутренней полости статора, а вдоль оси одинаковы, но повернуты относительно друг друга; через расстояние, равное шагу статора  $l_{ст}$ , эти сечения совпадают.

Сечение внутренней полости статора представляет собой две полуокружности с радиусом, равным радиусу сечения ротора, центры которых (полуокружностей) раздвинуты на расстояние  $4e$ . При вращении ротора он вращается вокруг собственной оси; одновременно сама ось ротора совершает вращательное движение по окружности диаметром  $2e$  (см. рис. 4).

Спиральный гребень ротора по всей его длине находится в непрерывном контакте со статором; при этом между ротором и статором образуется полость, площадь сечения которой равна произведению диаметра ротора  $D$  на расстояние  $4e$ , а осевая длина этой полости равна шагу статора  $l_{ст}$ . Эта полость заполнена откачиваемой продукцией скважины, и при повороте ротора на один оборот продукция перемещается вдоль его оси на расстояние  $l_{ст}$ .

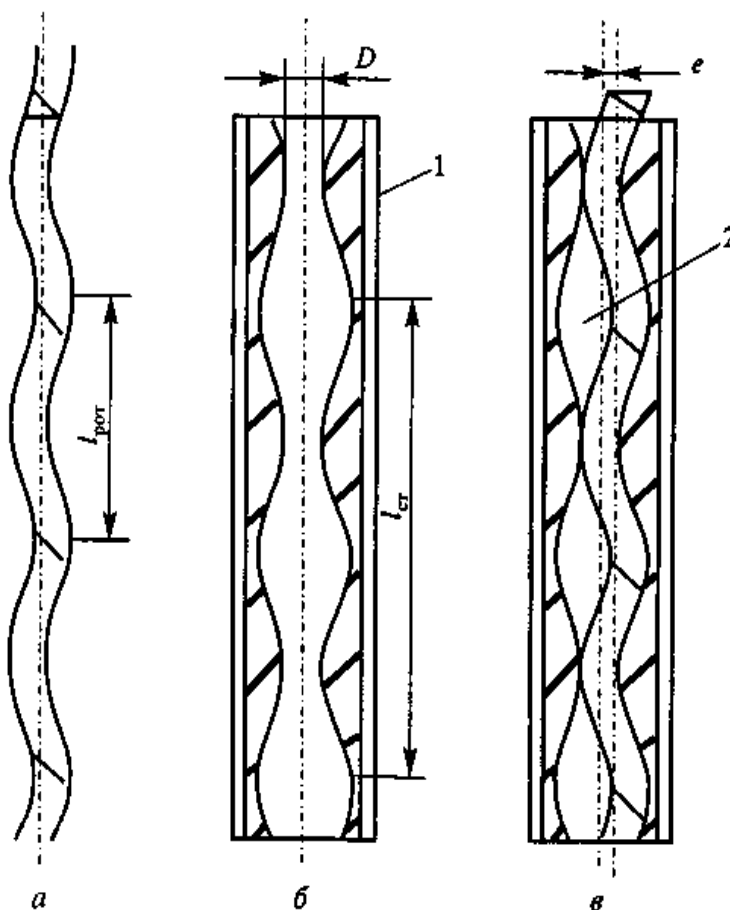


Рис. 3 Винтовой насос:  $a$  — ротор;  $b$  — статор;  $в$  — насос в сборе; 1 — корпус насоса; 2 — полость между статором и ротором

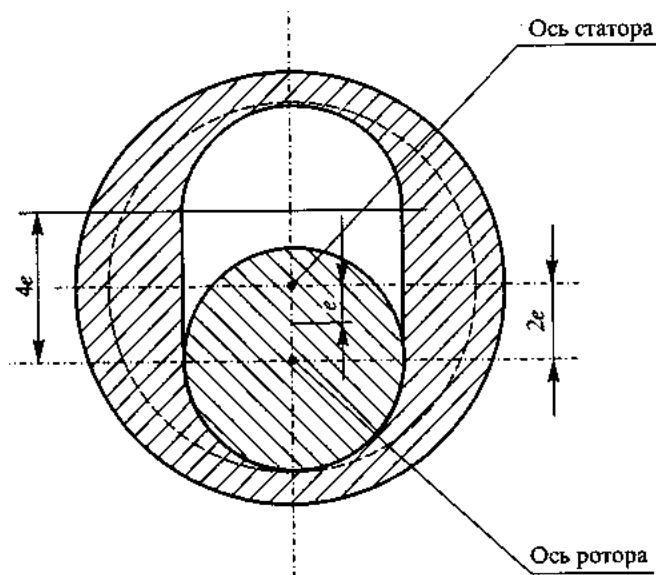


Рис. 4. Поперечное сечение статора и ротора винтового насоса

Спиральный гребень ротора по всей его длине находится в непрерывном контакте со статором; при этом между ротором и статором образуется полость, площадь сечения которой равна произведению диаметра ротора  $D$  на расстояние  $4e$ , а осевая длина этой полости равна шагу статора  $l_c$ . Эта полость заполнена откачиваемой продукцией скважины, и при повороте ротора на один оборот продукция перемещается вдоль его оси на расстояние  $l_c$ . Таким образом, фактическая суточная подача ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ) винтового насоса

$$Q = 4eD l_c n, \text{ или}$$

$$Q = 60 \cdot 24 \cdot 4eD l_c n \eta$$

$$Q = 11520 eD l_p n \eta,$$

где  $e$  — эксцентриситет, м;  $D$  — диаметр ротора, м;  $l_c, l_p$  — соответственно шаг статора и ротора, м;  $n$  — число оборотов ротора, 1/мин;  $\eta$  — коэффициент подачи установки, д.ед.

