

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 658.5:665.6

В. Ц. ЗОРИКТУЕВ, Ю. М. ДРЕБСКАЯ, В. В. РОЩУПКИН

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ НЕФТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКОЙ НЕФТИ

В работе рассмотрены проблемы управления процессом сепарации нефти, произведен анализ процесса сепарации нефти как объекта управления, составлена структура универсальной модульной математической модели процесса, синтезирована математическая модель каждого модуля. Обоснован выбор системы управления процессом. *Сепарация нефти; система управления; математическая модель; промышленная подготовка нефти*

В большинстве случаев нефть извлекается из нефтяного пласта в виде газонефтяной смеси (эмульсии). Эта нефть должна быть отделена от газа, очищена от воды, механических примесей, солей при промышленной подготовке нефти, т. е. пройти стадию так называемой промышленной подготовки нефти, в результате которой согласно действующему стандарту качества нефть не должна содержать более 3 мг/л солей; 0,2 и 0,005% соответственно по массе воды и механических примесей.

Для повышения качества управления процессом сепарации нефти и качества продукта на выходе, необходимо построить точные, универсальные математические модели объекта управления. Для этого необходимо:

1) обосновать концептуальную модель объекта управления с определением основных возмущений, действующих на объект, выходных и входных координат;

2) синтезировать универсальную модульную схему математической модели процесса сепарации, которая может учитывать различные по конструкции и геометрической форме аппараты, типы клапанов, характеристики входной эмульсии;

3) разработать математические модели каждого модуля и схему их взаимодействия для разных конструкций аппарата.

Для повышения точности моделей процессов сепарации необходимо:

1) учитывать сложную геометрическую форму аппарата, что повышает точность расчета уровня фаз;

2) рассчитывать проходное отверстие клапана для определения взаимосвязи угла пово-

рота и выходного потока через клапан, что повышает устойчивость переходных процессов;

3) определять уровни всех фаз в резервуаре (нефть, эмульсия, вода), что повысит качество продукта на выходе;

4) учитывать изменение давления от температуры;

5) учитывать нелинейную взаимосвязь технических параметров параллельно работающих отстойников;

6) учитывать возмущение высоты уровня эмульсии (качество процесса отстаивания), нестабильность входного потока;

7) модульность структуры математической модели.

Модель процесса сепарации можно представить как кибернетическую в виде «черного ящика» (рис. 1).

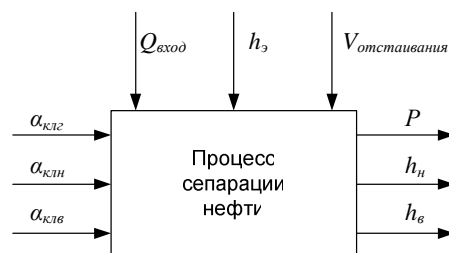


Рис. 1. Черный ящик процесса сепарации

Выходными параметрами являются:

- для аппаратов с газовой шапкой будут давление газа, уровни нефти и воды (P – давление в аппарате, Па; h_n – уровень нефти, м; h_b – уровень воды, м);

- для аппаратов без газовой шапки – уровни нефти и воды.

Входными параметрами – степень открытия автоматических клапанов на выходных труба ($\alpha_{кпг}$ – степень открытия клапана газа, %; $\alpha_{кнл}$ – степень открытия клапана нефти, %; $\alpha_{квл}$ – степень открытия клапана воды, %).

Возмущениями являются входной поток $Q_{вх}$, м³/с; уровень эмульсии $h_э$, м; скорость отстаивания $v_{отстаивания}$.

Модульная схема математической модели процесса сепарации как объекта управления для любой из жидкостей изображена на рис. 2, для газа – на рис. 3.

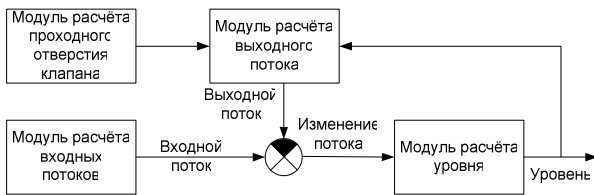


Рис. 2. Модульная схема процесса сепарации для жидкости

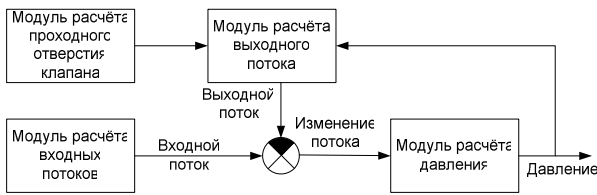


Рис. 3. Модульная схема процесса сепарации для газа

В этих схемах представлены следующие модули.

