

На правах рукописи



Артюшкин Илья Вячеславович

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЯНЫХ
ЭМУЛЬСИЙ**

Специальность 05.13.06 – «Автоматизация и
управление технологическими процессами и производствами
(технические системы)»

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Самара 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» (СамГТУ).

Научный руководитель

Рогачев Геннадий Николаевич

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара

Официальные оппоненты

Вережкин Александр Павлович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа

Зеленский Владимир Анатольевич

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Конструирование и технология электронных систем и устройств» ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет», г. Самара

Ведущая организация

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «27» декабря 2018 г. в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.217.07 в Самарском государственном техническом университете по адресу: 443010, г. Самара, ул. Галактионовская, 141, корпус № 6, аудитория 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного технического университета (ул. Первомайская, 18) и на сайте диссертационного совета Д 212.217.07 <http://d21221707.samgtu.ru>.

Отзывы о данной работе в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, СамГТУ, Главный корпус, учёному секретарю диссертационного совета Д 212.217.07, тел.: (846) 278-44-96, факс: (846) 278-44-00; e-mail: 212.217.07@mail.ru.

В отзыве просим указывать почтовый адрес, номер телефона, электронную почту, наименование организации, должность, шифр и наименование научной специальности.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 212.217.07

доктор технических наук, профессор



А. М. Абакумов

Актуальность темы исследования. Нефтегазовый сектор играет важную роль в экономике Российской Федерации. Продажи углеводородов по состоянию на 2016 год составляют по разным оценкам от 8 до 9 процентов ВВП, а также от 40 до 50 процентов доходов бюджета. Нефтедобыча даёт нашей стране сырьё для изготовления многих товаров химической промышленности, а также для использования в мировой торговле.

Россия занимает одно из лидирующих мест в мире по добыче сырой нефти, обладая 9 процентами мировых запасов нефти, первое место в мире по запасам (30 процентов) и первое место по добыче природного газа, а также обеспечивает 12 процентов мировой торговли нефтью и 25 процентов мировой торговли природным газом.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г № 1715-р была утверждена энергетическая стратегия России на период до 2030 года, в которой приоритетными направлениями являются: наращивание объемов разведки и добычи нефти, увеличение доли экспорта продуктов глубокой переработки нефти и газа по сравнению с долей сырьевого экспорта, а также увеличение объёмов переработки нефти внутри страны.

Для обеспечения выполнения этих планов государством предусмотрена Стратегия научно-технологического развития России в 2018-2024 гг., которая устанавливает приоритетные направления научно-технологического развития:

- интеллектуализация производства, переход к цифровым технологиям;
- создание систем искусственного интеллекта, машинного обучения и обработки больших объемов данных;
- повышение результативности добычи и совершенствование технологий переработки нефти и газа.

В процессе добычи нефти одним из основных процессов является отделение извлечённой из продуктивного пласта нефти от воды, так как это позволяет:

- снизить нагрузку и уменьшить затраты электроэнергии на насосное оборудование;
- предотвратить коррозию оборудования из-за растворённых в воде солей.

Помимо этого актуальность исследования обусловлена широким распространением малолюдных или безлюдных технологий на объектах добычи нефти.

Степень разработанности темы исследования. Исследованию проблем, связанных с описанием технологии обезвоживания нефтяных эмульсий, посвящены работы отечественных учёных А.П. Верёвкина, А.Г. Лютова, А.Г. Рзаева, Г.Н. Позднышева, Д.Н. Левченко, В.М. Голицына, В.С. Путохина, В.П. Тронова, В.Д. Рябова, Ю.А. Закожурникова, А.Е. Бортникова, К.Е. Кордика, А.В. Савиных, А.С. Ницина, О.А. Гумовского, Ю.Д. Земенкова. Многочисленные работы в области моделирования процессов подготовки нефти как основы для синтеза законов автоматического управления не привели к разработке универсального варианта описания процесса ввиду узкой области адекватности предлагаемых моделей, что является следствием широкого диапазона изменения качественных характеристик исходного сырья и химического состава добываемой жидкости.

