

## Имитационное моделирование работы нефтегазосепаратора

В.А. Зеленский<sup>1</sup>, А.И. Щдро<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

**Аннотация.** Предложена имитационная модель работы нефтегазосепаратора в программе *MATLAB Simulink*. В основе математической модели лежит взаимодействие контуров управления количеством воды и нефти. Динамическая модель позволяет исследовать переходные процессы в устройстве, поддерживать степень обводнённости нефтесодержащей смеси в камере устройства на заданном уровне, выбрать оптимальное время сепарации. Использование полученных результатов позволит повысить производительность нефтегазосепаратора при сохранении качества товарной нефти.

### 1. Введение

Ключевым устройством системы подготовки нефти является нефтегазосепаратор (НГС). Главная функция НГС – обеспечить максимальную производительность системы и при сохранении качества выходного продукта. Трёхфазный горизонтальный НГС с элементами контроля плотности нефтесодержащей смеси подробно описан в работах [1, 2]. Измерительная информация поступает в блок управления 13 с выходов аварийных датчиков 3, 5, датчиков уровня жидкости 4, 6 и датчиков давления 9, 11 (рисунок 1).

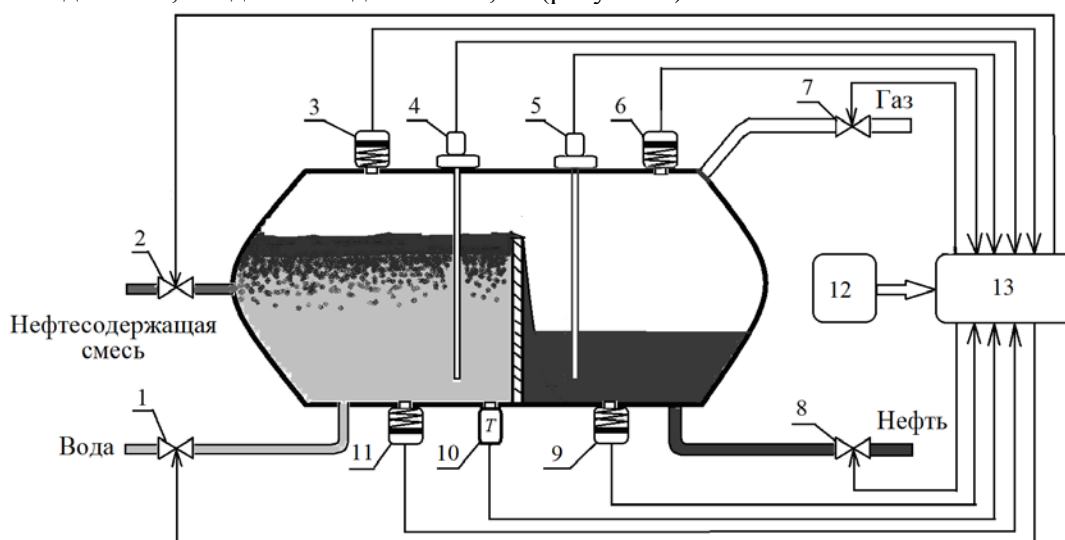


Рисунок 1. НГС с элементами управления и контроля.

## 2. Описание метода

Исполнительными элементами устройства являются водяной 1, входной 2, газовый 7 и нефтяной 8 вентили. Датчик 10 позволяет корректировать управляющие воздействия при изменении температуры. В базе данных 12 хранится информация о зависимости плотности воды и нефти от температуры, а также данные, связывающие плотность нефтесодержащей смеси с её обводнённостью для определения оптимального времени сепарации.

Производительность НГС определяется объёмом выхода нефти  $q_o$  в единицу времени  $t$ :

$$P = \frac{dq_o}{dt} \tag{1}$$

Выход нефти связан с входным объёмом нефтесодержащей смеси  $Q_{ex}$ , набором конструктивных параметров НГС  $S_i$  и временем сепарации  $T_c$  зависимостью:

$$q_o = f(Q_{ex}, S_i, T_c) \tag{2}$$

Время сепарации, как следует из [2], зависит от степени обводнённости нефтегазовой смеси в первой камере НГС  $W_1$ :

$$T_c = \varphi(W_1) \tag{3}$$

Плотность нефтесодержащей смеси зависит от степени её обводнённости. Научным обоснованием предложенного способа управления НГС является разность плотности воды (1,0 г/см<sup>3</sup>) и нефти (0,8-0,9 г/см<sup>3</sup>).