На рис. 5 для примера приведены характеристики насоса ЭВНТ5А-100-1000 при его работе на воде и на жидкости с вязкостью - 140мПа·с.

Откачка вязкой жидкости сопровождается снижением утечек жидкости через линии контакта гребня ротора с поверхностью статора, и при одинаковом напоре  $H$  подача жидкости  $Q$  возрастает. Характеристики винтового насоса позволяют применять его в определенном диапазоне высот подъема (напора) и подач (аналогично погружному центробежному насосу) при допустимом КПД.

Одной из проблем эксплуатации ВШНУ является большая величина пускового момента, обусловленная высокими моментами инерции ротора.

Один из путей ее решения – добавление в конструкцию муфты сцепления между двигателем и штанговой колонной, позволяющей двигателю набрать мощность в режиме близком к холостому ходу, а уже затем передать ее на ротор ВШНУ.

Для установок небольшой мощности, как вариант, можно предложить ручной запуск при помощи спицы перпендикулярной оси штанги. Собственно такая же проблема и у большинства известных ветровых двигателей.

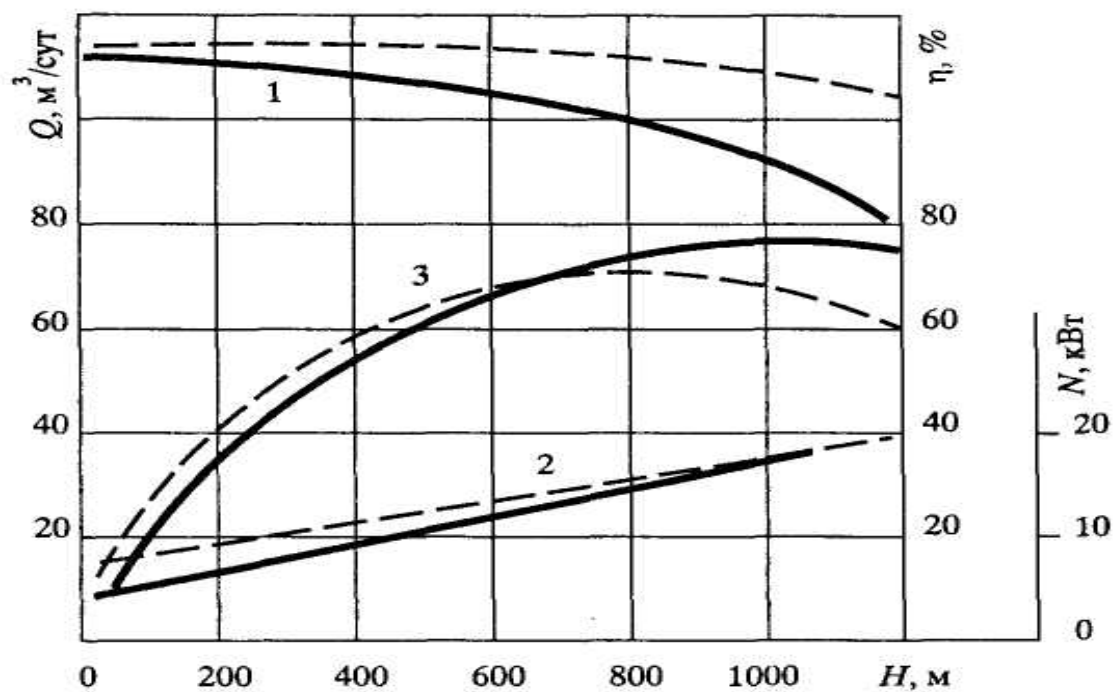


Рис. 5. Характеристики погружного винтового насоса ЭВНТ5А-100-1000:  
1 — подача  $Q$ ; 2 — потребляемая мощность  $N$ ; 3 — КПД

□ — вода; □ — жидкость вязкостью 140 мПа·с

ВШНУ серийно выпускается промышленностью, правда, исключительно для нужд нефтедобывающей отрасли (например, <http://allpumps.ru/catalog/vint.php>).

Но поскольку винтовые насосы работают в широком диапазоне вязкости перекачиваемой жидкости, каких-либо затруднений по применению их для подачи воды из глубоких скважин возникнуть не должно.

# ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗА СОДЕРЖАНИЕМ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА

*А.С. Гольцов, Е.Ю. Абраменкова,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

ОАО "Волжский Оргсинтез" – одна из крупнейших в Европе химических компаний. Завод производит широкую гамму продукции базовой химии, включая: кормовой метионин, N-метиланилин, резиновые ускорители и сероуглерод. При этом сероуглерод является одним из основных компонентов для всех производств завода.