Исследования, посвященные способам управления и автоматизации процессов обезвоживания нефтяных эмульсий, отражены в работах В.И. Логинова, Е.Б. Андреева, А.М. Череха, Ф.М. Абдуллаева, И.Д. Ельцова. Большая часть этих исследований направлена на синтез систем автоматизации в условиях стабильности качества перерабатываемого сырья. Методы решения задач синтеза замкнутых систем управления в реальных условиях неустойчивости этого показателя сравнительно мало разработаны, системы управления процессом обезвоживания имеют недостаточно высокую эффективность.

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности процесса термохимического обезвоживания нефти за счёт применения адаптивной автоматизированной системы регулирования с нейросетевой математической моделью процесса.

Для достижения указанной цели в диссертации решаются следующие **задачи**:

1. Исследование технологического процесса термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий как многомерного многосвязного нелинейного объекта управления.

2. Разработка параметрически идентифицируемой нейросетевой математической модели процесса, связывающей результирующую обводнённость нефти с количеством реагента–деэмульгатора, температурой эмульсии и временем обработки.

3. Разработка адаптивной системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяной эмульсии с эталонной моделью в виде нейронной сети.

4. Оценка эффективности адаптивной системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий по технико-экономическим показателям.

Научная новизна полученных результатов:

1. Предложен способ построения модели процесса термохимического обезвоживания, отличающийся инвариантностью к технологии обезвоживания нефти.

2. Разработана обучаемая на расширенном массиве экспериментальных данных лабораторных исследований численно-аналитическая модель процесса термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий в виде искусственной нейронной сети, отличающаяся учетом величины времени отстаивания.

3. Разработана система управления процессом обезвоживания нефти, отличающаяся наличием нейросетевой эталонной модели и трех контуров адаптации модели и управляющего воздействия (расход реагента-деэмульгатора) к внешним возмущениям.

Теоретическая значимость работы:

1. Выполнена задача исследования и описания процесса термохимического обезвоживания как многомерного многосвязного нелинейного объекта управления.

2. Выполнены задачи разработки модели процесса в виде искусственной нейронной сети, расширения набора обучающих данных для адекватного их представления нейронной сетью, определения архитектуры нейросетевой модели, эффективного метода обучения.

3. Разработана адаптивная система управления процессом термохимического обезвоживания нефтяной эмульсии с эталонной моделью в виде нейронной сети, отличающаяся наличием трех контуров адаптации к внешним возмущениям.

Практическая значимость работы:

1. Создан программный комплекс для управления процессом термохимического обезвоживания нефти, адаптируемый к свойствам добываемой нефти по технико-экономическим показателям.

2. Расчеты экономической эффективности показали экономию расхода реагента-деэмульгатора при сохранении качества обезвоживания.

3. Результаты могут служить основой для разработки универсального программно-технического комплекса подготовки нефти, включающего обезвоживание, обессоливание, сероочистку и другие процессы.

Методология и методы исследования. При решении поставленных в диссертационной работе задач использовались методы теории автоматического управления, теории адаптивного управления, методы идентификации и аппроксимации моделей объектов управления. Численное решение задач осуществлялось на основе методов математического и компьютерного моделирования в программном комплексе MATLAB/Simulink.

Положения, выносимые на защиту:

1. Описание технологического процесса термохимического обезвоживания нефти как многомерного многосвязного нелинейного объекта управления с транспортным запаздыванием на величину времени обработки водонефтяной эмульсии реагентом–деэмульгатором.

2. Способ построения модели многомерного многосвязного объекта управления с использованием искусственной нейронной сети, отличающийся инвариантностью к технологии обезвоживания нефти.

3. Модели зависимости эффективности обезвоживания от входных воздействий на нефти месторождений различных географических регионов в виде искусственной нейронной сети.

4. Система адаптивного управления процессом термохимического обезвоживания с эталонной моделью в виде нейронной сети и тремя контурами адаптации модели и управляющего воздействия (расход реагента-деэмульгатора) к внешним возмущениям.

5. Программно-технический комплекс, реализующий систему адаптивного управления процессом термохимического обезвоживания в режиме реального времени.

Степень достоверности диссертационного исследования обоснована аттестованными способами получения экспериментальных данных, корректностью используемого математического аппарата для расчетов, учетом физико-химических свойств исследуемого процесса.

Апробация результатов. Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы докладывались на научно-практических, научно-технических Всероссийских и международных конференциях.

Основные результаты работы были доложены на IV конкурсе научно-технических работ молодых специалистов АО «Зарубежнефть» и награждены дипломом за победу в секции «Технологии проектирования и обустройства месторождений» в 2016 году.