Предельно допустимое содержание воды в выходном продукте в соответствии с ГОСТ Р 51858 – 2002 составляет не более 1% для нефти 2 и 3 групп и не более 0,5% для нефти 1 группы [3]. Аналитическое решение уравнений (1 – 3) затруднено в силу многих факторов - нефтесодержащая смесь имеет сложный химический состав, отсутствует решение уравнения Навье-Стокса для неламинарного потока жидкости и др. [4]. Поэтому представляется целесообразным выполнить имитационное моделирование работы НГС.

При имитационном моделировании работы нефтегазосепаратора возникают следующие основные задачи: определение управляющего параметра и способа управления; выбор выходного параметра; разработка структурной схемы управления; разработка имитационной модели в программной среде; нахождение зависимости выходного параметра от фактора в результате имитационного эксперимента; анализ полученных результатов.

В качестве управляющего параметра выбрана плотность нефтесодержащей смеси, связанная со степенью её обводнённости. В качестве выходного параметра выбран расход нефти, определяющий производительность НГС.

Структурная схема автоматизированного управления НГС, основанная на измерении и регулировании плотности нефтесодержащей смеси представлена на рисунке 2.

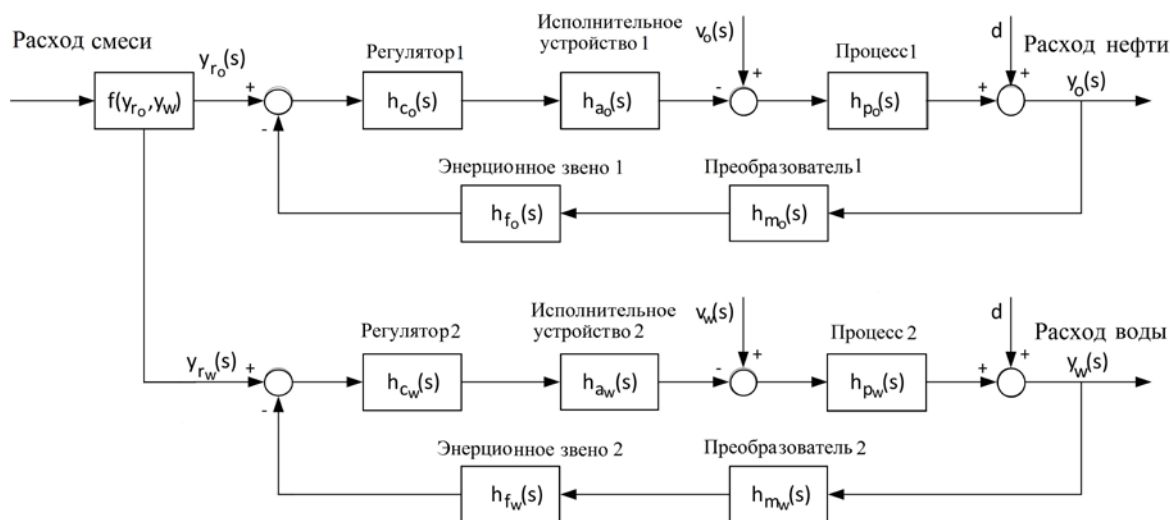


Рисунок 2. Структурная схема управления технологическим процессом сепарации.

Схема содержит два контура управления – контур расхода нефти и контур расхода воды в первой камере НГС. Входные и выходные процессы, приведённые на рисунке 3, связаны соотношениями:

$$h_{p_o}(s) = \frac{k_o}{s} \tag{4}$$

$$h_{a_s}(s) = \frac{q_o}{(T_o s + 1)} e^{-\tau_o} \tag{5}$$

где  $k_o$  - прирост отклика выходного параметра на управляющий параметр в окрестности заданного значения,  $q_o$  – объёмный расход нефти,  $T_o$  – постоянная времени нефтяного вентиля,  $s$  – модельное время,  $\tau_o$  - задержка открытия-закрытия нефтяного вентиля. Объёмный расход нефти определяется из соотношения:

$$q_o = k_v f(z) \sqrt{p_1 - p_2} \tag{6}$$

где  $f(z)$  – функция зависимости времени сепарации от степени обводнённости смеси,  $p_1, p_2$  – давления на входе и выходе вентилях,  $k_v$  – коэффициент, рассчитанный по формуле:

$$k_v = C_v \sqrt{\frac{2}{\rho_w}} \tag{7}$$

в которой  $C_v$  - постоянная вентиля,  $\rho_w$  - плотность воды. Аналогично описывается контур управления объёмом воды.

