

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 665.622.43.046.6:681.513.66

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И.В. Артюшкин, А.Е. Максимов

Институт по проектированию и исследовательским работам в нефтяной промышленности
«Гипровостокнефть»
Россия, 443041, г. Самара, ул. Красноармейская, 93

Рассмотрены проблемы, возникающие при управлении процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий. Осуществлен системный анализ процесса термохимического обезвоживания как объекта управления: выделены основные управляющие параметры, определена управляемая величина. Предложена структура адаптивной системы управления с эталонной моделью, основу которой составляет искусственная нейронная сеть, обученная на экспериментальных данных и воспроизводящая их в рабочем диапазоне изменения параметров процесса термохимического обезвоживания. При этом осуществляется управление эффективностью разделения нефтяной эмульсии с учетом заданного конечного и фактического начального значений содержания воды в нефти, а также фактических значений расхода и температуры нефтяной эмульсии, поступающей на обезвоживание.

Ключевые слова: обезвоживание нефти, нейронная сеть, адаптивная система управления.

Введение

В процессе добычи практически вся нефть извлекается из скважин в виде эмульсии из нефти и пластовой воды. Эмульсией называется дисперсная система, образованная взаимонерастворимыми жидкостями.

По своей природе эмульсии являются термодинамически неустойчивыми системами. Это приводит к тому, что в состоянии покоя капли укрупняются и эмульсия постепенно расслаивается. Чем быстрее происходит этот процесс, тем менее устойчива эмульсия.

Устойчивость эмульсий существенно зависит от наличия в них природных эмульгаторов, снижающих межфазное поверхностное натяжение, а следовательно, уменьшающих суммарную свободную энергию системы, что в конечном итоге приводит к ее повышению.

*Илья Вячеславович Артюшкин, ведущий инженер, аспирант.
Алексей Евгеньевич Максимов, руководитель группы технологического отдела № 2.*

Высокое содержание воды в нефти увеличивает нагрузку на насосное оборудование при транспортировке жидкости, к тому же растворенные в пластовой воде соли вредят работе технологического оборудования, снижая срок его службы. Поэтому на ранних этапах важно отделить от нефти как можно больше воды с растворенными в ней веществами.

Автоматическое управление таким сложным процессом, как обезвоживание нефтяной эмульсии, связано с определенными трудностями, возникающими из-за недостаточной изученности процессов подготовки нефти и отсутствия адекватных моделей, которые можно использовать при разработке системы автоматического управления (САУ).

Первые разработки в области автоматического управления процессами подготовки нефти появились еще в 50-х, 60-х годах прошлого века. Вначале они были нацелены не на автоматическое управление процессами, а только на регулирование отдельных технологических параметров. В последующих работах уже решались задачи разработки структурных схем систем автоматического управления процессами подготовки нефти и их информационного обеспечения. Проводились многочисленные исследования в области статистического моделирования процессов подготовки нефти для построения их моделей как основы для разработки законов автоматического управления исследуемыми процессами [1, 2]. Однако применение статистических моделей при построении систем автоматического управления процессами подготовки нефти не привело к ожидаемому результату ввиду узкой области адекватности моделей управления и широкого диапазона изменения качественных характеристик исходного сырья.

Несмотря на имеющиеся наработки в области моделирования процессов подготовки нефти, автоматические системы управления процессом обезвоживания не получили в настоящее время широкого распространения в нефтяной промышленности.

Возникшая проблема привела к проведению ряда исследований, связанных с разработкой методов, которые позволяют расширить область адекватности математических моделей. Подбор специальных классов функций для описания процессов обеспечил расширение области применимости получаемых моделей.

Другой подход к объекту моделирования, основанный на аналитическом моделировании исследуемых процессов, начал развиваться в конце 60-х годов. Известные на сегодня аналитические модели отдельных звеньев процессов подготовки нефти [3, 4] могут служить основой для разработки законов управления при создании автоматической системы управления.

Несмотря на имеющиеся наработки в области моделирования процессов подготовки нефти, автоматические системы управления процессом обезвоживания не получили в настоящее время широкого распространения в нефтяной промышленности.

Описание технологического процесса термохимического обезвоживания

Процесс разделения водонефтяной эмульсии условно можно разделить на следующие стадии:

Стадия 1. Разрушение бронирующих оболочек капель воды. Дестабилизация эмульсии.