Результаты диссертационных исследований докладывались на 73-й международной молодежной научной конференции «Нефть и газ - 2017» и были отмечены дипломом за II место в секции «Автоматизация и вычислительная техника в нефтегазовой отрасли».

Результаты исследований Артюшкина И.В. одобрены на заседании научно-технического совета АО «Гипровостокнефть» и рекомендованы к проведению опытно-промышленных испытаний, что подтверждается протоколом заседания от 25.04.2017. Полученная модель процесса разделения эмульсии и система управления были одобрены к внедрению на установке предварительного сброса воды Пашкинского месторождения.

Результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре «Автоматика и управление в технических системах» в курсах «Теория автоматического управления», «Оптимальное и адаптивное управление», «Проектирование систем автоматизации и управления», курсовом проектировании.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ, из них 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК, в том числе 1 – в издании, включенном в международную базу цитирования Scopus.

Основное содержание работы

Во введении отражены проблемы и актуальность диссертационного исследования, степень проработанности, объём и структура работы, основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе изложены общие сведения о процессах добычи нефти. Приведены нормы, согласно которым необходимо обеспечить определённое содержание в нефти воды, солей и механических примесей. Для этого необходимо провести комплекс технологических процессов, каждый из которых требует определённого оборудования, условий проведения, а также участие обслуживающего персонала.

Показано, что наиболее трудоёмкой и часто встречающейся на промысле задачей является обезвоживание. Произведён анализ технологического процесса обезвоживания нефти в установке предварительного сброса воды.

Во втором разделе рассмотрено устройство аппаратов нагрева и отстаивания нефти, разработана модель технологического процесса термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий.

В процессе исследования характеристик нефтяных эмульсий с различных месторождений нефти проведен ряд экспериментов по измерению качества отделения воды от нефти. На основе полученных данных определены управляющие и выходные параметры процесса. В качестве управляющих величин выделены:

1) Q – расход реагента-деэмульгатора в граммах на тонну эмульсии (г/т);

2) t – температура водонефтяной эмульсии в процессе отстаивания ($^{\circ}\text{C}$);

3) T – время отстаивания (мин), то есть время нахождения водонефтяной эмульсии в отстойном аппарате и движения в ламинарном режиме с низкой равномерной скоростью по его сечению.

В качестве выходного параметра процесса взята относительная величина – эффективность разделения эмульсии, которая выражает долю воды, отделившуюся за время отстаивания:

$$E = \frac{W_1 - W_2}{W_1} = f(Q, t, T), \quad (1)$$

где $E \in [0;1]$, W_1 – начальное содержание воды в нефти; W_2 – содержание воды в нефти через время T . Время запаздывания T составляет от 10 до 120 минут и оказывает существенное влияние на процесс обезвоживания.

Значение E показывает влияние деэмульгатора на нефть определённого месторождения. Вид зависимости эффективности обезвоживания от действующих параметров для конкретной нефти при воздействии определённого деэмульгатора, полученный на основе экспериментальных данных лабораторных исследований, приведен на рисунке 1.

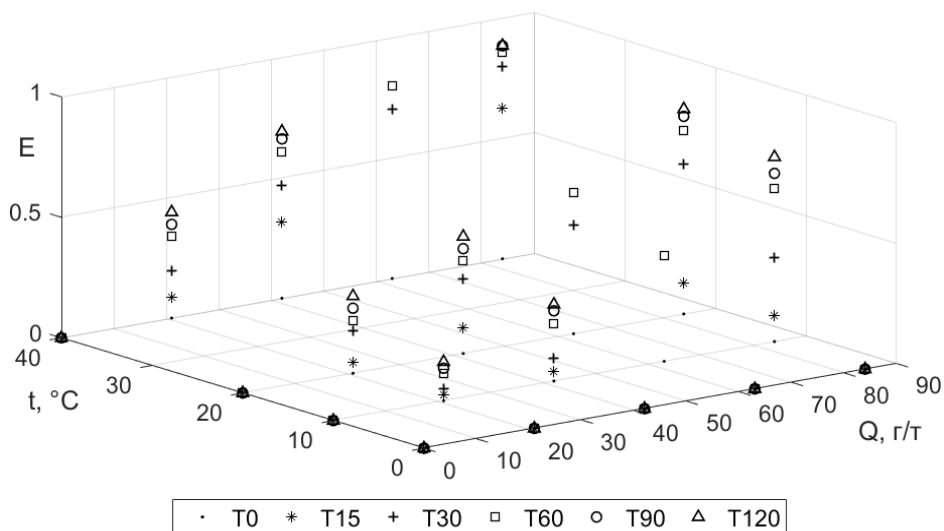


Рисунок 1 – Экспериментальные данные эффективности обезвоживания для времени отстаивания $T=0; 15; 30; 60; 90; 120$ мин.

