

УДК 681.518.5

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕПАРАТОРА

© 2014 В.А. Зеленский, А.И. Щодро

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва

Поступила в редакцию 24.11.2014

В работе объектом моделирования является нефтегазосепаратор, в котором происходит выделение из поступающей жидкости трех ее фаз: газа, воды и нефти. Особенности работы устройства являются взрывоопасные условия, поэтому задача моделирования, позволяющая избежать возникновения аварийных ситуаций, является актуальной. Результаты имитационного моделирования позволяют проанализировать все возможные режимы работы нефтегазосепаратора и предотвратить возникновение нестандартных ситуаций.

Ключевые слова: *нефтегазосепаратор, имитационное моделирование, уровень, сброс воды, датчик*

Традиционная технология получения добытой из недр жидкости на централизованных пунктах подготовки нефти в настоящее время себя уже исчерпала. Необходимость связывать добывающие скважины сетью дорогостоящих трубопроводов требует всё больших вложений. Представляется целесообразным вести первичное выделение нефти непосредственно на местах, а затем уже автотранспортом доставлять ее на центральные пункты сбора. Эффективность такого подхода возрастает с увеличением расстояния до центров подготовки, а также в случае значительной обводненности нефти.

Ключевой технологической установкой первичной обработки жидкости, поступающей с добывающей скважины, является нефтегазосепаратор (НГС). Для решения задач освоения мелких месторождений достаточно установить НГС небольшой емкости и узел отпуска нефти в автоцистерны. Объектом моделирования в работе является НГС, в котором происходит выделение из поступающей жидкости трех ее фаз: газа, воды и нефти. Технология процесса сепарации требует контроля за уровнем жидкости, уровнем раздела сред, давлением в секциях НГС с последующим регулированием. Особенности работы НГС являются взрывоопасные условия, поэтому **задача моделирования** работы НГС, позволяющая избежать возникновения аварийных ситуаций, является чрезвычайно актуальной.

В качестве **объекта моделирования** выбран сепаратор, работающий в составе Самодуровской установки предварительного сброса

воды нефтегазодобывающего управления «Сорочинскнефть». Сепаратор является резервуаром цилиндрической формы длиной 14 м и диаметром 3 м (рис. 1). Эмульсия поступает в сепаратор через электронную задвижку ЭЗ-1, вода сбрасывается через клапан LCV-275, нефть сбрасывается через клапан LCV-274, для сброса газа предусмотрен механический клапан MV с пороговым уровнем давления 0,6 МПа. Датчик уровня жидкости ДУЖ-1 измеряет верхний уровень жидкости, ДУЖ-2 измеряет уровень раздела фаз нефть-вода. Датчик давления ДД применяется для сигнализации при превышении давления газа установленной нормы. Уровень раздела фаз регулируется в диапазоне от 0,5 до 1,5 м дискретно, то есть при достижении отметки в 1,5 метра подается сигнал с контроллера и клапан открывается, при отметке 0,5 метра – клапан закрывается. Верхний уровень мультифазной жидкости поддерживается на отметке 1,85 метра постоянно, вне зависимости от сброса воды и поступления эмульсии.

Для того, чтобы выполнить математическое моделирование работы системы, необходимо в первую очередь определить зависимость уровня жидкости от объема рабочего пространства сепаратора. Емкость сепаратора можно считать цилиндром, лежащим на боковой поверхности, с шаровыми сегментами вместо оснований. Общий объем в данном случае составляет 100 м<sup>3</sup>. Рассчитаем объем сферических частей емкости. Фигура, ограничивающая емкость с каждой стороны, называется шаровым сегментом, и ее объем находится по формуле:

$$V = \frac{1}{3} \pi H^2 (3R - H) \quad (1)$$

где  $H$  – высота сегмента;  $R$  – радиус шара.