Стадия 2. Осаждение капель через границу раздела фаз и коалесценция.

Рассмотрим факторы, влияющие на скорость и эффективность каждой стадии процесса разделения водонефтяной эмульсии.

Эффективность разрушения бронирующих оболочек зависит от типа деэмульгатора, его дозировки, а также от гидродинамического и вязкостно-температурного режимов.

Повышение температуры при дестабилизации нефтяной эмульсии приводит к увеличению эффективности работы деэмульгатора – сокращению его расхода и уменьшению длительности срабатывания. Это обусловлено, с одной стороны, изменением активности и диффузионной поверхности деэмульгатора, с другой – ослаблением адсорбционных и механических свойств эмульгирующих веществ.

Кроме того, на эффективность процесса осаждения капель существенно влияет гидродинамический режим отстойника. Чем больше время пребывания эмульсии в аппарате, тем эффективнее процесс разделения водонефтяной эмульсии в целом, при этом на продолжительность отстоя влияют помимо вязкостно-температурных характеристик среды также и конструктивные особенности аппарата, такие как полезный объем.

На скорость осаждения капли воды также влияет увеличение ее размера. В процессе подогрева нефти, ее транспортирования и последующего отстоя капли воды могут приближаться друг к другу вследствие разности скоростей осаждения либо за счет диффузионных механизмов. При благоприятных условиях сблизившиеся капли могут коалесцировать, что приводит к укрупнению капель и увеличению скорости их оседания. Необходимым условием для коалесценции сблизившихся капель является отсутствие на них оболочек из эмульгирующих веществ, препятствующих этому процессу.

Коалесценция в процессе разделения эмульсии необходима, так как она обуславливает переход оседающих капель через границу раздела фаз. Чем слабее коалесценция, тем больше высота эмульгированного промежуточного слоя.

Таким образом, разделение водонефтяных эмульсий определяется разрушением бронирующих оболочек капель воды, осаждением взвешенных капель и их коалесценцией со сплошной фазой. На скорость этих процессов в значительной степени влияют:

- расход реагента-деэмульгатора;
- температура подогрева разделяемой эмульсии;
- продолжительность отстоя.

Регулируя перечисленные параметры, можно управлять эффективностью разделения эмульсии.



Рис. 1. Значения выходной величины

Управляемой величиной процесса разделения водонефтяной эмульсии можно считать долю отделившейся воды по завершении процесса, выраженную

в процентах от общего количества воды, содержащейся в исходной эмульсии.

Значение управляемой величины в процессе обезвоживания необходимо удерживать в зоне значений, близких к технологической уставке. На рис. 1 приведен график изменения управляемой величины во времени. Выход значения обводненности за верхний предел обозначенной зоны означает получение некондиционной нефти с большим содержанием воды. Слишком низкое значение является следствием перерасхода деэмульгатора либо чрезмерно высокой температуры нагрева эмульсии, что приводит к снижению экономической эффективности процесса.

Адаптивная система управления процессом термохимического обезвоживания

Объектом управления является установка термохимического обезвоживания нефтяной эмульсии, в состав которой входят блок дозирования реагента-деэмульгатора, блок нагрева эмульсии и дегидратор (отстойник, трехфазный сепаратор). Блок термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий может являться как отдельной установкой, так и составной частью более крупного объекта подготовки нефти.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 2.