Характеристики уровня смеси  $H_{см}(t)$ , расхода нефти  $Q_n(t)$  и воды  $Q_b(t)$  во времени представлены на рисунке 3. Графики иллюстрируют управление работой НГС по параметру обводнённости  $W(t)$ . Из графика видно, что предлагаемый способ позволяет не только измерять, но и регулировать обводнённость нефтесодержащей смеси. Это позволяет повысить точность расчета времени сепарации [5] и стабильность работы НГС, тем самым, повышая его производительность при сохранении качества товарной нефти.

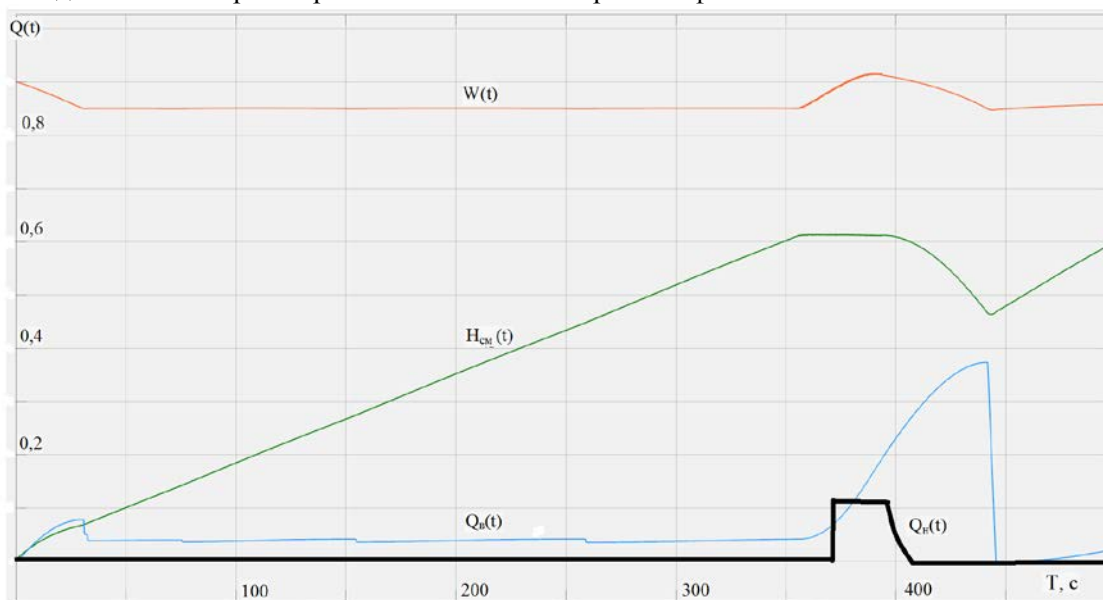


Рисунок 3. Графики уровня смеси, расхода воды и нефти.

Характеристики основаны на соотношениях (4 – 7) и получены с помощью имитационной модели, разработанной в подсистеме моделирования динамических систем *Simulink* пакета программ *MATLAB*. Структура имитационной модели представлена на рисунке 4.