Модуль расчета проходного отверстия. Площадь проходного отверстия клапана зависит от угла поворота. Для примера рассмотрим дископоворотный клапан (рис. 4).

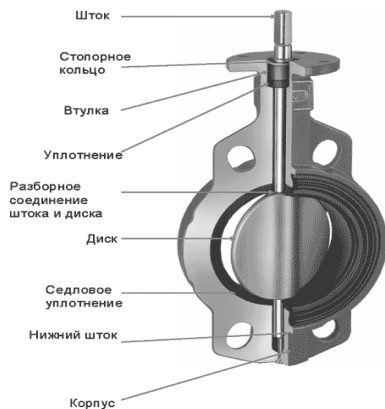


Рис. 4. Дископоворотный клапан

Площадь проходного отверстия можно найти как разность площади сечения трубы и пло-

щади проекции диска клапана на плоскость, параллельную корпусу, как показано на рис. 5. Задача сводится к нахождению площади проекции диска клапана $S_{сеч}$ как функции от угла поворота клапана (в радианах).

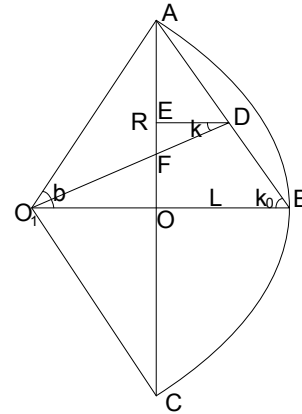


Рис. 5. Проекция клапана

$S_{сеч}$ вычисляем как разницу площади сектора ACO_1 и площади треугольника ACO_1 и получившийся результат умножить на 2, так как рассматривается половина проекции диска клапана.

$$S_{сеч} = (S_{ACO_1} - RR_0)2 = \left(\frac{2 \arcsin\left(\frac{R}{0,5R^2 - (R \cos \alpha)^2} / \frac{R \cos \alpha + R \cos \alpha}{360}\right)}{360} \pi \times \left(0,5 \frac{R^2 - (R \cos \alpha)^2}{R \cos \alpha}\right)^2 - R \left(0,5 \frac{R^2 - (R \cos \alpha)^2}{R \cos \alpha}\right) \right) 2.$$

Модуль расчета уровня. В зависимости от геометрической формы аппарата будет меняться функция, связывающая объем $V_ж$ (м³) с уровнем жидкости $h_ж$ (в м).

Для геометрической формы аппарата, совпадающей с изображенными на рис. 6.

Уровень жидкости $h_ж$ определяется по формуле (2).

$$h_ж = \frac{V_ж}{S_{осн}}, \tag{2}$$

где $S_{осн}$ – площадь сечения основания.

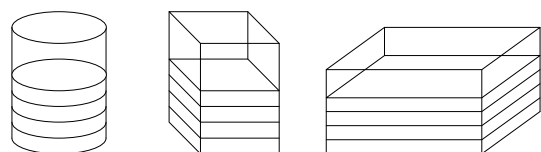


Рис. 6. Простые геометрические формы аппаратов

Для геометрической формы аппарата, совпадающей с изображенными на рис. 7, 8 (3).