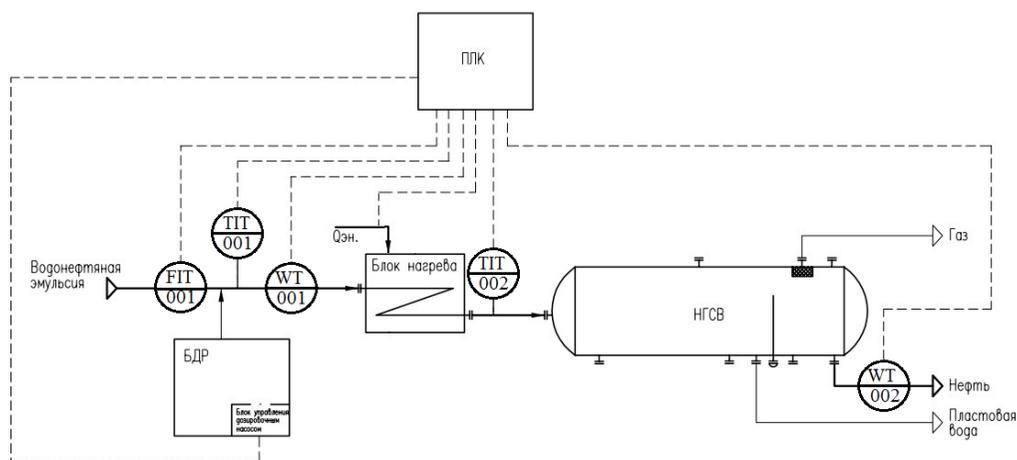


Рис. 2. Блок-схема установки обезвоживания

На данной схеме имеются обозначения: FIP001 – входной расходомер; TPT001 – датчик температуры до нагревателя; TPT002 – датчик температуры после нагревателя; WT001, WT002 – поточные влагомеры нефти; БДР – блок дозирования реагента; ПЛК – программируемый логический контроллер.

Существующие системы управления разной степени сложности, представленные на всех объектах подготовки нефти, выполняют локальные функции действующего регламента, отвечая эксплуатационным потребностям технологических линий и процессов. Как правило, это системы стабилизации отдельных технологических параметров, таких как расход, температура, уровни в технологических аппаратах и т. д.

Автоматические системы управления качественными характеристиками выпускаемой продукции, такими как остаточное содержание воды в товарной нефти, в свою очередь практически полностью отсутствуют, а их роль возложена

на обслуживающий персонал технологических установок. Однако большое количество информационных параметров, характеризующих качество ведения процессов подготовки нефти, а также сложность взаимосвязей между этими параметрами делают задачу управления, которую должен решить оператор, не только сложной, но зачастую и непосильной. Поэтому оператор решает ее только в некотором грубом приближении, что недопустимо при требуемом высоком уровне качества подготовки, высоких требованиях по энергоэффективности производства и экономии расходных материалов.

Авторами предложен альтернативный способ построения автоматизированной системы управления на основе искусственной нейронной сети (ИНС). По известным данным (заданному конечному и фактическому начальному значениям содержания воды в нефти, фактическим значениям расхода и температуры нефтяной эмульсии, поступающей на обезвоживание) ИНС выступает в роли математической модели объекта управления и автоматически генерирует управляющие сигналы для исполнительных устройств.

Система управления

На рис. 3 представлена предлагаемая система управления процессом обезвоживания нефтяной эмульсии. Это – адаптивная система управления с эталонной моделью.

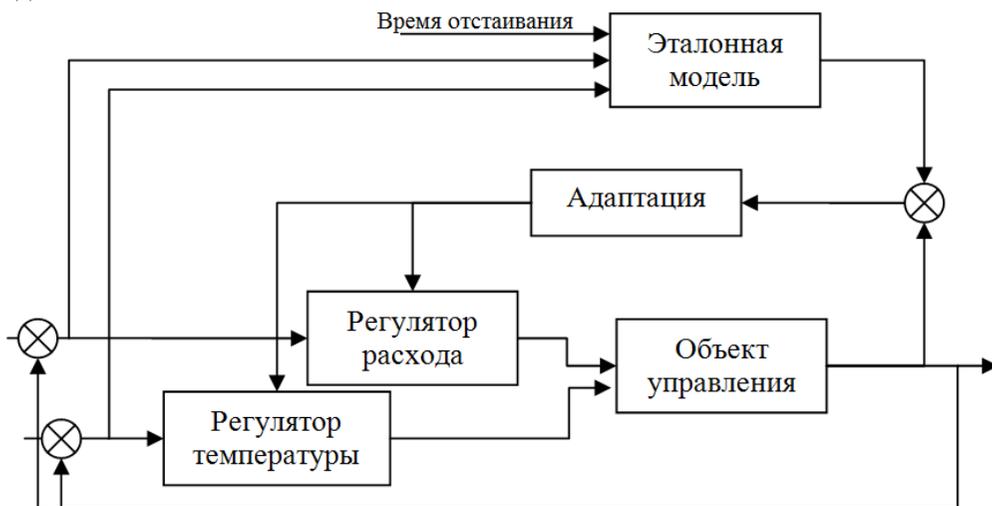


Рис. 3. Структура системы управления процессом обезвоживания

Искусственная нейронная сеть является эталонной моделью. На ее вход подается рассчитанное время отстаивания нефтяной эмульсии, а также управляющие параметры – расход деэмульгатора и температура нагрева. Регулятор производит выбор значений управляющих параметров, основываясь на реакции нейронной сети, на входные воздействия.

