

# ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ НЕФТЕГАЗОВЫМ СЕПАРАТОРОМ НА ОСНОВЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

А.И. Васиц, А.А. Сидорова  
Томский политехнический университет  
E-mail: aiv15@tpu.ru

## Введение

На современном нефтяном промысле часто поднимается вопрос о полной автоматизации процесса сепарирования нефти. В первую очередь стоит отметить, что сам технологический процесс достаточно длительный, следовательно, присутствие персонала будет неэффективным. Именно поэтому внедрение систем автоматического регулирования (САР) в промышленную подготовку нефти позволяет усовершенствовать системы, используемые в нефтегазовой отрасли [1].

Одним из основных объектов управления является сепаратор, в нем происходят процессы разделения различных фаз водонефтяной эмульсии. Целью данной работы является синтез системы управления горизонтальным нефтегазовым сепаратором на базе ПИД-алгоритма.

## Разработка структурной схемы

Схема модели САР (рис.1) будет состоять из двухфазного горизонтального сепаратора, включающего в себя запорный клапан, соединенный со штуцерами выхода нефти и газа. В данной САР уровень нефти является основным регулируемым значением.

Нефть начинает сливаться при открытии клапана, тем самым уменьшая общий уровень жидкости. При достижении нижнего критического уровня, клапан закрывается, и процесс очистки эмульсии начинается заново.

Для измерения уровня жидкости был выбран ультразвуковой уровнемер. В качестве исполнительного механизма выступает электромагнит, который управляет пружиной, отвечающей за открытие или закрытие запорного клапана. Электронный усилитель увеличивает выходной сигнал, получаемый с ПИД-регулятора [2].

## Разработка функциональной схемы

Система работает следующим образом, пусть в начальный момент времени уровень нефти находится в пределах  $\Delta H$ , тогда уровнемер (11) подает сигнал на ПИД-регулятор (12). При превышении заданного уровня нефти, датчик

отправляет сигнал на преобразователь, передающий напряжение на электронный усилитель (13), связанный с электромагнитом (14). Электронный усилитель увеличивает напряжение, подаваемое на клеммы электромагнита, в котором за счет обмотки (15) образуется магнитная индукция. Электромагнит начинает притягивать металлический подвижный блок (16). В результате движется жесткая пружина, соединенная с запорным клапаном (18), открывая его. Через некоторое время уровень приближается к нижней границе, тогда преобразователь перестает подавать напряжение на электромагнит. Электромагнит перестает обладать магнитными свойствами, и подвижный блок приходит в начальное положение, закрывая кран.

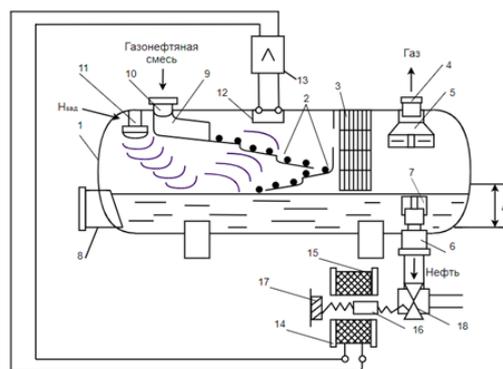


Рис. 2 Функциональная схема системы регулирования уровня нефти в горизонтальном сепараторе

На рисунке 2 представлено: 1 – технологическая емкость, 2 – полки, 3 – пеногаситель, 4 – штуцер выхода газа, 5 – влагоотделитель, 6 – штуцер выхода нефти, 7 – устройство для предотвращения образования воронки при дренаже нефти, 8 – люк лаз, 9 – распространительное устройство, 10 – патрубок, 11 – ультразвуковой уровнемер, 12 – преобразователь сигнала, 13 – электронный усилитель, 14 – электромагнит, 15 – обмотка, 16 – подвижный блок, 17 – неподвижное крепление, 18 – запорный клапан.