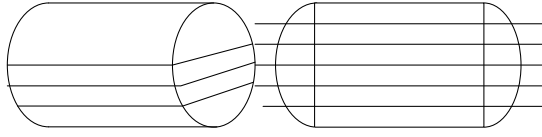


Рис. 7. Сложные геометрические формы аппаратов

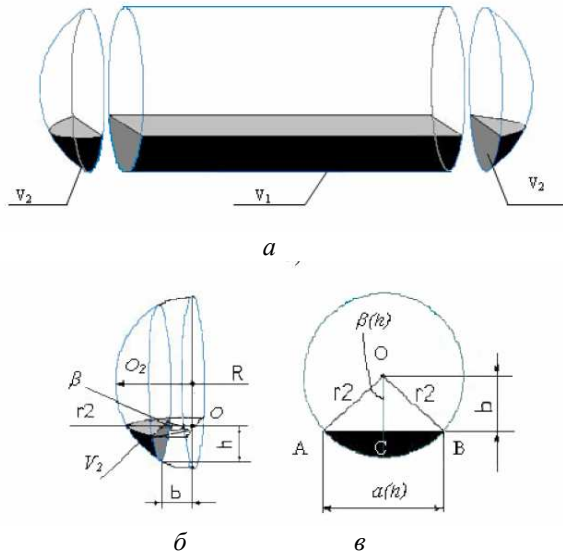


Рис. 8. Расчет сложной геометрической формы аппаратов

$$h_{ж} = \frac{V_{ж} - R_e^2 \alpha L_e + R_e^2 L_e \sin \alpha / 2}{R_e L_e \sin \alpha / 2 + 2S_{сект}}, \quad (3)$$

где R_e – радиус емкости, L_e – длина емкости, α – угол при вершине сектора.

Модуль расчета входных потоков. Этот модуль рассчитывает, сколько выделилось продукта (нефти $Q_{входнефти}$, воды $Q_{входвода}$, газа $Q_{входгаза}$) при определенном входном потоке эмульсии $Q_{вход}$ (сигнальное возмущение), при определенной скорости отстаивания $v_{отстаивания}$ (параметрическое возмущение) (4). Проинтегрировав разность входного потока газонефтяной смеси, поступающей в аппарат и потока эмульсии, выходящей из клапанов (воды или нефти) при нарушении технологии, получим объем оставшейся эмульсии в аппарате. Объем оставшейся эмульсии в аппарате, умноженный на скорость отстаивания равен объему разделившейся эмульсии, которая уже не участвует в процессе разделения, ее необходимо вычесть от входного потока эмульсии. Объем входного потока воды, (нефти, газа) равен объему разделившейся эмульсии, умноженной на $k_{воды}$, ($k_{нефти}$, $k_{газа}$) (коэффициенты содержания нефти, воды и газа в эмульсии, устанавливаются

технологом). Сумма входных потоков нефти, воды и газа равна объему разделившейся эмульсии, вследствие этого сумма коэффициентов $k_{нефти}$, $k_{воды}$, $k_{газа}$ равна единице. Объем разделившейся эмульсии равен сумме входных потоков газа, нефти и воды умноженных на $k_{нефти}$, $k_{воды}$, $k_{газа}$ (коэффициенты содержания нефти, воды и газа в эмульсии, устанавливаются технологом). На выходе этого модуля получаем притоки нефти, воды и газа, являющиеся входными потоками для уравнений баланса газа, воды, нефти.

$$\begin{aligned} Q_{вход} - Q_{выходэм.} &= \frac{v_{отстаивания}}{p + v_{остаивания}} Q_{эм.разд} = \\ &= (k_{нефти} + k_{воды} + k_{газа}) Q_{эм.разд} = \\ &= Q_{входвода} + Q_{входнефти} + Q_{входгаза}, \end{aligned} \quad (4)$$

где p – оператор Лапласа.

Модуль расчета выходного потока. Он определяет поток газа (жидкости), при данном уровне и давлении через проходное сечение отверстие клапана. Выходной поток определяется по формуле:

$$Q_{вых} = S_c v = \varepsilon S_0 \phi \sqrt{2gH}, \quad (5)$$

где S_c – площадь струи, v – скорость потока, H – расчетный напор, который в общем случае равен сумме геометрического и пьезометрического напоров, т. е для жидкости:

$$H = \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g}, \quad (6)$$

где Δz – разность вертикальных координат центров тяжести жидкости в трубе и в аппарате (геометрический напор равен высоте жидкости над трубой), ΔP – избыточное давление в аппарате, $\frac{\Delta P}{\rho g}$ – пьезометрический напор для газа,

ρ – плотность газа:

$$H = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{P}{\rho}, \quad (7)$$

где γ – коэффициент адиабаты, c_p – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, ϕ – коэффициент скорости, ε – коэффициент сжатия. В приближенных расчетах обычно принимают: $\varepsilon = 1$; $\phi = 0,82$; $\gamma = 1,5$.

Согласно уравнению баланса потоков (8), разность входного потока $Q_{вх}$ и выходного потока $Q_{вых}$ равна приращению потока ΔQ . В установленном режиме приращение потока должно быть равно 0.

$$Q_{вх} - Q_{вых} = \Delta Q. \quad (8)$$

Рассмотрим модульную математическую модель для самой распространенной конструкции аппарата для сепарации (отстойник).