Сероуглерод – прозрачная легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость, с неприятным запахом. Под действием света разлагается, продукты разложения имеют желтый цвет и отвратительный запах. Хранить сероуглерод следует под слоем воды в герметичной емкости при температуре не выше 40 С. Опасным проявлением является способность разлагаться с образованием серооксида углерода, не совместим с окислителями. Смертельная доза сероуглерода при поступлении внутрь составляет 1 г. Высокотоксичная концентрация в воздухе – свыше 10 мг/л. Оказывает местное раздражающее, резорбтивное действия. Обладает психотропными, нейротоксическими свойствами, которые связаны с его наркотическим воздействием на центральную нервную систему.

Сероуглерод получается синтезом природного газа и серы. Расплавленная сера с метаном поступает в печь синтеза, а затем в реакторы, где при температуре  $635 \pm 45$  °С происходит превращение серы и метана в сероуглерод по реакции:

$$CH_4 + 2S_2 \rightarrow CS_2 + 2H_2 + S.$$

Сероуглерод абсорбируется керосином-растворителем, далее десорбируется и после очистки в отделе сероуглерода, дистилляционной колонне и отмывки водой направляется на склад, откуда расходуется на заводские нужды и отправляется как товарный продукт.

В процессе производства сероуглерода осуществляется выброс в атмосферу большого количества вредных веществ, содержащих примеси серы, поэтому необходим тщательный мониторинг состояния окружающей среды на производстве и за его преде-

лами. Так как завод расположен неподалёку от города с населением более 300 тысяч человек.

Таким образом, встаёт остро проблема мониторинга за содержанием вредных веществ в отработанных газах при производстве сероуглерода.

В настоящее время, мониторинг за отработанными газами, содержащими примеси серы, осуществляется периодически, путём анализа взятых проб, а не непрерывно. Что не позволяет добиться минимального содержания вредных веществ в отработанных газах, которые поступают в атмосферу.

С другой стороны в различных отраслях химической промышленности применяются следящие системы, которые позволяют производить непрерывный контроль за определёнными параметрами химических процессов.

Поэтому является важным разработать непрерывную следящую систему мониторинга за содержанием вредных веществ в отработанных газах при производстве сероуглерода.

Список литературы:

1. <http://www.zos-v.ru/> официальный сайт ОАО "Волжский Оргсинтез". Гольцов Сурганова.
2. Пеликс А.А., Аранович Б.С., Петров Е.А., Котомкина Р.В. Химия и технология сероуглерода. Издательство: Химия – 1986 225 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗНАКОМИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ**

Е.Г. Казакова,

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Повышение квалификации преподавательского состава – актуальная проблема. Повышать квалификацию можно различными способами. Как один из способов – ознакомительная практика на предприятиях города. Существует система договоров с предприятиями города о предоставлении возможности прохождения производственной практики для студентов института. Если внести в этот договор пункт о предоставлении



возможности прохождения ознакомительной практики для преподавательского состава, то это позволит использовать данную практику как Курсы повышения квалификации преподавателя, а также ознакомиться со структурой производственного предприятия. Такая информация необходима для составления темы и технического задания на выпускную работу. Зачастую, постановка темы и технического задания является сочинением, далеким от реального процесса предприятия, так как руководитель выпускной работы не знает структуры и особенностей производства. А это, в свою очередь, отражается на качестве выпускных работ.

Необходимо обеспечить взаимодействие производственных предприятий города и преподавательского состава института для ознакомления с производственными процессами, хотя бы в качестве ознакомительной практики. В первую очередь такую практику необходимо организовывать для преподавателей, проводящих (ответственных) производственную практику.

Результаты такой практики можно оформлять в виде списка производственных процессов с актуальными вопросами, согласованного с учебными центрами предприятия, поддерживающими производственную практику студентов на данном предприятии. Это позволит качественно формулировать темы выпускных работ по данному предприятию и, соответственно, качественно улучшить выпускные работы.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРВОМОТОРА НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОАГРЕГАТА**

*Ассистент кафедры - ВАЭ и ВТ Савчиц А.В.,*

*Научный руководитель - д.т.н, профессор Гольцов А.С,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Гидроагрегаты и сопутствующее им оборудование, на Волжской ГЭС, эксплуатируется с 60-х годов прошлого века. Конечно, гидроагрегаты проходят плановый текущий и капитальный ремонт, но некоторые узлы остаются неизменными с первого ввода гидроагрегатов в эксплуатацию.

К одним из таких узлов относится система управления открытием лопастей направляющего аппарата. Столь долгий срок эксплуатации оборудования вызывает износ, тем самым повышая вероятность отказа всей системы управления направляющим аппаратом, и может привести к остановке гидроагрегата или к серьезной аварии.

В настоящее время на гидроагрегатах установлена современная АСУ агрегатом ПТК "Овация", которая помимо управления осуществляет запись всех параметров гидроагрегата в архив. Часть данных, таких как, ход штока сервомотора, положение главного золотника сервомотора, сигнал управления сервомотором предлагается использовать для разработки системы диагностики системы управления направляющим аппаратом.

Систему диагностики предлагается реализовывать двумя альтернативными методами:

1. С использованием диагностических карт Шьюхарда. Данные карты строятся на основе статистических данных, которые накапливаются в ходе процесса;
2. С помощью математических моделей построенных в пространстве состояний.