Рассчитанные значения управляющих величин подаются на объект управления.

Механизм адаптации производит подстройку управляющих параметров в блоках «Регулятор расхода» и «Регулятор температуры» с учетом реакции эталонной модели и аппарата термохимического обезвоживания на эти параметры, а также на основе прямых и косвенных измерений необходимых переменных с использованием датчиков или вычислительных блоков.

Эталонная модель включена параллельно объекту управления. Значения управляющих воздействий корректируются с помощью программно-логического механизма адаптации. Регулятор пропорционально увеличивает или уменьшает значения управляющих параметров, основываясь на разнице выходов нейронной сети и объекта управления в установившемся режиме.

Механизм адаптации производит подстройку управляющих параметров с учетом реакции эталонной модели на эти параметры, а также на основе прямых и косвенных измерений необходимых переменных с использованием датчиков или вычислительных блоков.

Выходные значения блоков «Регулятор расхода» и «Регулятор температуры» являются управляющими воздействиями для аппарата термохимического обезвоживания.

Выходным значением объекта управления является измеренная на выходе из аппарата обводненность нефти.

Искусственная нейронная сеть как ключевой элемент системы управления

Нейронные сети можно рассматривать как современные вычислительные системы, преобразующие информацию по образу процессов, происходящих в мозге человека. Обработываемая информация имеет численный характер, что позволяет использовать нейронную сеть в качестве модели объекта с нечеткими или неопределенными характеристиками.

При разработке системы управления процессом разделения водонефтяной эмульсии авторами была построена искусственная нейронная сеть, которая была обучена на экспериментальных данных, взятых из отчета о НИР по разработке технико-технологических рекомендаций по подготовке нефти Среднеботуобинского НГКМ, выполненного специалистами промышленного отдела АО «Гипровостокнефть».

В отчете представлено определение технологических параметров процесса предварительного обезвоживания искусственных эмульсий, таких как тип и удельный расход реагента-деэмульгатора, продолжительность и температура отстаивания эмульсии, обработанной реагентом. В качестве основных исходных данных были использованы результаты теплотехнического обезвоживания нефти Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения I ступени при температуре 10; 20; 40 °С, времени отстаивания 15; 30; 60; 90; 120 минут и расходе реагента 0; 21; 42; 63; 84 г/т нефти для наиболее эффективного по результатам исследований деэмульгатора – Диссольван-5592. В сводной таблице представлены результаты теплотехнического обезвоживания нефти Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения (составлена на основе таблиц из отчета о НИР).

Для воспроизведения экспериментальных данных была построена нейронная сеть из двух слоев нейронов: скрытого и выходного. Также имеются входные нейроны, число которых соответствует числу входных параметров – 3 (расход деэмульгатора, температура нагрева и время отстаивания). Число нейронов в выходном слое соответствует числу выходов – 1.

Нейронная сеть была обучена на расширенном диапазоне экспериментальных данных методом Левенберга – Марквардта.

**Сводная таблица результатов теплохимического обезвоживания нефти
Среднеботуобинского НГКМ**

Реагент	Температура, °С	Расход реагента		Отделилось воды, %, за время отстаивания мин					Содержание воды в нефти, % об., после отстаивания, мин				
		г/м ³ жидк.	г/т нефти	15	30	60	90	120	15	30	60	90	120
Диссольван - 5592	10	15	21	2,7	5,4	13,6	16,3	19,0	18,7	18,2	17,0	16,6	16,1
		30	42	5,6	11,2	28,2	33,9	36,7	18,4	17,4	14,6	13,6	13,1
		60	84	11,4	40,0	60,6	74,3	80,0	17,1	12,5	7,0	5,8	4,5
	20	15	21	5,3	21,0	26,3	31,6	36,8	19,1	16,5	15,6	14,6	13,6
		30	42	12,9	36,1	43,8	49,0	54,1	17,9	13,8	12,3	11,3	10,3
		60	84	15,5	67,0	79,9	82,2	85,1	17,4	7,6	4,8	3,6	3,0
	40	15	21	10,4	23,4	39,1	44,3	49,5	18,1	15,9	13,1	12,1	11,1
		30	42	36,8	52,6	65,8	71,7	73,7	13,5	10,5	7,8	6,7	6,1
		60	84	67,7	88,5	88,5	9,1	91,1	7,4	4,0	2,8	2,3	2,3
Холостой		0	0	0	0	0	0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	

Результат, генерируемый обученной ИНС, представлен на рис. 4, где Q – расход деэмульгатора, t – температура эмульсии.