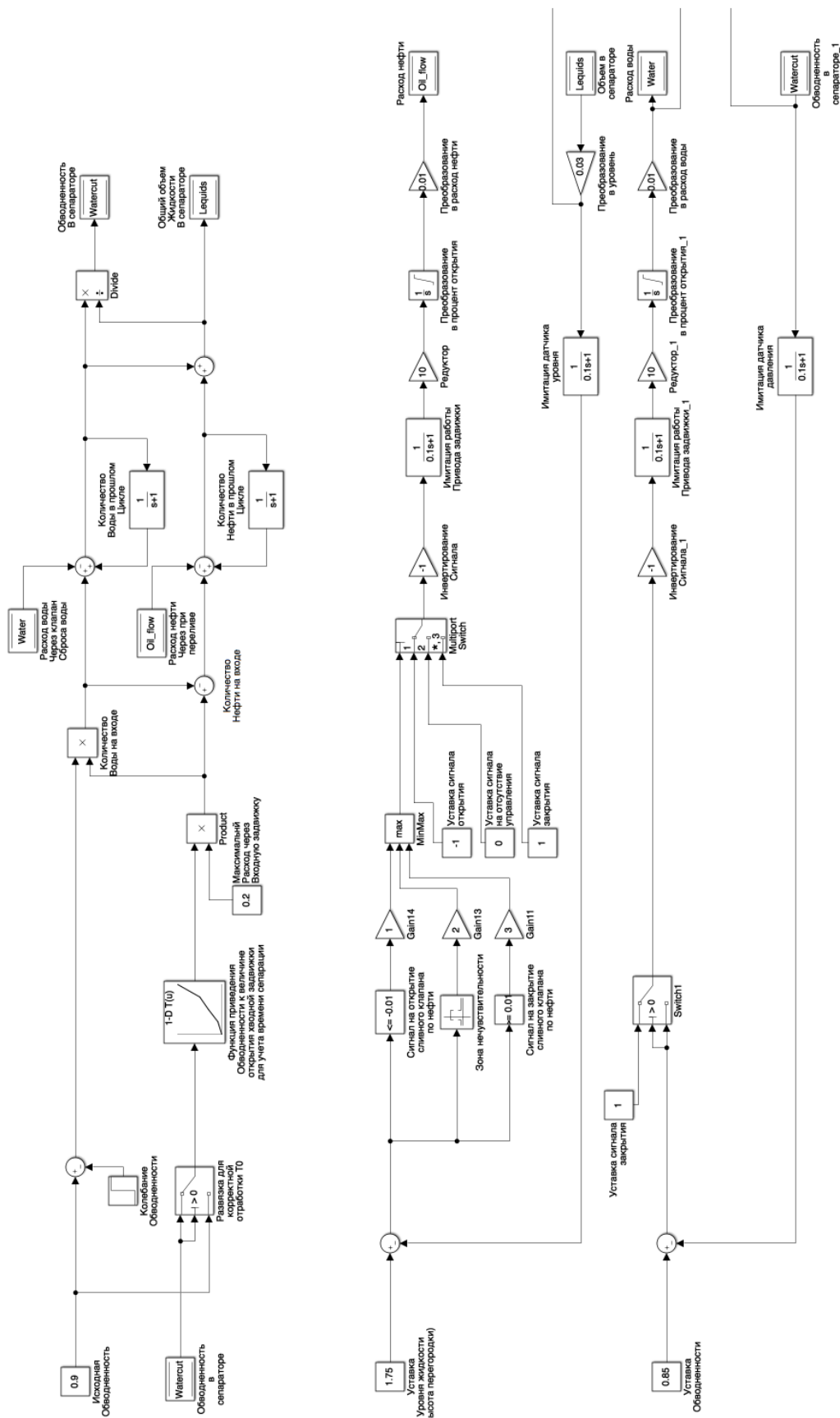


Рисунок 4. Структура имитационной модели в программе MATLAB.

### 3. Заключение

Таким образом, получена и исследована модель работы нефтегазосепаратора при управлении по параметру обводнённости нефтесодержащей смеси. Анализ результатов моделирования позволяет выбрать оптимальное время сепарации, параметры датчиков и исполнительных устройств, автоматизировать систему подготовки нефти, повысить производительность при сохранении качества товарной нефти согласно действующим нормативам.

### 4. Литература

- [1] Зеленский, В.А. Система автоматизированного управления нефтегазосепаратором с контролем плотности нефтесодержащей смеси / В.А. Зеленский, А.И. Щодро // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2016. – Т. 1, № 49. – С. 15-23.
- [2] Зеленский, В.А. Способ, математическая модель и алгоритм управления технологическим процессом сепарации нефти / В.А. Зеленский, А.И. Щодро // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки» . – 2016. – Т. 3, № 51. – С. 21-28.
- [3] ГОСТ Р 51858–2002. Нефть. Общие технические условия. – М.: Госстандарт России, 2002.
- [4] Астарита, Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей / Дж. Астарита, Дж. Маруччи; пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
- [5] Зеленский, В.А. Анализ погрешностей измерения плотности нефтесодержащей смеси и их влияния на определение времени сепарации / В.А. Зеленский, А.И. Щодро // Известия Самарского научного центра российской академии наук. – 2016. – Т.18, № 2(3). – С. 896-901.

## Simulation of oil-gaz separator operation

V.A. Zelenskiy<sup>1</sup>, A.I. Shchodro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

**Abstract.** Simulation model of oil-gaz separator in the program MATLAB Simulink is proposed. The basis of the mathematical model on the interaction of control loops with volume of water and oil. Dynamic model allows to investigate transients in the device to maintain the degree of water-flooding oil-containing mixture in the chamber device at a predetermined level, to choose the optimum separation time. Obtained results will allow to improve the performance of oil-gaz separator while maintaining the quality of commercial oil.

**Keywords:** simulation model, oil-gaz separator, degree of water-flooding oil-containing mixture, separation time.