В первом случае прогнозирование осуществляется по отклонению среднеарифметического значения измеряемого параметра от его математического ожидания (с учетом технологических границ).

Во втором случае прогнозирование осуществляется по отклонению измеряемого параметра от значения этого же параметра полученного по разработанной модели.

На данном этапе разработана математическая модель сервомотора и главного золотника направляющего аппарата. Модели разработаны на основе второго закона Ньютона с учетом присутствующих нелинейностей в рассматриваемых объектах.

Модель главного золотника с учетом нелинейностей имеет вид:

$$X_2(t) = a_0 \cdot U(t) - a_1 \cdot \dot{X}_2(t) - a_2 \cdot \ddot{X}_2(t) - a_3 \cdot X_2(t)^2 - a_4 \cdot \dot{X}_{CM}(t) \cdot \dot{X}_2(t).$$

где  $U(t)$  - сигнал управления;

$X_2(t)$  - положение золотника;

$\dot{X}_2(t)$  - скорость перемещения золотника;

$\ddot{X}_2(t)$  - ускорение при перемещении золотника;

$\dot{X}_{CM}(t)$  - скорость перемещения штока сервопривода;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  - параметры модели.

Модель сервопривода имеет вид:

$$X_{CM}(t) = \sum_{n=0}^6 K_n \cdot X_{CM}(t)^n \cdot X_0(t)$$

где  $K_n$  - параметр модели при соответствующем члене ряда.

Моделирование осуществлялось по данным энергетических испытаний агрегата №22 Волжской ГЭС. Определение параметров модели велось обычным и рекуррентным методом наименьших квадратов. Наибольшую приближенность модели к исходным данным обеспечил рекуррентный алгоритм определения параметров (рисунок 1). В случае построения модели сервомотора достаточно ограничиться рядом, состоящим из 7 членов, при дальнейшем увеличении происходит увеличение погрешности, так же как и при уменьшении количества членов ряда.

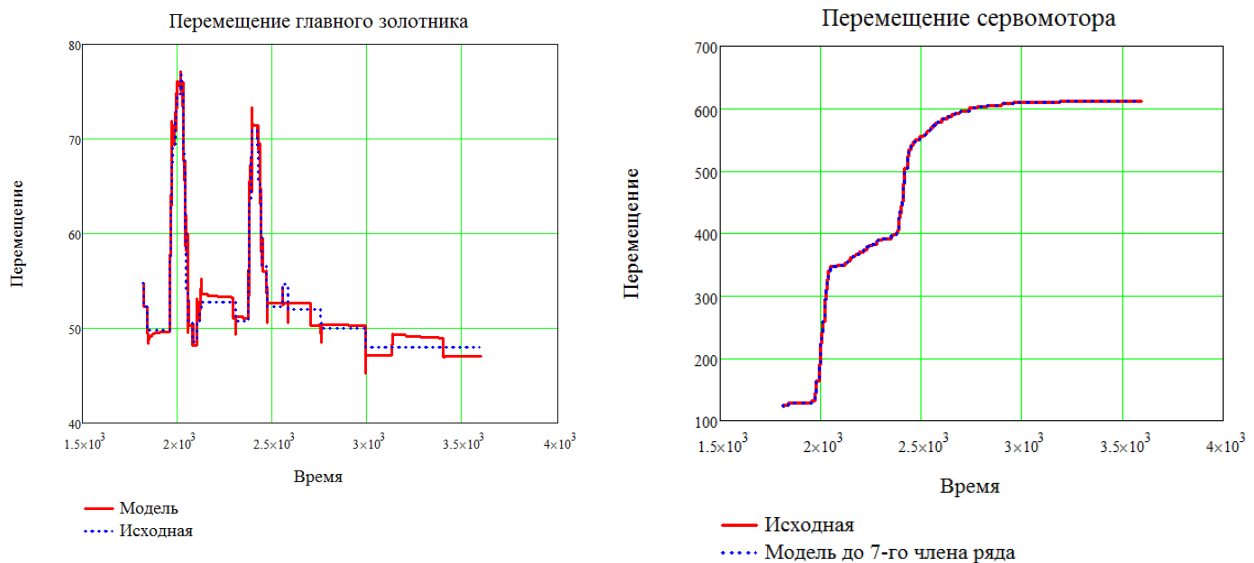


Рисунок 1 - Результаты моделирования

В дальнейшей работе планируется проверить воспроизводимость полученных моделей, используя данные энергетических испытаний гидроагрегатов в других условиях.

Результаты работы позволят повысить надежность системы управления направляющим аппаратом за счет прогнозирования возникновения аварийных ситуаций и их своевременного устранения.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В РЕГИОНЕ НА БАЗЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКТА

*В.Е. Костин, А.А. Кокарев, А.А. Силаев,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Развитие современных энерго и ресурсосберегающих технологий открывает новые возможности в использования солнечной энергии. Одним из перспективных направлений использования солнечной энергии является энергообеспечение систем освещения. Применение в осветительной технике светодиодов позволяет создавать системы освещения с низким потреблением энергии, т.е. повышать их энергоэффективность. Сочетание фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии и современной светодиодной осветительной техники даёт возможность создавать адаптивные энергоэффективные автономные системы освещения мест общего пользования и аварийного освещения.