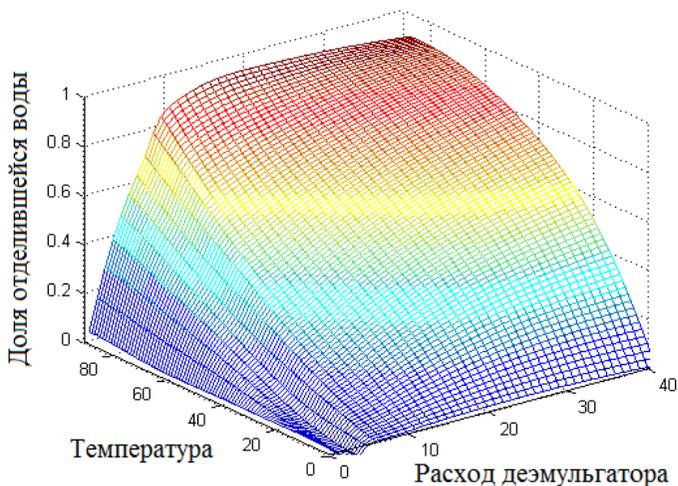


Рис. 4. Выход нейронной сети для времени отстаивания 120 мин

На рис. 5, а, б, в для сравнения представлены графики экспериментальных данных (сплошная линия) и результата моделирования нейросети (линия с точками).

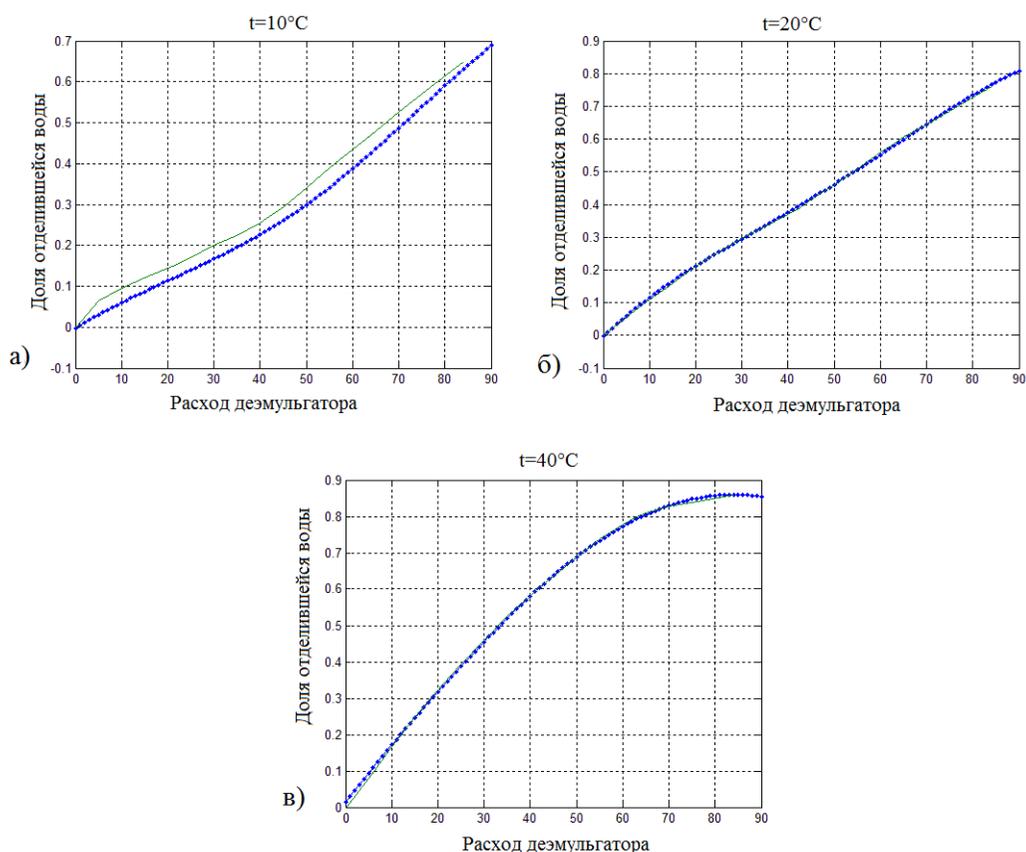


Рис. 5. Доля отделившейся воды при времени отстаивания 60 минут:
a – при температуре 10 °С; *б* – при температуре 20 °С; *в* – при температуре 40 °С