*Зеленский Владимир Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств.*

*E-mail: vaz-3@yandex.ru*

*Щодро Артём Игоревич, аспирант*

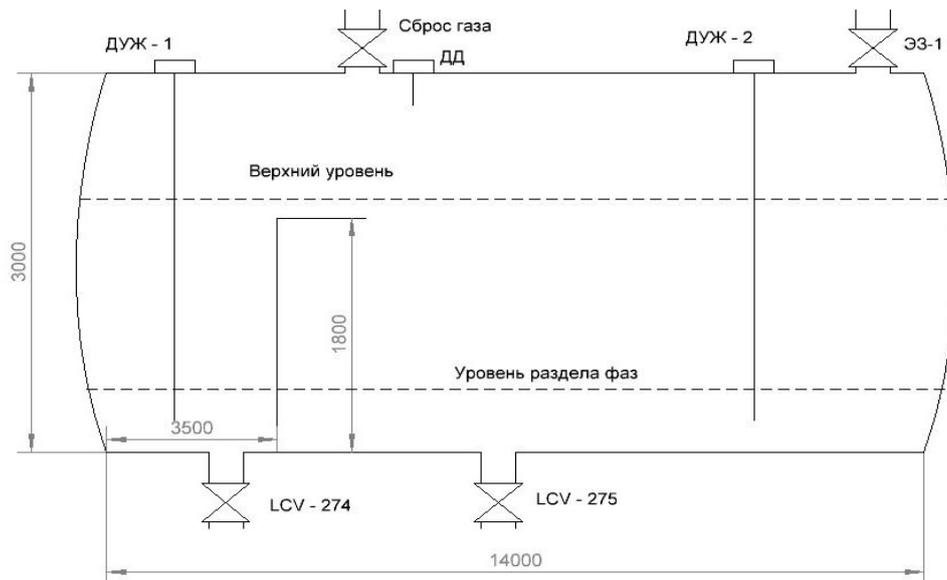


Рис. 1. Устройство нефтегазосепаратора

Эти размеры определяются из рабочих чертежей и составляют:  $R=4$  м,  $H=0,5$  м. Подставляя численные значения в формулу (1) получим объём одного сегмента примерно равным  $3 \text{ м}^3$ . Следовательно, объём двух сегментов равен  $6 \text{ м}^3$ . Теперь мы имеем цилиндр, лежащий на боковой поверхности с плоским основанием. Объём жидкости в такой емкости находится по формуле:

$$V = SU, \quad (2)$$

где  $U$  – высота цилиндра;  $S$  – площадь сегмента окружности.

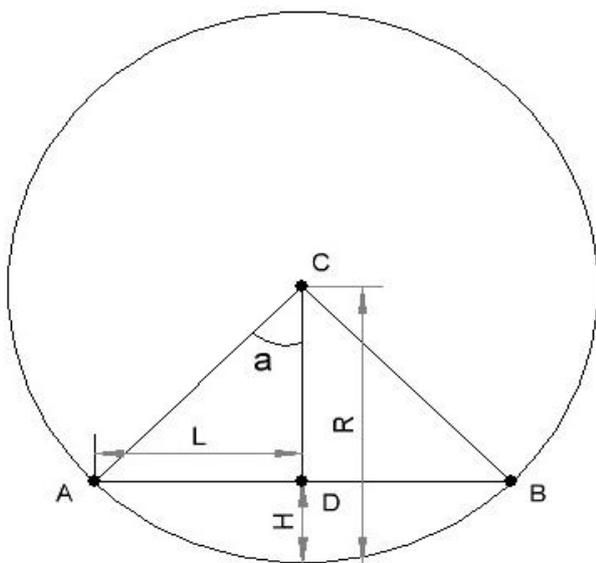


Рис. 2. Геометрическая модель профиля нефтегазосепаратора

Сегмент окружности ограничен дугой и хордой (рис. 2). Угол  $\alpha$  в этом случае определяется из соотношения:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{r - H}{r}\right). \quad (3)$$

**Имитационная модель работы нефтегазосепаратора** выполнена с помощью модуля Simulink версии 7.1 программы Matlab. В процессе создания модели приняты следующие допущения:

- двигатель подачи жидкости работает в линейной части механической характеристики;
- электромагнитными процессами в двигателе пренебрегаем;
- момент инерции нагрузки не учитывается вследствие большого передаточного числа.

Тогда модель принимает вид, представленный на рис. 3.