Эффективная работа автономных систем освещения с фотоэлектрическими преобразователями во многом зависит от географических и климатических условий региона эксплуатации.

Для определения потенциальных возможностей таких систем в регионе Нижнего Поволжья создана опытная экспериментальная установка на базе фотоэлектрического комплекта ФЭК-180, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Установка включает в себя следующие блоки.

Два фотоэлектрических преобразователя номинальной мощностью по 80 Вт и номинальным напряжением 12 В предназначены для улавливания падающей радиации и преобразования её в постоянный электрический ток.

Контроллер заряда Morningstar SunSaver SS-MPPT-15L максимальным током 15 А с блоком ШИМ предназначен для управления процессом заряда, который делится на три этапа: предварительный заряд (при глубокой разрядки аккумулятора), режим быстрого заряда постоянным током (основной режим работы) и режим быстрого заряда постоянным напряжением до максимальной ёмкости (ток заряда снижается, напряжение поддерживается с заданной точностью). Кроме того, контроллер позволяет накапливать

и передавать данные о параметрах работы экспериментальной установки в режиме реального времени на персональный компьютер.

Гелиевый необслуживаемый аккумулятор номинальным напряжением 12 В и емкостью 200 А\*ч предназначен для накопления энергии.

Инвертор «чистый синус» предназначенный для преобразования постоянного тока в переменный ток промышленной частоты с напряжением 220 В. Входное напряжение 10,5 – 14,5 В, номинальная мощность 350 Вт.

Датчик движения и освещения позволяет контролировать включение и выключения светодиодного светильника в зависимости от освещения помещения и присутствия в нем людей. Потребляемая мощность 1Вт.

Светодиодный светильник состоит из двух ламп номинальной мощностью 20 Вт. По силе освещения светильник является аналогом двух ламп накаливания мощностью в 60 Вт.

Таким образом, данная экспериментальная установка может работать в автономном режиме (заряд аккумулятора не происходит) при полном заряде аккумулятора до 3 суток.

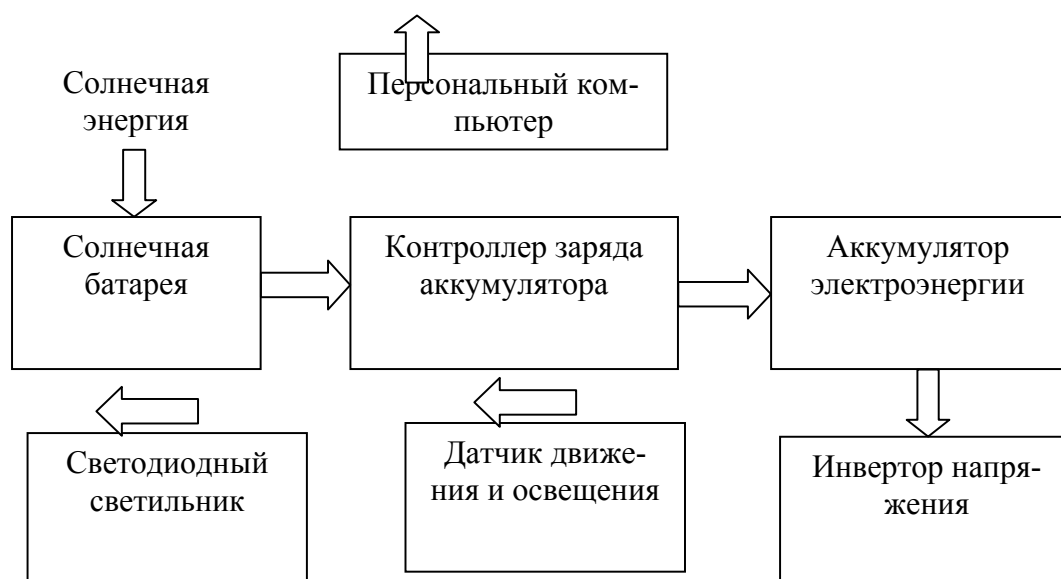


Рисунок 1. Фотоэлектрические преобразователи

Экспериментальная установка позволяет проводить сбор, обработку и хранение накопленных статических данных, позволяющих определить потенциальные возможности использования солнечной энергии в регионе для рационального проектирования автономных систем освещения.

## **АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОГО МЕТИОНИНА НА ОАО ВОЛЖСКИЙ ОРГСИНТЕЗ**

*Ст. преподаватель С.Н. Савченко,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Целью создания системы управления является получение кормового метионина заданного качества при оптимальной производительности и минимальных энергетических затратах при условии, что процесс будет безаварийным, безопасным и непрерывным. В данном процессе основным показателем качества является массовая доля метионина в полученном продукте, регулировать ее невозможно, поэтому необходимо регулировать те параметры, которые на нее влияют. В результате анализа процесса были найдены каналы внесения регулирующего воздействия, влияющие на качество конечного продукта, это:

- САР уровня суспензии метионина в реакторе,
- САР уровня суспензии метионина в кристаллизаторе,
- САР давления газов нейтрализации в реакторе,
- САР давления в кристаллизаторе,
- САР давления в циклоне,
- САР давления пара и азота, подающих в цех,
- САР расхода маточного раствора,
- САР расхода суспензии метионина,
- САР расхода серной кислоты,
- САР температуры суспензии метионина,
- САР температуры сушильного газа,
- САР концентрации кислорода в сушильном газе.