Рис. 1. Структурная схема САР уровня нефти в горизонтальном сепараторе

### Математическая модель процесса

Передаточная функция для уровнемера является аperiodическим звеном первого порядка (1), где постоянная времени  $T_0$  определяется свойствами датчика, а коэффициент передачи  $k_0$  отношением изменения напряжения  $\Delta U$  к разности уровней  $\Delta H$ :

$$W_0 = \frac{k_0}{T_0 s + 1}, \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение для цепи электромагнита:

$$U_y = IR + L \frac{di}{dt} + C \frac{dx}{dt}, \quad (2)$$

где  $U_y$  – напряжение на выходе усилителя;  $R$  – активное сопротивление обмотки;  $L$  – индуктивность обмотки электромагнита;  $C$  – коэффициент противоЭДС;  $x$  – смещение якоря электромагнита [3].

Преобразовав уравнение (2), можно получить выражение:

$$T_{эм} \frac{di}{dt} + i = k_{эм} U_y, \quad (3)$$

где  $T_{эм} = \frac{L}{R + R_y}$  – постоянная времени передаточной функции цепи управления электромагнита;  $R_y$  – сопротивление усилителя;  $k_{эм}$  – постоянная электромагнита.

Из уравнения 3 следует, что ПФ электромагнита, последовательно соединенного с усилителем равна:

$$W_{эм} = \frac{k_{эм} k_y}{T_{эм} s + 1}, \quad (4)$$

где  $k_y = \frac{1}{R + R_y}$  – коэффициент усилителя.

Передаточную функцию клапана рассматривают, как интегратор с коэффициентом  $k_{кл}$ :

$$W_{кл} = \frac{k_{кл}}{s}, \quad (5)$$

где  $k_{кл} = \frac{1}{T_{кл}}$  – коэффициент усиления клапана;

$T_{кл}$  – постоянная времени открытия клапана при малом входном воздействии.

### Создание модели в пакете Simulink

Разработка системы регулирования уровня проводилась в среде Simulink.



Рис.3 Модель САР в Simulink

Для определения качественных показателей построен график переходного процесса (рис.4). Исходя из формулы перерегулирования, его значение для заданной системы будет равно 16.4%, что попадает в зону оптимального значения. Время переходного процесса определяется по вхождению графика в 5-% область и составляет 2.08 секунды, что характеризует быстродействие системы.

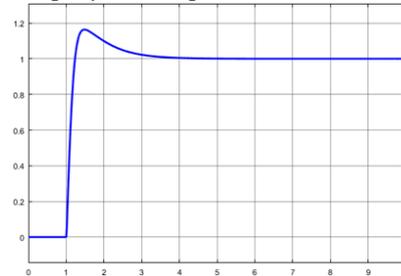


Рис.4 График переходного процесса

Из графика (рис. 5) можно сделать вывод о том, что система устойчива, перерегулирование 16,4 %, время переходного процесса 2.08 с, статическая ошибка нулевая.

### Заключение

В результате работы создана модель система автоматического регулирования уровня нефти. Определены основные характеристики, анализируя которые можно считать систему эффективной. Данную систему управления сепаратором можно использовать на многих этапах очистки двухфазной смеси газа и нефти, однако она не применима для более сложных процессов сепарации.

### Список используемых источников

1. Сидорова А.А. Разработка системы управления подготовкой нефти// Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных/ ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – С. 213-214.
2. Ефимов С.В., Замятин С.В, Гайворонский С.А. Синтез ПИД-регулятора с учетом расположения нулей и полюсов системы автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 5. – С. 100-110.
3. Математические основы теории систем: учебник для вузов / А. М. Мальшенко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 364 с.
4. В. А. Зеленский, А.И. Щодро. Разработка имитационной модели работы нефтегазового сепаратора// Конференция «Современные наукоемкие инновационные технологии». – 2014. – С. 551-554.