В исходных таблицах лабораторных исследований нефтяных эмульсий набор данных мал и имеет нерегулярный шаг по значениям параметров. Для расширения обучающего набора данных был применен метод поэлементной интерполяции функции $E = f(Q, t, T)$ кубическими полиномами Эрмита (рис. 2).

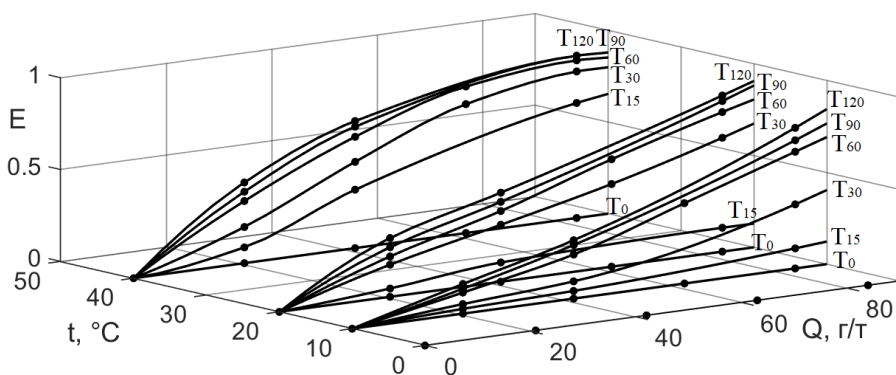
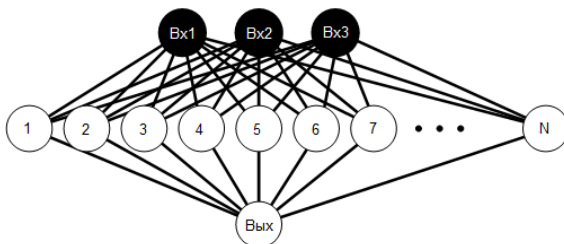


Рисунок 2 – Результат расширения данных по одной оси

В качестве метода моделирования технологического процесса термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий как нелинейного многомерного объекта управления использован нейросетевой метод ввиду его универсальности.

Разработанная модель процесса представляет собой полносвязную нейронную сеть со входным, скрытым и выходным слоями (рис. 3).



Вх1-3 – входные параметры; 1,2...N – нейроны скрытого слоя; Вых – нейрон выходного слоя.

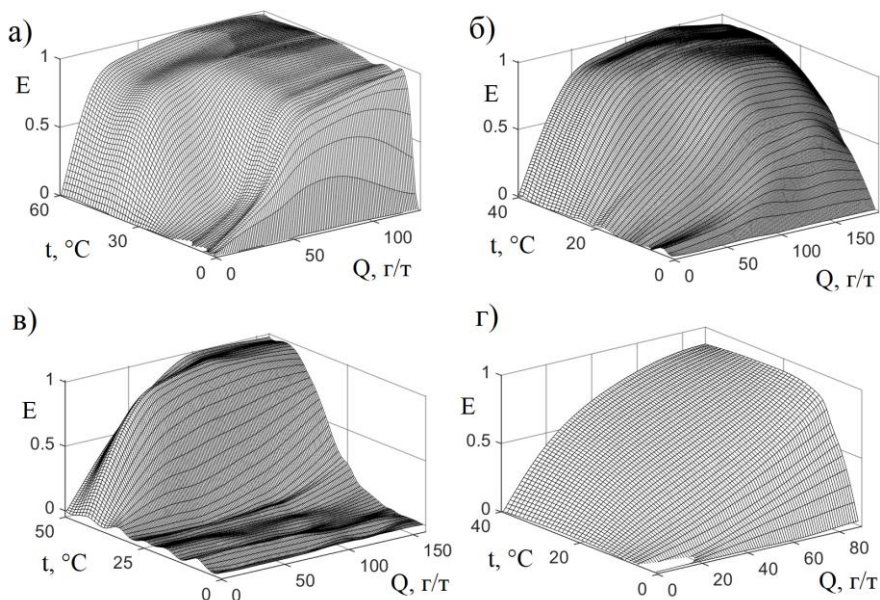
Рисунок 3 – Структура нейронной сети

В качестве критерия качества обучения выбрана среднеквадратичная ошибка (mean squared error – MSE) между реальным выходным значением нейрона и целевым значением:

$$MSE = \frac{1}{2} \sum_j (y_j - d_j)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Путем сравнения показателей среднеквадратичной ошибки различных структур нейронных сетей и методов их обучения, показано преимущество метода Левенберга-Марквардта.

Обученная нейронная сеть имеет показатель среднеквадратичной ошибки 0.014, что на порядок превосходит показатели модели, построенной по методу полиномиальной аппроксимации. Результаты работы моделей процесса обезвоживания нефти для различных месторождений приведены на рисунке 4.



а) Куумбинское м/р; б) Западно-Хоседаюское м/р;
в) Пашкинское м/р; г) Среднеботуобинское м/р.

Рисунок 4 – Модели процесса обезвоживания для нефтей различных месторождений

Третий раздел посвящён разработке системы с упреждающим управлением технологическим процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий с эталонной моделью и тремя контурами адаптации (рис. 5). Для анализа процессов в системе применен метод разделения движений, при котором в каждом контуре адаптации отдельно учитывается только основной действующий параметр:

1. Первый контур производит расчёт управляющих параметров Q и t по заданному значению W_2 . Обладает самым высоким быстродействием в системе управления.

2. Второй контур адаптации производит подстройку управляющего параметра Q под реакцию объекта управления на входные воздействия. Быстродействие этого контура ниже по сравнению с первым контуром, так как для получения реакции объекта управления должно пройти время отставания T , которое может составлять до нескольких десятков минут.

3. Третий контур адаптации предназначен для актуализации модели под изменения параметров объекта управления в процессе эксплуатации. В течение работы установки происходит сбор данных о реакции объекта управления на входное воздействие и полученные данные служат основой для создания новой эталонной модели. Третий контур адаптации целесообразно применять при повторных исследованиях добываемой скважинной жидкости. На поздних этапах освоения месторождения обводнёность и компонентный состав нефти меняется, поэтому актуализация эталонной модели может производиться как периодическая сервисная услуга при обслуживании технологической установки по обезвоживанию нефти.

Адаптивная система обеспечивает поддержание на заданном уровне качества обезвоживания, а также контроль входных параметров процесса Q, t, T .

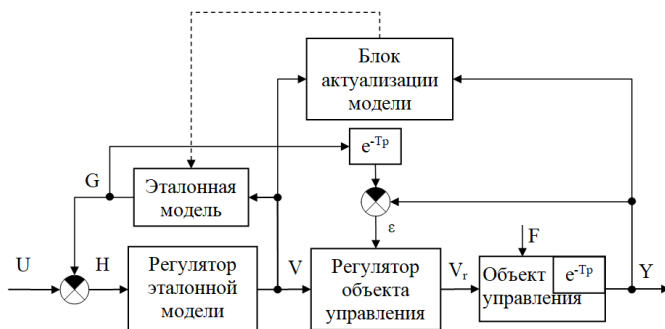


Рисунок 5 – Структура системы управления

Преимущества трехконтурной адаптивной системы заключаются в следующем.

«Быстрый» первый контур адаптации «Эталонная модель – Регулятор эталонной модели» позволяет по заданному входному воздействию подобрать управляющие воздействия на объект управления.