Выбор контролируемых параметров преследует следующие цели:

- достижение полноты информации,
- снижение себестоимости.

Поэтому при минимальном количестве информации необходимо получить максимальную информацию о ходе процесса. Исходя из этого, выбраны следующие параметры, подлежащие контролю:

- уровень суспензии метионина в реакторе,
- давление пара, подаваемого в сушилку,
- расход серной кислоты в реакторе,
- давление азота, подаваемого в бункер,
- температура суспензии метионина.

Сигнализации подлежат все параметры, выход которых за допустимые пределы приведет к аварии, взрыву и несчастному случаю.

Исходя из этого, выбраны параметры, подлежащие сигнализации:

- высокий уровень суспензии метионина,
- высокое давление пара, подаваемое в сушилку;
- высокое давление азота, подаваемого в бункер;
- высокая температура суспензии метионина в реакторе.

В ходе анализа выявлено, что система управления обеспечивает требуемую точность регулирования, повышает качество конечного продукта, снижает время простоя оборудования и средств автоматизации.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ**

*Ст.преподаватель каф. ВАЭиВТ Трушников М.А.,*

*Волжский политехнический институт (филиал)*

*Волгоградского государственного технического университета*

Котел, как технологический агрегат, является сложным объектом регулирования. Для надежной и экономичной работы котла в нем следует поддерживать (регулировать) множество технологических параметров, в том числе: процесс горения в топке котла, подачу воздуха в топку котла, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла (питание котла).

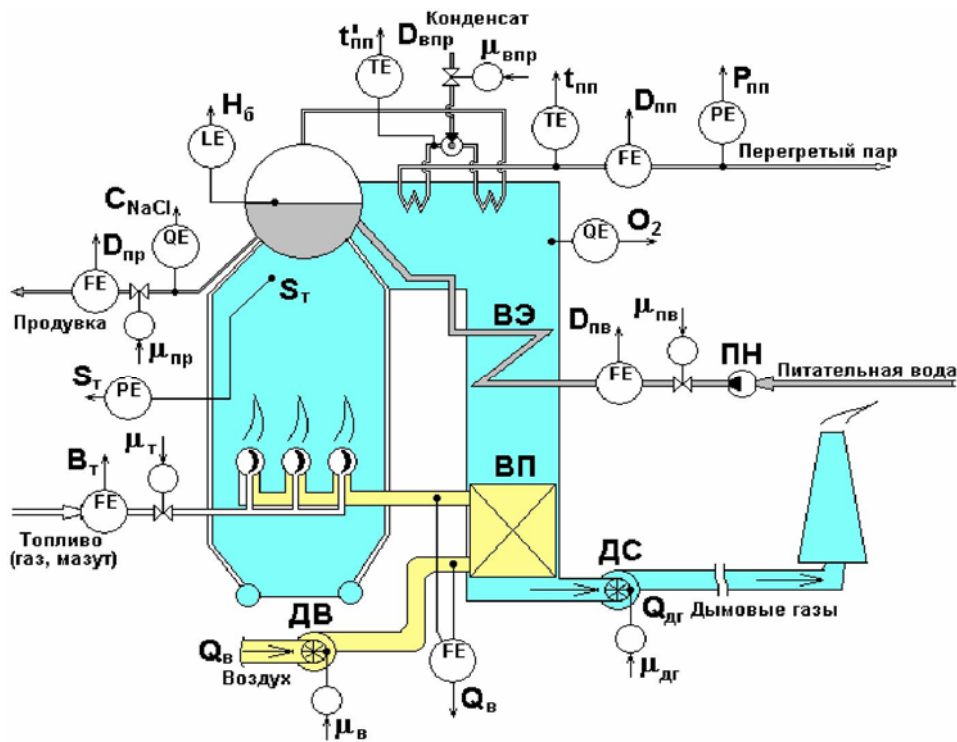


Рисунок 1 – Котел как комплексный объект регулирования

Принято рассматривать отдельно несколько взаимосвязанных контуров управления. Рассмотрим процесс регулирования тепловой нагрузки барабанного котла. В первых простейших схемах регулирования процесса горения в качестве критерия тепловой нагрузки было использовано положение органа, регулирующего подачу топлива,  $h_T$  (рис. 2а). Этот импульс являлся обратной связью для регулятора топлива, к которому поступал задающий сигнал от регулятора давления при выходе из котла или от главного (корректирующего) регулятора, действующего по давлению в магистрали, при параллельной работе нескольких котлов на общий паропровод. Сигнал по положению регулировочного органа подачи топлива, в качестве задающего, подавался на регулятор воздуха, к которому поступал также сигнал обратной связи по расходу воздуха ( $V$ ). Разрежение в топке ( $S_T$ ) поддерживалось независимым регулятором тяги. Такая схема регулирования процесса горения, когда расход воздуха приводится в соответствие с расходом топлива, носит название «топливо-воздух».