Система имеет 2 замкнутых контура, соединенных между собой. Верхний контур моделирует поддержание уровня на заданной величине, нижний – имитирует гравитационный отстой и сброс воды. Рассчитаем объём жидкости, поступающей в сепаратор в секунду. Для этого возьмем годовой расход жидкости через уставку и разделим на количество секунд в году, получаем  $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимальный расход через клапан сброса воды и клапан сброса нефти –  $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . Так как емкость принимается параллелепипедом с высотой 3 м, то площадь поперечного сечения составляет  $33,333 \text{ м}^2$ . Следовательно, при пересчете расхода в изменение уровня воспользуемся коэффициентом 0,3. Двигатель будем рассматривать как аperiodическое звено. Изменение расхода через клапан во время его перемещения можно считать линейным в рамках погрешности. Коэффициент скорости отработки задвижки получен экспериментальным путем и равен 25. Исходный уровень воды в емкости принимается равным 0,1 м.

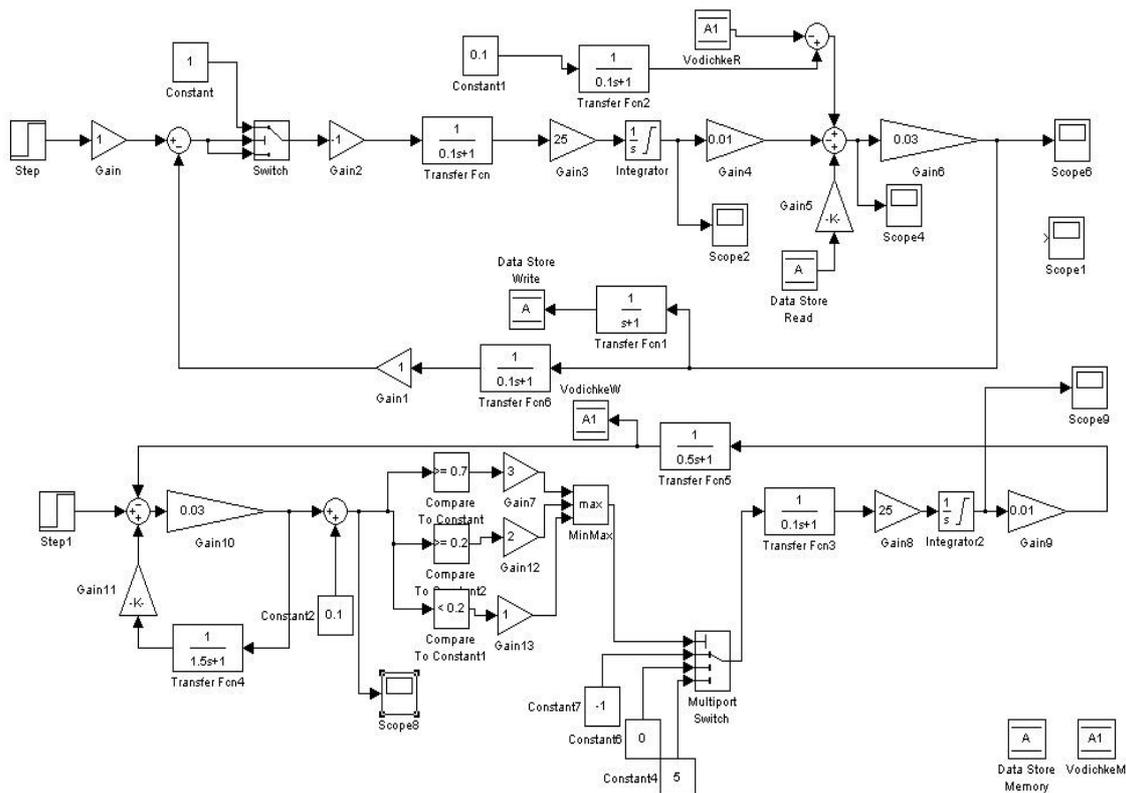


Рис. 3. Модель работы нефтегазосепаратора в среде Matlab

**Контур регулирования** уровня работает следующим образом. Задание уровня поступает на сумматор, где из него вычитается текущий уровень в емкости, далее разность поступает на компаратор, где сравнивается с нулевым уровнем. Если разность уровней отрицательна (превышение заданного), то сигнал разности уровня меняет знак и подается на блок управления двигателем, двигатель получает команду на включение. Сигнал с двигателя интегрируется (что моделирует поведение клапана) в заданном диапазоне. На выходе с клапана получается численный сигнал в интервале от 0 до 100, что соответствует степени открытия клапана в процентах. Этот сигнал умножается на коэффициент расхода через клапан и поступает на сумматор, где прибавляется расход через входную задвижку и при необходимости вычитается расход через клапан сброса воды, также здесь прибавляется текущий объем жидкости в емкости. Таким образом, на выходе из сумматора получаем объем в данный момент времени. Далее объем делим на площадь поперечного сечения и подаем на вход системы через обратную связь. Также в цепь обратной связи включено звено памяти, которое подаст сигнал на сумматор объемов в следующем цикле. Если же разность уровней оказалась положительной (идет налив), то подается сигнал закрытия клапана. Таким образом, за

некоторое количество циклов система выходит на установившийся режим.

**Контур сброса воды** работает следующим образом. В блоке задания выставляется коэффициент скорости отделения воды ( $m^3/ч$ ). Точно рассчитать его аналитически сложно, поэтому использовано среднее значение из 5 измерений. Этот сигнал подается на сумматор, где к нему прибавляется текущий объем воды и при необходимости вычитается расход через клапан сброса. Полученное значение преобразуется в текущий уровень и поступает на компаратор, но перед этим умножается на площадь поперечного сечения и поступает через обратную связь на вход системы. На компараторе сигнал сравнивается с уставками. Далее возможны три варианта работы контура:

- уровень жидкости равен 0,2 м;