Рис. 9. Отстойник с газовой шапкой

Отстойник односекционный с газовой шапкой (рис. 9) модульная схема математической модели сепарации изображена на рис. 10.

Сравним результаты моделирования отстойника с предлагаемыми модулями расчета уровня и проходного отверстия клапана (серый график) и результаты моделирования объекта с использованием статических коэффициентов (черный график) (первый график – нефть, второй – эмульсия, третий – вода). Входной расход $5 \text{ м}^3/\text{с}$, клапаны открыты на 70%. Как видно из графиков, время переходного процесса у модели объекта с коэффициентами больше для каждой фазы, это обусловлено тем, что форма кри-

вой до установившегося значения, зависит от угла поворота клапана, от геометрии клапана и емкости, а статические коэффициенты эти зависимости не учитывают.

На рис. 11 у модели с предлагаемыми модулями установившееся значение нефти и эмульсии больше, а воды меньше. Кроме того, у модели со статическими коэффициентами установившееся значения нефти, эмульсии и воды совпадают, т. е. эта модель показывает, что в аппарате находится вода. Ошибка в определении состава жидкости в аппарате полностью меняет решение об открытии и закрытии клапанов, что приведет к нарушению технологии в этой и последующей емкости, а значит, потере качественного продукта на выходе.

Результаты моделирования показали, что разработанная модульная схема математической модели процесса более точно отображает процесс сепарации нефти, чем модель, построенная на коэффициентах, полученных экспериментальным путем, что позволит при построении системы управления повысить точность и устойчивость переходных процессов, а также качество продукта на выходе.