«Медленный» второй контур адаптации «Эталонная модель – Регулятор объекта управления – Объект управления» позволяет адаптировать входное воздействие под реальный объект управления с учетом ошибки рассогласования между выходом модели и выходом объекта управления. В качестве алгоритма компенсации статической ошибки $\varepsilon = Y - G \cdot e^{-Tp}$ выбран интегральный закон. Передаточная функция регулятора объекта управления:

$$W_{pez} = \gamma \frac{1}{p}, \quad (3)$$

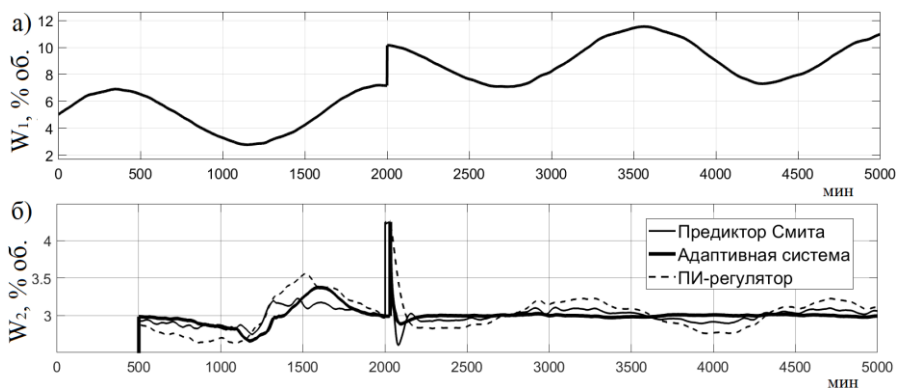
с целью предотвращения насыщения регулятора имеет адаптивный коэффициент интегрирования γ .

Третий контур управления позволяет актуализировать эталонную модель на основе реальных значений управляющих воздействий и выходной величины объекта управления.

Для исследования процесса термохимического обезвреживания нефтяной эмульсии в динамике и установления характера взаимного влияния параметров E, Q, t, T разработана имитационная модель в модуле Simulink программного комплекса MATLAB. Имитационная модель представлена на рисунке 6.

Динамические свойства разработанной адаптивной системы сравнивались с динамическими свойствами систем, традиционно используемых для управления объектами с запаздыванием – системой управления на основе ПИ-регулятора и системой управления с предиктором Смита.

С использованием имитационной модели проведены эксперименты по определению изменений выходной обводненности W_2 при различных изменениях входной обводненности W_1 (рис. 7). Входная обводненность изменяется в пределах от 2 до 12%. Система управления поддерживает заданное значение выходной обводненности W_2 на уровне $3 \pm 0.1\%$.



а) изменения входной обводненности; б) изменения выходной обводненности;

Рисунок 6 – График изменения обводненности

В процессе моделирования оценивалась эффективность комплекса термохимического обезвоживания нефти за счёт применения адаптивной автоматизированной системы регулирования с нейросетевой математической моделью процесса. В качестве критерия эффективности понимается накопленная ошибка управления – интегральный квадратичный критерий вида:

$$\varepsilon_{ynp} = \int_0^T (E^* - E)^2 d\tau, \quad (4)$$

где E – текущее значение доли отделившейся воды, E^* – её заданное значение.

Ещё одним важным критерием эффективности технологического процесса является степень поддержания выходной обводненности W_2 на уровне не выше требуемого. При превышении требуемого уровня W_2 образуется некондиционная нефть, которая требует повторной обработки либо смешивания с безводной нефтью. Накопленное превышение уставки ε_{ycm} характеризует превышение значением выходной обводненности W_2 заданного уровня W_2^* за время T и рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{ycm} = \int_0^T f(\tau) d\tau, \text{ где } f(\tau) = \begin{cases} 0, \text{ при } W_2 < W_2^* \\ W_2 - W_2^*, \text{ при } W_2 > W_2^* \end{cases}. \quad (5)$$

Адаптивная система показала более высокое качество управления в сравнении с ПИ-регулированием и предиктором Смита что следует из значений показателей ошибок. Одновременно происходит снижение расхода деэмульгатора, что уменьшает затраты на подготовку нефти.

При поддержании системами управления заданной выходной обводненности 3% расход деэмульгатора при использовании адаптивной системы меньше по сравнению с ПИ-регулированием на 20%, а по сравнению с предиктором Смита на 15%.