- уровень жидкости равен 0,5 м;
- уровень жидкости находится в пределах от 0,2 до 0,5 м.

В первом случае компаратор подает сигнал на закрытие клапана сброса воды, в дальнейшей части контура процессы аналогичны тем, что происходят в первом контуре. Во втором случае подается сигнал на открытие задвижки. В третьем случае поступает нулевой сигнал, и система выполняет последнее задание. Расход на клапане сброса воды через обратную связь поступает на вход контура и через блок памяти на сумматор

расходов первого контура, так как при сбросе воды уровень начнет падать. Для разнесения процессов во времени в модель введено большое количество аperiодических звеньев. Коэффициенты подобраны опытным путем.

**Выводы:** на основе априорных данных о работе нефтегазового сепаратора, анализа его физической модели, а также экспериментальных данных разработана имитационная модель сепаратора. При моделировании были определены коэффициенты модели и доказана работоспособность устройства при заданных условиях. Результаты имитационного моделирования позволяют проанализировать все возможные режимы работы сепаратора и предотвратить возникновение внештатных ситуаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зеленский, В.А.* Имитационное моделирование производственных процессов с помощью сетей Петри / *В.А. Зеленский, В.П. Коннов, А.И. Щодро* // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 7 (38). С. 137-142.
2. *Зеленский, В.А.* Выбор парадигмы, математического аппарата и инструментов моделирования технологических процессов в машиностроении и нефтегазовой промышленности / *В.А. Зеленский, В.П. Коннов, А.И. Щодро* // Математическое моделирование, численные методы и информационные системы: Мат-лы IV Всеросс. научно-практ. конф. с межд. участием. – Самара: Изд-во СМИУ, 2012. С. 113-120.
3. *Зеленский, В.А.* Моделирование технологических процессов с помощью сетей Петри / *В.А. Зеленский, В.П. Коннов, А.И. Щодро* // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Мат-лы Всеросс. науч.-техн. конф. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. С. 286-290.
4. *Голубятников, И.В.* Системы мониторинга сложных объектов / *И.В. Голубятников, В.А. Зеленский, В.Е. Шатерников.* – М.: Машиностроение, 2009. 172 с.

## DEVELOPMENT OF OIL AND GAS SEPARATOR SIMULATION MODEL

© 2014 V.A. Zelenskiy, A.I. Shchodro

Samara State Aerospace University named after the Academician S.P. Korolyov

In work as object of modeling is the oil and gas separator in which there is allocation from the arriving liquid of three of its phases: gas, water and oil. Features of operation of the device are explosive conditions therefore the problem of modeling allowing to avoid the emergency situations is actual. Results of simulation modeling allow to analyze all possible operating regimes of oil and gas separator and to prevent emergence of non-staff situations.

Key words: *oil and gas separator, simulation modeling, level, water dumping, sensor*