Заклучение

Предложен подход к построению автоматической системы управления процессом термохимического обезвоживания, заключающийся в использовании в качестве генератора управляющих сигналов для исполнительных устройств искусственной нейронной сети. При этом осуществляется управление эффективностью разделения нефтяной эмульсии с учетом заданного конечного и фактического начального значений содержания воды в нефти, а также фактических значений расхода и температуры нефтяной эмульсии, поступающей на обезвоживание.

Разработанная структура системы управления может интегрироваться в действующие промышленные установки, а также проектироваться для новых установок подготовки нефти. При этом разработка эталонной модели должна проводиться индивидуально для каждого объекта с учетом характерных свойств и состава обрабатываемой в нем нефтяной эмульсии.

Представленная АСУ может являться составной частью общей автоматической системы управления объектом подготовки нефти в целом, включающим помимо ступени обезвоживания ступень электрообессоливания, а также все сопутствующие процессы (дегазация, нагрев, перекачка и т. д). Основой подобной общей системы управления будут являться одна или несколько искусственных нейронных сетей. При этом оперативное управление такими сложными произ-

водственными объектами, как установки подготовки нефти, будет значительно упрощено. Такая система является одним из шагов на пути внедрения безлюдных технологий производства, так как позволяет создать автономную установку, не требующую постоянного присутствия оперативного персонала для ее обслуживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Путохин В.С. Математическое моделирование технологического процесса обезвоживания нефти на промыслах // Нефть и газ. – М.: МИНХ и ГП, 1977. – С. 37-42.
2. Путохин В.С. Статистическая модель управления процессом подготовки нефти // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1979. – № 9. – С. 9-12.
3. Абдуллаев Ф.М. и др. Синтез алгоритмов оптимального управления процессами комплексной подготовки нефти // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1981. – № 1. – С. 14-16.
4. Рзаев А.Г. Оптимизация технологических процессов термохимического обезвоживания и обессоливания нефти // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1981. – № 3. – С. 14-16.
5. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск, 2006.
6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – М.: Наука, 1975.
7. Голицын В.М. Контроль процессов подготовки нефти на промыслах. – М.: Недра, 1972.
8. Джонс М. Тим. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. – Москва, 2004.
9. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. 2-е изд. – Киев, 1988.
10. Каплан Роберт. Основные концепции нейронных сетей. – М., 2001.
11. Логинов В.И. Обезвоживание и обессоливание нефтей. – М.: Химия, 1979.
12. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М.: Недра, 1982.
13. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2006.
14. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – Казань, 2000.
15. Хайкин Саймон. Нейронные сети. 2-е изд. – М., 2006.
16. Черек А.М. Разработка метода оптимального автоматического управления процессами обезвоживания и обессоливания: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1984.

Статья поступила в редакцию 2017 г.

AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM DESIGN FOR THERMO-CHEMICAL DEHYDRATION BASED ON NEURAL NETWORK

I.V. Artyushkin, A.E. Maximov

Institute for design and research in oil industry «Giprovostokneft»
93, Krasnoarmeiskaya st., Samara, 443041, Russian Federation

Problems appearing while controlling thermochemical oil emulsion dehydration are shown. System analysis of thermochemical oil emulsion dehydration process is made. Main control and controllable parameters are found. Adaptive control system with master model is introduced. Artificial neural network trained on experimental data and reproducing it in operating range of the thermochemical oil emulsion dehydration process is proposed. Effectiveness of oil emulsion separation with considering both preassigned and actual initial oil humidity is controlled. Also actual flow rate and oil emulsion temperature for dehydration are controlled.

Keywords: oil dehydration, neural network, adaptive control system.

*Ilya V. Artyushkin, Lead Engenner.
Aleksey E. Maximov, Team Leader.*