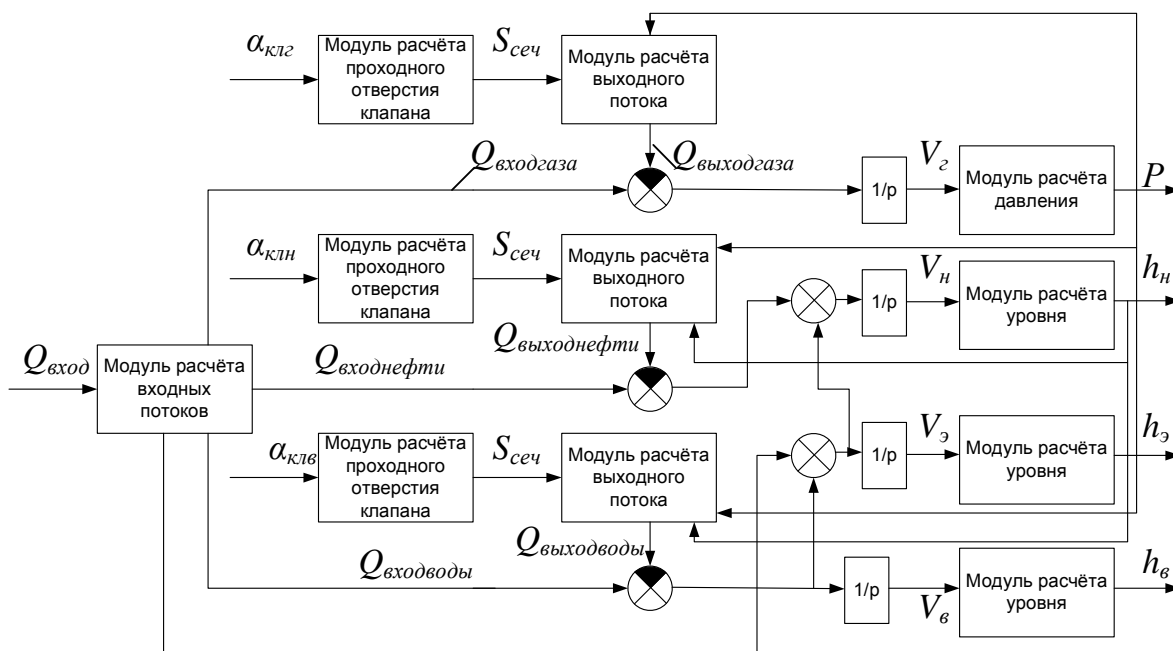


Рис. 10. Модульная схема отстойника с газовой шапкой

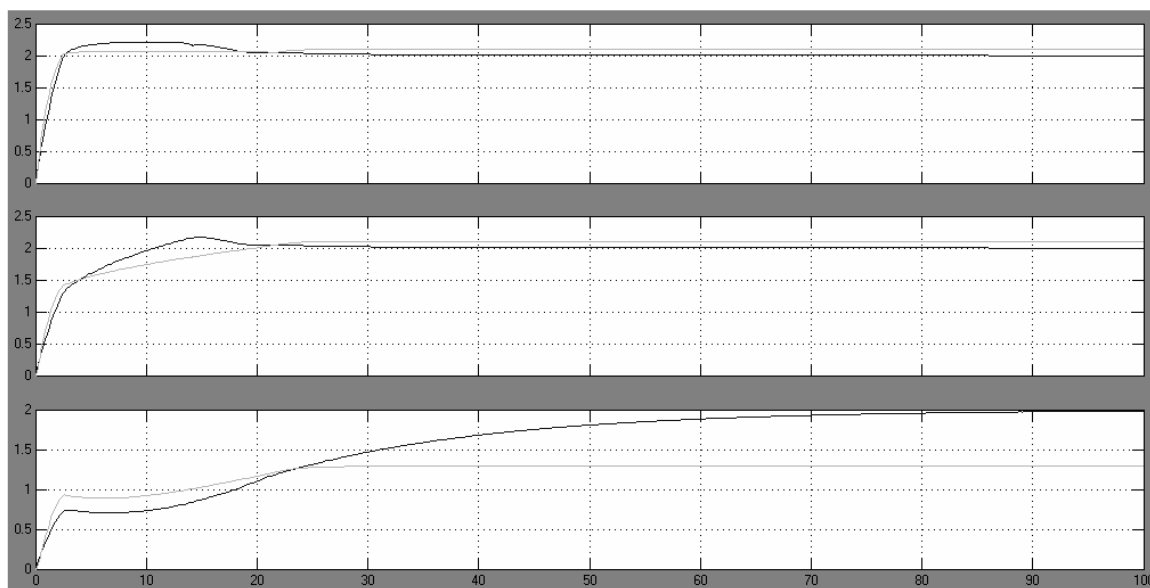


Рис. 11. Результаты моделирования

Данная модель универсальна для любого типа аппарата, так как позволяет выбрать геометрию емкости, вид клапана и изменять свойства входной эмульсии. Для решения проблем управления процессом необходимо построить адаптивную систему, так как многие параметры объекта меняются с течением времени и средства метрологического контроля ограничены, одним из наиболее верных решений будет построение адаптивной системы управления с эталонной моделью. Также необходимо синхронизировать работу адаптивных систем управления каждой подсистемой между собой и разработать алгоритм, корректирующий работу системы в зависимости от «качества процесса отстаивания» (уровня эмульсии). При плохом качестве процесса отстаивания необходимо применять робастные алгоритмы управления для повышения устойчивости переходных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы автоматизации и управления технологическими процессами в машиностроении / В. Ц. Зориктуев [и др.]. Уфа: УГАТУ, 2000. 406 с.
2. Лапшев Н. Н. Гидравлика: учеб. для ВУЗов. М.: Академия, 2007. 269 с.
3. Методы классической и современной теории управления : учебник для вузов / К. А. Пупков [и др.]. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
4. Мирошник И. В., Никифоров В. О. Нелинейное и адаптивное управление сложными объектами. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 984 с.
5. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. М.: Химия, 1979. 568 с.

ОБ АВТОРАХ



Зориктуев Вячеслав Цыденович, проф., зав. каф. автоматиз. технологич. систем. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1963). Д-р техн. наук по технологии машиностроения и АСУ ТП (Мосстанкин, 1990). Иссл. в обл. управления технологич. процессами в машиностроении.



Дребская Юлия Михайловна, асс. каф. АТП. Дипл. магистр по автоматизации и управлению (УГАТУ, 2006). Иссл. в обл. адаптивн. и робастных систем управления, систем управления промышленной подготовкой нефти, повышения качества процесса обезвоживания.



Рощупкин Владимир Викторович, инж., асп. Дипл. инж. по автоматиз. тех. процессов и производств (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. интеллект. систем управления, систем управления промысл. подготовкой нефти, повышения качества.