Результаты численных экспериментов по моделированию процесса термохимического обезвоживания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение различных способов управления

Вид управления	Критерий (4)	Критерий (5)	Расход деэмульгатора, г
Режим поддержания уставки $W_2 \pm 0.1\%$		не ограничено	
ПИ-регулятор с уставкой 3%	9.5-10.3	830-902	609557-612637
Предиктор Смита с уставкой 3%	2.64-3.48	353-371	613054-615309
Адаптивная система с уставкой 3%	0.06-0.08	78.68-82.10	540341-551670
Режим фиксированного уровня превышения уставки $W_2 \pm 0.1\%$		~30	
ПИ-регулятор с уставкой 2.5%	6.7-7.1	29.37-30.11	665653-671932
Предиктор Смита с уставкой 2.7%	1.77-1.82	30.68-31.23	644866-647710
Адаптивная система с уставкой 2.9%	0.058-0.104	30.11-30.89	549444-553822

В четвертом разделе сформулированы технические требования к составу комплекса термохимического обезвоживания нефти. Проведен экономический расчёт эффективности применения разработанной системы на реальном технологическом объекте.

Адаптивная система управления с эталонной моделью реализована на базе программно-логического контроллера, который на основе заданной оператором уставки параметра W_2^* производит расчёт необходимой дозировки реагента-деэмульгатора с учетом полученных с датчиков значений параметров:

1. Расход эмульсии на входе, что позволяет рассчитать время пребывания жидкости в аппарате.

2. Температура эмульсии до блока нагрева и после, что позволяет дать прогноз эффективности обезвоживания.

3. Обводненность W_1 до входа в технологическую установку и после выхода из неё W_2 , что позволяет рассчитать эффективность обезвоживания и рассчитать управляющие воздействия.

Предложенная схема комплекса термохимического обезвоживания нефти представлена на рисунке 8.

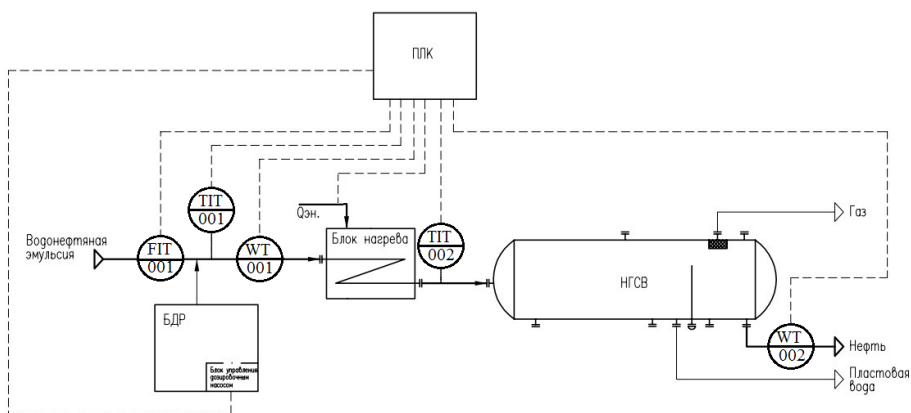


Рисунок 8 – Технологическая схема комплекса термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий

Накопленные архивные данные со значениями параметров работы данной установки используются для актуализации модели процесса обезвоживания и применяются в третьем контуре адаптации системы управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении перечислены основные результаты проведённых исследований:

1. В работе решена задача описания процесса термохимического обезвоживания как объекта управления. Изучены нелинейные свойства объекта управления, не позволяющие эффективно применять к нему стандартные способы управления линейными объектами. Показано наличие транспортного запаздывания и неопределенности параметров.

2. Решена задача параметрической идентификации и построения модели процесса в виде искусственной нейронной сети, определения архитектуры нейросетевой модели, метода обучения.

3. Предложен подход к построению адаптивной системы управления процессом термохимического обезвоживания, заключающийся в использовании искусственной нейронной сети в качестве генератора управляющих сигналов для исполнительных устройств. При этом осуществляется управление эффективностью

разделения нефтяной эмульсии с учетом заданного конечного и фактического начальных значений содержания воды в нефти, а также фактических значений расхода и температуры нефтяной эмульсии, поступающей на обезвоживание.

4. Решена задача построения системы адаптивного управления. Разработана структура системы управления, которая может интегрироваться как в действующие промышленные установки, так и во вновь вводимые установки подготовки нефти.

5. Проведена оценка эффективности разработанной адаптивной системы управления, как накопленной ошибки управления и накопленного превышения уставки между заданным значением обводненности на выходе и его реальным значением. Показано, что при адаптивном управлении обеспечивается 10%-ное повышение точности управления по сравнению с типовым режимом обезвоживания. При этом экономия реагента-деэмульгатора по сравнению с традиционным способом управления составляет 20%.

6. Обоснована практическая ценность работы и представлены дальнейшие перспективы развития полученных результатов как основы для разработки универсального программно-технического комплекса подготовки нефти, включающего обезвоживание, обессоливание, сероочистку и другие процессы.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В научных изданиях, индексируемых в базе Scopus:

1. **Артюшкин, И.В.** Возможность создания комплексной экспертной автоматизированной системы управления процессом промысловой подготовки нефти [Текст] / И.В. Артюшкин // В науч.-тех. журнал: Нефтяное хозяйство. – М.: – 2016. – № 6 (1113). – С. 29-31.

В рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ:

2. **Артюшкин, И.В.** Внедрение комплексной системы автоматизированного проектирования в проектном институте [Текст] / И.В. Артюшкин // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки – Самара: СамГТУ. – 2014. – № 4 (44). – С 7-16.

3. **Артюшкин, И.В.** Разработка автоматической системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий на основе искусственной нейронной сети [Текст] / И.В. Артюшкин, А.Е. Максимов // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та.

Сер.: Технические науки – Самара: СамГТУ. – 2017. – № 1 (53). – С 7-15.

4. **Артюшкин, И.В.** Нейросетевое моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии на основе неполных экспериментальных данных [Текст] / И.В. Артюшкин // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки – Самара: СамГТУ. – 2018. – № 3 (59). – С. 7-17.

Публикации в других изданиях:

5. **Артюшкин, И. В.** Силикатно-эмалевые покрытия для промысловых трубопроводов [Текст] / В. Н. Артюшкин, И. В. Артюшкин. // Актуальные проблемы науки и техники: материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых: в 2 т. Т. 1. – Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. – 226 с.

6. **Артюшкин, И.В.** Технология автоматизированного проектирования объектов АСУТП на базе САПР AutomatiCS и ModelStudioCS [Текст] / И.В. Артюшкин, Т.Н. Гильмутдинова, А.В. Глязнецова // Ашировские чтения: Сб.трудов Международной научно-практической конференции. Том 1 - Самара: Самар.гос.техн.ун-т, 2014.-293 с.

7. **Артюшкин, И.В.** Опыт применения САПР AutomatiCS в отделе АСУТП при проектировании нефтепровода «Среднеботуобинское НГКМ – трубопроводная система ВСТО с узлом подключения в районе города Ленск. Вторая очередь» [Текст] / И.В. Артюшкин, Т.Н. Гильмутдинова, Р.О. Антонов, Д.Н. Павлычев // Разработка и обустройство нефтяных месторождений. Информационные технологии в проектировании: сборник научных трудов ОАО «Гипровостокнефть» – Самара: 2014. – 400 с.

8. **Артюшкин, И.В.** Внедрение комплексной системы автоматизированного проектирования АСУТП в проектный институт [Текст] / И.В. Артюшкин // Сборник докладов участников научно-технических конференций молодых специалистов. – Вып. 3. – ООО «РН-Гипровостокнефть», Самара: 2015. –С. 105-108.

9. **Артюшкин, И.В.** Использование современных информационных технологий для проектирования автоматизированных систем управления в нефтегазовой отрасли [Текст] / И.В. Артюшкин // Нефть и газ Западной Сибири: материалы международной научно-технической конференции. Т. 3. Проектирование, сооружение и эксплуатация систем транспорта и хранения нефти и газа.

Автомобильно-дорожные проблемы нефтегазового комплекса. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 27-32.

10. Артюшкин, И.В. Повышение экономической эффективности выполнения проектных работ с использованием средств современных информационных технологий [Текст] / И.В. Артюшкин // В сб.: Ашировские чтения: Сб.трудов Международной научно-практической конференции. – Самара: Самар.гос.техн.ун-т, 2015. – 339-342

11. Артюшкин, И.В. Разработка автоматической системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий на основе искусственной нейронной сети [Текст] / И.В. Артюшкин, А.Е. Максимов // В сб. тезисов 71-международной молодежной научной конференции «Нефть и газ 2017» - Т.3, Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2017. – с. 8.

Автореферат отпечатан с разрешения
диссертационного совета
Д 212.217.07

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
(протокол №10 от 19 октября 2018г)

Формат 60x84 1/16. Уч. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №646
Отпечатано на ризографе.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Отдел типографии и оперативной печати
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244