Недостатком описанной выше схемы регулирования процесса горения в первую очередь является непредставительность принятого метода оценки фактической тепловой нагрузки котла, в первую очередь для котлов, сжигающих твердое топливо, из-за возможного изменения качества топлива, нестабильности характеристик пылепитателей и т.д. Эти факторы приводили к резкому нарушению экономичности топочного



процесса и отклонению действительной нагрузки от заданной. Недостатки схемы привели к отказу от схемы «топливо-воздух» с использованием сигнала по положению регулировочного органа подачи топлива для котлов, сжигающих угольную пыль.

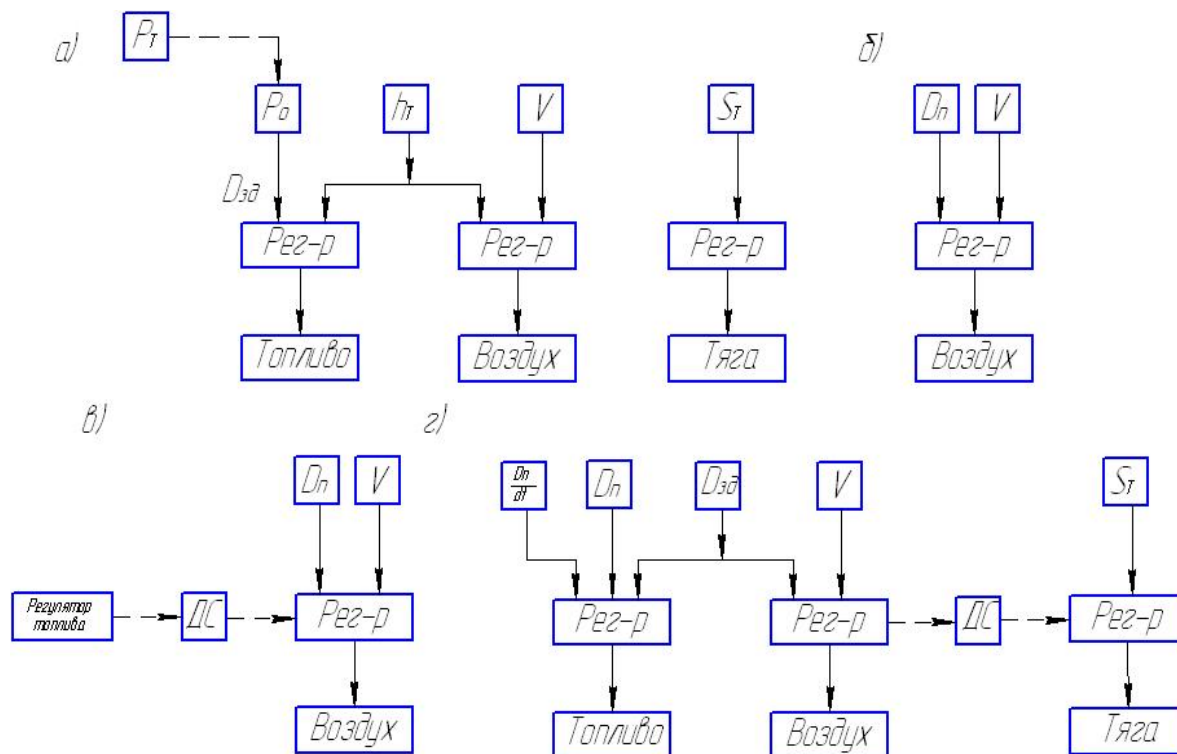


Рисунок 2- Структурные схемы регулирования процесса горения.

$P_T$  – давление в общем паропроводе,  $P_0$  – давление первичного пара,  $D_{зад}$  – задание,  $h_{мон}$  – положение регулировочного органа подачи топлива,  $D_n$  – расход первичного пара,  $V$  – расход воздуха,  $S_T$  – разрежение в топке котла,  $\frac{dp}{dt}$  – скорость изменения давления пара,  $ДС$  – динамическая связь.

Схему «топливо-воздух» сменила схема, организованная по принципу «пар-воздух» (рис. 2б), где задающим сигналом регулятору воздуха служит расход пара при выходе из котла ( $D_n$ ).

При постоянстве температуры питательной воды, теплосодержания пара, КПД котлоагрегата и при сжигании односортового топлива расход пара в статике практически однозначно задает теоретически необходимый для горения расход воздуха. Поэтому при установившихся режимах схема «пар-воздух» обеспечивает удовлетворительную точность поддержания заданного коэффициента избытка воздуха, определяющего фактора экономичности топочного процесса.

Однако в переходных режимах, связанных с изменением аккумулированного в котле тепла, расход пара не согласуется с фактической тепловой нагрузкой котла, и оптимальное соотношение между подачами топлива и воздуха нарушается. Полезным усовершенствованием схемы «пар-воздух» является использование динамической связи (исчезающего импульса) от регулятора топлива к регулятору воздуха (рис 2в). Динамическая связь действует только в переходных режимах и не оказывает остаточного воздействия на измерительную схему регулятора воздуха.

Общей проблемой создания оптимальной схемы регулирования горения для котлов, работающих на твердом топливе, является измерение расхода топлива. Неоднородность состава твердого топлива делает возможным изменение тепловыделения при постоянной подаче топлива. Поэтому для котлоагрегатов, работающих на твердом топливе, в схемах регулирования процесса горения целесообразно использовать сигнал, связанный с тепловыделением в топке. Таким сигналом является сигнал по «теплу» - тепловой нагрузке.

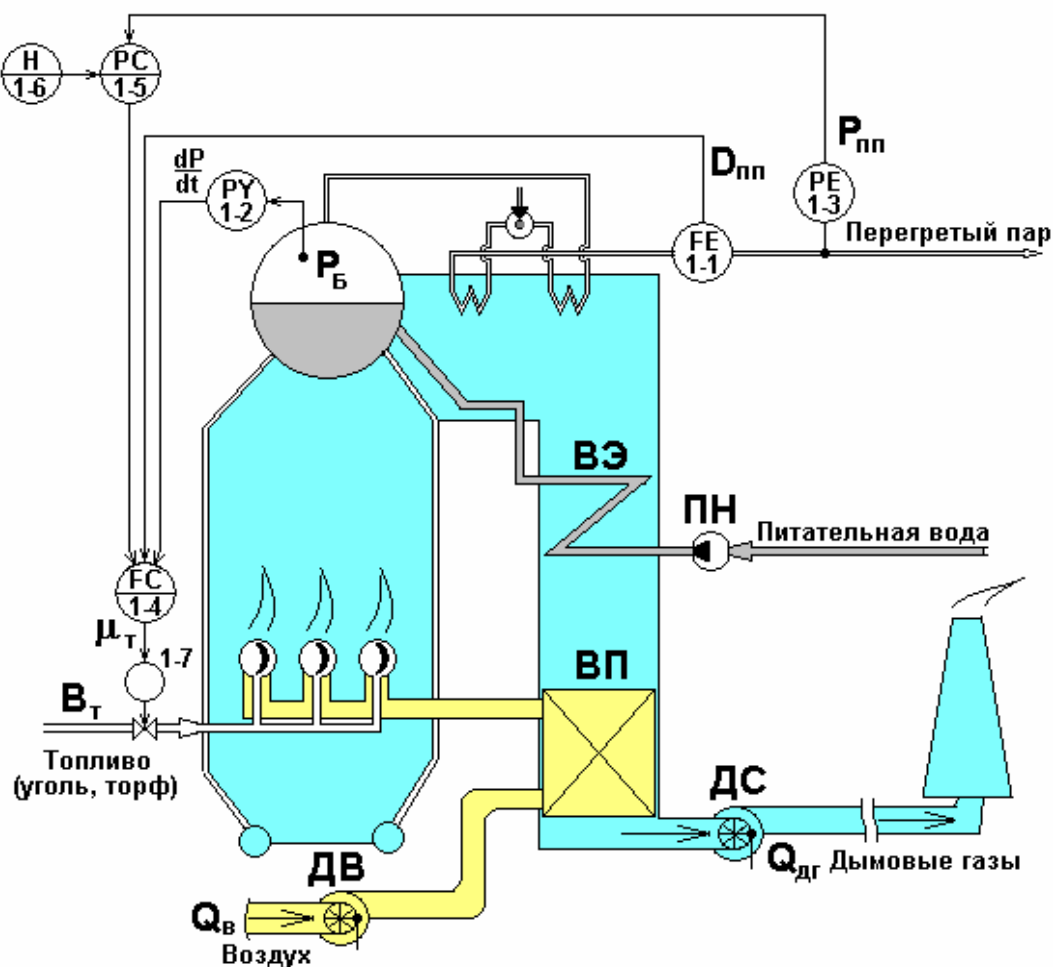


Рисунок -3 Схема регулирования тепловой нагрузки барабанного котла, работающего на твердом топливе

Сигнал по тепловой нагрузке предложен З.Я. Бейрахом и В.М. Добкинским в ЦКТИ (г. Ленинград, 1953г). Тепловой нагрузкой котла называют расход пара, который был бы получен, если бы воспринятое поверхностями нагрева котельного агрегата тепло было израсходовано на парообразование, а не аккумулировалось частично водой, паром и металлом парообразующей части котла.

Экономичность топочного процесса в переходных режимах зависит от согласованности в изменениях подачи топлива и воздуха, поэтому определяется не только схемой регулирования расхода топлива, но и схемой регулирования подачи воздуха.

Предпочтение в АСР процессов горения на котлах получила комбинация регулятора топлива, действующего по теплу, с регулятором воздуха, выполненным по схеме «заданная нагрузка-воздух» (рис.2,г).

Разработка и внедрение в АСР котла быстродействующего газоанализатора, непрерывно измеряющего содержание  $O_2$  в дымовых газах, привела к созданию схем регулирования, основанных на непосредственном контроле экономичности топочного процесса. В этом случае регулятор воздуха работает от сигнала по содержанию  $O_2$  в дымовых газах, а кроме того, воспринимает сигнал динамической связи, исчезающий в статике, от регулятора топлива для улучшения качества переходных процессов.

Регулирование подачи топлива на мощных котлах, работающих на пылевидном топливе, осуществляется с помощью пылепитателей. Способ регулирования скорости электродвигателей пылепитателей основан на одновременном изменении тока возбуждения электродвигателей постоянного тока при помощи специального устройства – плоского контролера.

Литература:

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами.
2. Липатников Г.А., Гузеев М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики.