

ЕЛЬЦОВ Игорь Дмитриевич

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
ПОДГОТОВКИ НЕФТИ
ПО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

Специальность 05.13.06

**«Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Уфа 2007

Работа выполнена на кафедре автоматизации
химико-технологических процессов
в Уфимском государственном нефтяном техническом университете

Научный руководитель д-р техн. наук, проф.
ВЕРЕВКИН Александр Павлович

Официальные оппоненты д-р техн. наук, проф.
ЛЮТОВ Алексей Германович

канд. техн. наук
МУРТАЗИН Тимур Мансурович

Ведущая организация ГУП «Институт проблем транспорта
энергоресурсов», г. Уфа

Защита диссертации состоится «18» мая 2007 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12, УГАТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «__» _____ 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.



Миронов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Повышение качества и конкурентоспособности продукции нефтедобычи и нефтепереработки невозможно без оптимизации функционирования всех этапов производства, начиная с добычи нефти, ее транспортировки, разделения на товарную нефть и подтоварную воду, дегазации и т.д. В качестве критериев оптимизации выступают как показатели качества продукции (обводненность нефти, содержание нефти в подтоварной воде и др.), так и показатели технико-экономической эффективности (ПТЭЭ): удельные материало- и энергозатраты, технологическая себестоимость, прибыль, выручка и др.

Проблема оптимизации работы технологических установок переработки нефти в динамических режимах и подходы к ее решению описаны в литературе, однако для процессов добычи нефти таких работ нет. Не достаточно изучено также влияние технологических параметров на составляющие элементы показателей качества (ПК) продукции и ПТЭЭ. Трудности управления существенно возрастают при вариантах технологий с использованием нескольких параллельно работающих технологических ниток. В частности, достаточно широко в настоящее время используются блочные установки подготовки нефти на аппаратах типа «Maloney» (AM), в том числе и отечественного производства, когда параллельно работают до пяти аппаратов.

На эффективность технологических процессов транспортировки водонефтяной эмульсии и ее разделения оказывают влияние такие факторы как скачкообразный характер изменения расхода и давлений подаваемой жидкости, изменение вязкости жидкости, выделение газа, дискретный характер срабатывания противоаварийных защит и т.д. Это приводит к неэффективности ручного и автоматического управлений процессами в классах традиционных структур АСР, которые сопровождаются включениями/отключениями насосных агрегатов, сепараторов, значительными колебаниями ПК продуктов. Большие возможности повышения эффективности управления процессами в смысле ПТЭЭ связаны с нижним уровнем автоматизированных систем – АСУТП. Необходимо отметить, что возможности современной техники и технологий управления позволяют ставить и решать задачи оперативного управления производством.

В связи с этим несомненный интерес представляют задачи оценки экономической эффективности оперативного управления процессами подготовки нефти по ПТЭЭ.

Задача разработки АСУТП в динамических режимах по ПК и ПТЭЭ является актуальной. Решение задачи связано с использованием систем управления (СУ) каскадной структуры и включающих в себя модели технологических процессов и расчета ПК и ПТЭЭ.

Данная работа направлена на разработку концепции построения подобных СУ применительно к процессам подготовки нефти.

Задача оперативного управления по ПК и ПТЭЭ рассматривается на примере системы параллельно работающих AM.

Анализ путей улучшения процессов управления и разработки перспективных вариантов СУ основан на системном подходе с использованием идеологии имитационного моделирования. Процедура оптимизации управлений включает этапы сбора и обработки исходных данных с итерационным подбором параметров моделей.

Цель работы

Разработка концепции и методов оперативного управления технологическим процессом подготовки нефти по технико-экономическим показателям и оценка их эффективности.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие задачи:

1. Провести системный анализ существующих АСУ технологическими процессами подготовки нефти с целью определения: факторов, влияющих на эффективность транспортировки водонефтяной эмульсии и последующей ее разделении; возможностей повышения эффективности управления по ПТЭЭ.

2. Разработать концепцию построения АСУ технологическими процессами подготовки нефти по показателям технико-экономической эффективности и показателям качества продукции.

3. Разработать модели одного аппарата «Maloney» и группы совместно работающих аппаратов для четырех уровней моделирования: концептуального, топологического, структурного и параметрического.

4. Разработать структуру автоматизированной системы управления технологическим процессом подготовки нефти по показателям технико-экономической эффективности.

5. Оценить эффективность предложенной АСУ технологическим процессом подготовки нефти по ПТЭЭ.

Методы решения

Для решения поставленных в работе задач использовались: методы теории систем и системного анализа, теории автоматического управления, теории моделирования и оптимизации; методы менеджмента качества и экономического анализа; методы имитационного моделирования.

На защиту выносятся

1. Результаты системного анализа факторов, влияющих на эффективность транспортировки водонефтяной эмульсии и последующей ее разделении.

2. Концепция построения АСУ технологическими процессами подготовки нефти по показателям технико-экономической эффективности и показателям

качества продукции.

3. Модели аппарата «Maloney» и группы совместно работающих аппаратов для четырех уровней моделирования: концептуального, топологического, структурного и параметрического.

4. Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом подготовки нефти по показателям технико-экономической эффективности.

5. Результаты имитационного моделирования: структурная и параметрическая оптимизация процесса подготовки нефти по ПТЭЭ.

Научная новизна:

1) Предложенная структура системы автоматического управления процессами подготовки нефти, направленная на оптимизацию ПТЭЭ при обеспечении заданных ограничений по показателям качества и технологическим параметрам;

2) Модели оценки показателей качества продуктов в процессах подготовки нефти и модели расчета ПТЭЭ, с использованием которых проводится управление процессами подготовки нефти;

3) Методика и соответствующее программное обеспечение задач моделирования и оптимизации структуры и параметров автоматизированного технологического комплекса процессов подготовки нефти;

4) Конструкция сепаратора и автоматическая система управления его работой на входном потоке жидкости на установку подготовки нефти, позволяющая парировать сильные возмущения по расходу и качеству сырья и существенно улучшить качество процессов управления.

Практическая ценность полученных результатов

1. Разработана методика расчета и оптимизации процессов управления по показателям качества и ПТЭЭ.

2. Разработаны модели автоматизированного технологического комплекса установки подготовки нефти при управлении по ПТЭЭ с ограничениями на технологические параметры и показатели качества.

3. Разработаны расчетные соотношения по выбору конструктивных параметров сепаратора на входном потоке жидкости на установку подготовки нефти и автоматической системы управления сепаратором-смесителем.

4. Приведены рекомендации по выбору вариантов структуры и параметров автоматической системы управления, оптимизирующих качество процессов управления установкой подготовки нефти в зависимости от имеющихся ресурсов модернизации автоматизированного технологического комплекса.

Апробация работы и публикации

Основные результаты работы обсуждались на II Межотраслевой научно-

практической конференции «Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса» (Уфа, УГНТУ, 2005 г.), Второй Всероссийской конференции с международным участием «Мехатроника, автоматизация, управление» (МАУ'2005, Уфа, УГАТУ, 2005), научно-практической конференции «Вклад науки Республики Башкортостан в реальные сектора экономики» (Уфа, ТРАНСТЭК, 2003).

Результаты диссертации приняты к внедрению на предприятиях ОАО «Лукойл-Западная Сибирь» (г. Когалым), Институтом проблем транспорта энергоресурсов (г. Уфа), компанией «Нефтегазовые системы» (г. Москва), МОАО «Нефтеавтоматика» (г. Уфа).

Список публикаций включает 10 научных трудов, в том числе 7 статей, 3 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях из списка ВАК, 2 тезисов докладов и материалов конференций различного уровня и один патент РФ.

Структура работы

Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы основного материала, заключение; рисунки на 34 страницах, библиографический список из 117 наименований на 11 страницах и четырех приложений на 75 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследований, приведены положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна и практическая значимость. Содержатся сведения о внедрении результатов, апробации работы и публикациях.

В первой главе проведен анализ задач и путей оптимизации управления процессами подготовки нефти по показателям качества продукции и ПТЭЭ процессов. На основе анализа методов оперативного управления по ПК продуктов и ПТЭЭ в различных отраслях сформулированы основные задачи оперативного управления для нефтяной промышленности, в частности, для установок подготовки нефти.

В последнее время на установках подготовки нефти на промыслах Западной Сибири все чаще используются безрезервуарные технологии подготовки нефти, когда процессы разделения и стабилизации водонефтяной эмульсии проводятся на потоке. Наиболее известны аппараты типа «Maloney», в которые водогазонефтяная смесь подается из входного коллектора с промысла, на выходе аппарата отбираются подтоварная вода, подготовленная или товарная нефть и попутный газ. Схема аппарата «Maloney» показана на рис. 1.

Для блочных установок подготовки нефти выявлены основные факторы,

которые определяют трудности и пути решения задач оперативного управления

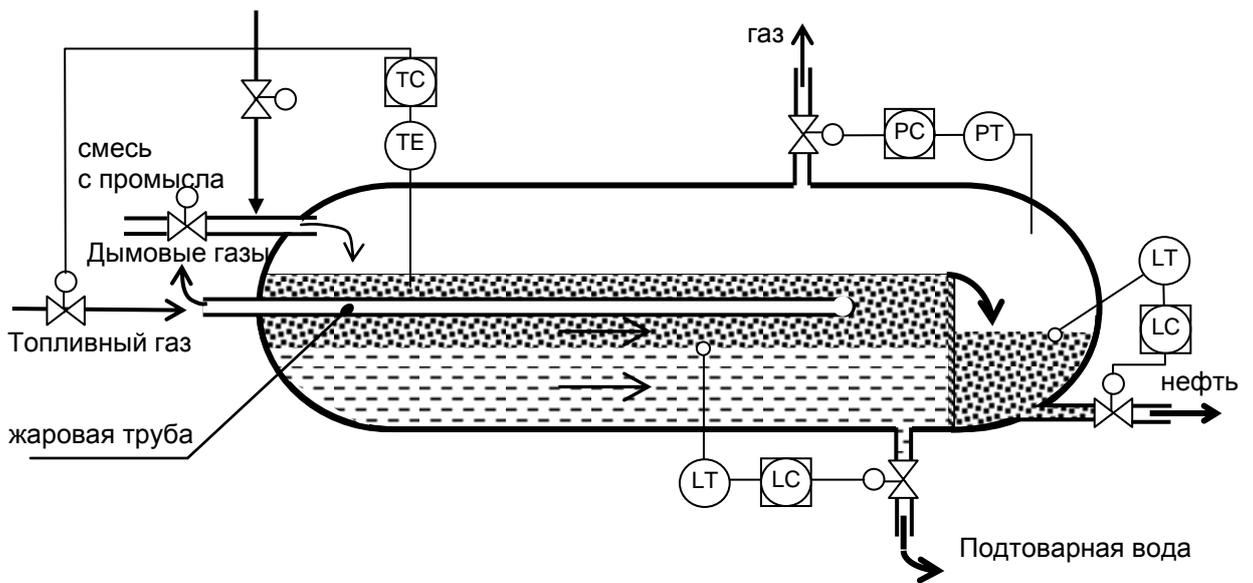


Рисунок 1

по этим показателям. Также предложена концепция построения АСУТП установок подготовки нефти, решающая данные задачи. Определен подход к решению задачи разработки системы оперативного управления по ПТЭЭ и оценке эффективности от внедрения такой системы.

Во второй главе перечислены факторы, влияющие на эффективность технологических процессов при транспортировке водонефтяной эмульсии и ее разделении, к числу которых относятся:

- скачкообразный характер изменения расхода подаваемой жидкости;
- колебания давлений поступающей жидкости;
- наличие отрицательных и положительных обратных связей в аппаратах по давлениям, расходам и температурам;
- изменения вязкости жидкости, связанные с изменением состава, температуры и т.д.;

Перечисленные факторы приводят к неэффективности ручного и автоматического управлений процессами в классах традиционных структур АСУ, которые сопровождаются включениями/выключениями насосных агрегатов, сепараторов, значительными колебаниями ПК продуктов и т.д. Решение задачи управления лежит в использовании СУ, отличающихся от «традиционных» наличием функций оптимизации параметров (неизмеряемых технологических параметров, ПК, ПТЭЭ и др.) на всех уровнях управления производством, адаптации к изменениям технологических условий.

При разработке адаптивных СУ необходимым этапом является разработка моделей процесса для целей исследования и последующей оптимизации их структур и параметров. В данной главе разработана методика моделирования процессов подготовки и переработки нефти, использующая доступный объем априорных и эмпирических данных.

Выделяются четыре уровня моделирования: концептуальный, топологи-

ческий, структурный и параметрический. На каждом уровне определяется минимально допустимый уровень информации для решения тех или иных задач, что, в свою очередь, позволяет минимизировать затраты ресурсов на формирование баз данных и разработку методов анализа моделей.

На концептуальном уровне предлагается рассматривать подсистемы двух иерархически связанных уровней:

- модель одного АМ (рис. 2, а);
- модель системы АМ (САМ) из нескольких АМ, взаимодействующих через входной коллектор (рис. 2,б) и выходную гребенку (рис. 2,в).

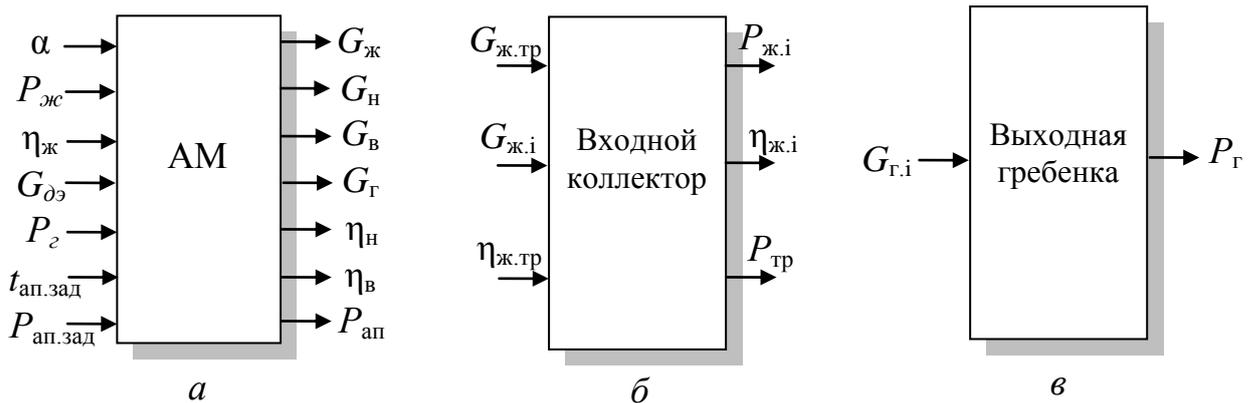


Рисунок 2

В качестве входных параметров модели одиночного АМ приняты: α - степень открытия входной задвижки АМ, %; $P_{ж}$ - давление жидкости перед входной задвижкой, атм; $\eta_{ж}$ - обводненность жидкости, поступающей в АМ; $G_{дэ}$ - расход деэмульгатора, добавляемого в жидкость на входе; $P_{г}$ - давление газа в выходной гребенке, атм; $t_{ап.зад}$ - заданное значение температуры нефти в АМ, °С; $P_{ап.зад}$ - заданное значение давления в АМ, атм. Выходными параметрами являются: $G_{ж}$, $G_{н}$, $G_{в}$, $G_{г}$, - расходы жидкости в АМ, нефти, воды и газа из АМ соответственно, м³/сут; $\eta_{н}$ - обводненность нефти на выходе из АМ, %; $\eta_{в}$ - загрязненность воды нефтью на выходе из АМ.

Для модели входного коллектора входными параметрами являются: $G_{ж.тр}$ - расход жидкости, поступающей в коллектор, м³/сут; $G_{ж.и}$ - расходы жидкости, поступающей в АМ, м³/сут; $\eta_{ж.тр}$ - обводненность жидкости, поступающей в коллектор, %. В качестве выходных параметров приняты: $P_{ж.и}$ - давления перед входными задвижками АМ, атм; $\eta_{ж.и}$ - обводненности жидкостей, подаваемых в АМ, %; $P_{тр}$ - давление в коллекторе, атм.

В модели выходной гребенки обозначены: $G_{г.и}$ - расходы газа из АМ, м³/сут; $P_{г}$ - давление газа в гребенке, атм.

На топологическом уровне определенности для системы взаимодействующих АМ определены два типа взаимодействия:

- через давления, расходы и обводненности жидкостей, поступающих из входного коллектора в АМ;

– через давления и расходы газов, сбрасываемых из АМ в выходную газовую гребенку.

Посредством фазовых параметров модели входного коллектора, выходной гребенки и АМ (количество АМ принято равным четырем) объединяются в модель САМ (рис. 3).

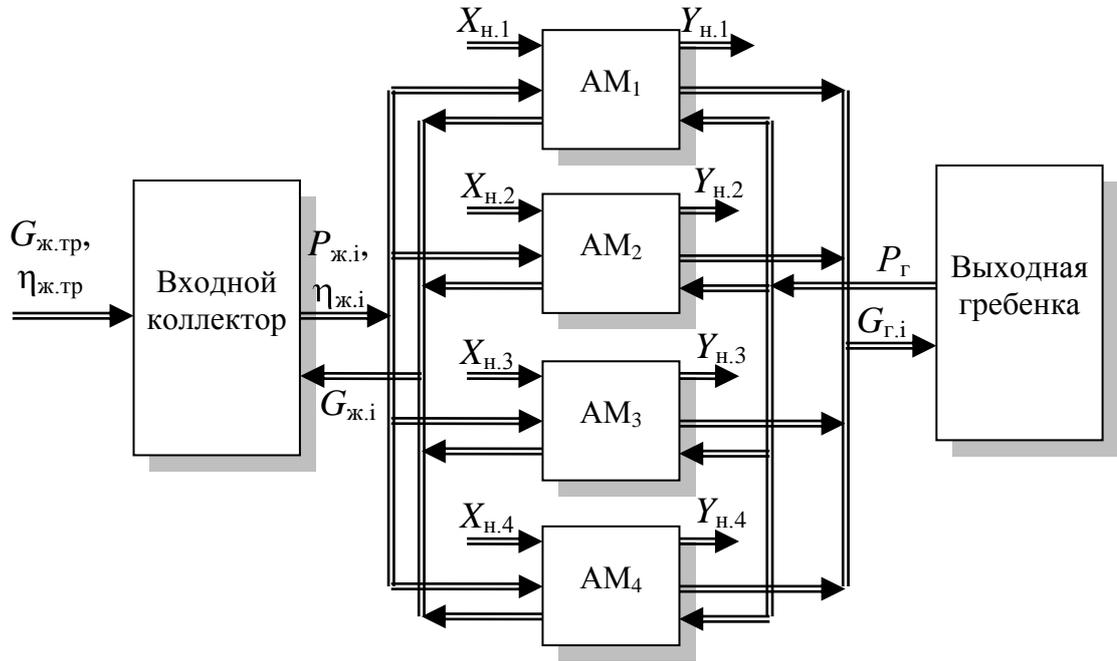


Рисунок 3

На рисунке обозначены:

$X_{н.i} = \{\alpha, G_{др}, t_{ап.зад}, P_{ап.зад}\}$ – вектор фазовых входных параметров i -го АМ,

$Y_{н.i} = \{G_{н}, \eta_{н}, G_{в}, \eta_{в}, P_{ап}\}$ – вектор фазовых выходных параметров i -го АМ.

Модель отдельного АМ топологического уровня определенности (рис. 4) представляет собой совокупность функциональных блоков, объединенных связями посредством промежуточных переменных.

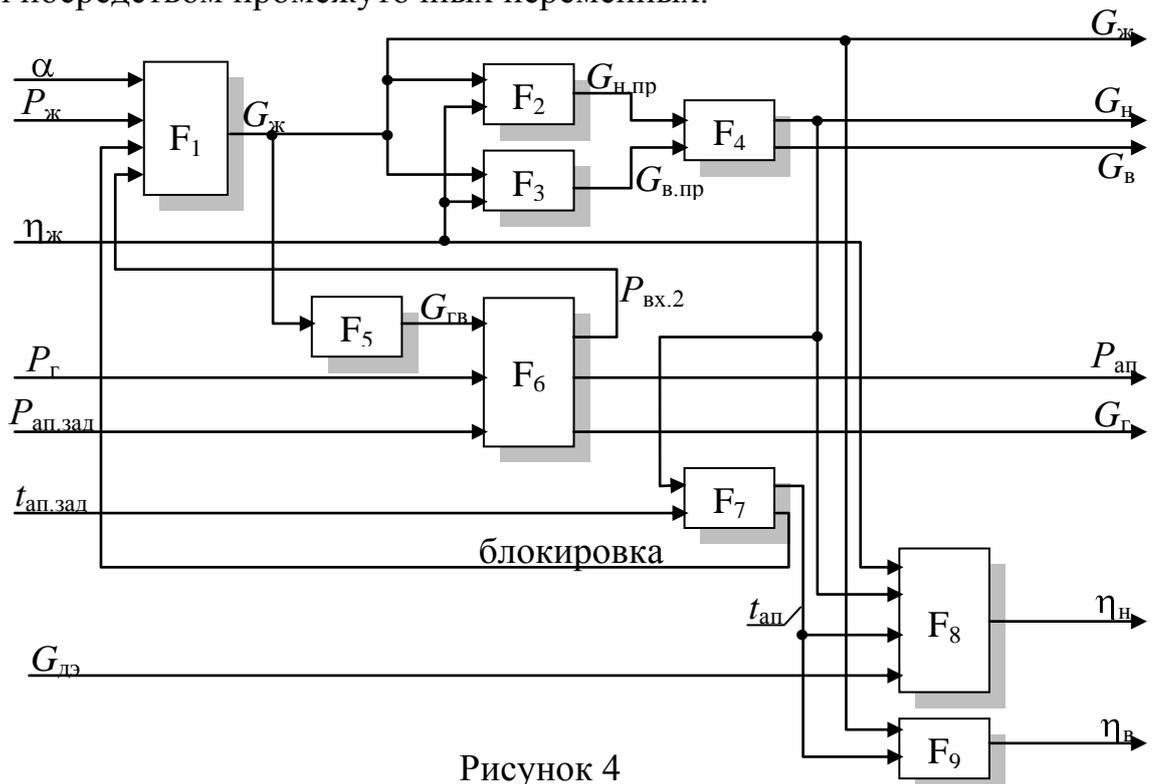


Рисунок 4

На рисунке обозначены функциональные блоки, которые в общем случае состоят из динамической и статической частей. Динамические части блоков реализованы в виде передаточных функций инерционных и интегрирующих (для потоков, откачиваемых насосами) звеньев с запаздываниями, что является достаточным для качественной имитации динамики с точностью 10–14 % даже с учетом нестационарности параметров реального объекта.

Статические части блоков модели имеют вид:

F_1 – определение расхода жидкости в АМ:

$$G_{\text{ж}} = F_1(\alpha, P_{\text{ж}}, P_{\text{вх.2}}, z),$$

где $P_{\text{вх.2}}$ – давление жидкости после входной задвижки, z – сигнал блокировки по температуре.

F_2 – функция определения расхода нефти, притекающей в АМ:

$$G_{\text{н.пр}} = F_2(G_{\text{ж}}, \eta_{\text{ж}}).$$

F_3 – функция определения расхода воды, притекающей в АМ:

$$G_{\text{в.пр}} = F_3(G_{\text{ж}}, \eta_{\text{ж}}).$$

F_4 – блок регуляторов межфазного уровня и уровня нефти в АМ:

$$\{G_{\text{н}}, G_{\text{в}}\} = F_4(G_{\text{н.пр}}, G_{\text{в.пр}}).$$

F_5 – функция определения количества выделяющегося газа $G_{\text{гв}}$ от расхода жидкости:

$$G_{\text{гв}} = F_5(G_{\text{ж}}).$$

F_6 – блок регулятора давления в аппарате $P_{\text{ап}}$ (давление в АМ регулируется сбросом газа в выходную гребенку); к числу выходных параметров относятся кроме давления $P_{\text{ап}}$ также давление $P_{\text{вх.2}}$ и расход газа $G_{\text{г}}$:

$$\{P_{\text{ап}}, P_{\text{вх.2}}, G_{\text{г}}\} = F_6(G_{\text{гв}}, P_{\text{г}}, P_{\text{ап.зад}}).$$

F_7 – функция определения температуры в аппарате $t_{\text{ап}}$; выходным параметром функции является также сигнал блокировки z на отключение АМ:

$$\{t_{\text{ап}}, z\} = F_7(G_{\text{н}}, t_{\text{ап.зад}}).$$

F_8 – расчет обводненности нефти $\eta_{\text{н}}$, выходящей из АМ:

$$\eta_{\text{н}} = F_8(t_{\text{ап}}, G_{\text{дэ}}, G_{\text{н}}, \eta_{\text{ж}}).$$

F_9 – функция расчета загрязненности воды, выходящей из АМ, $\eta_{\text{в}}$ от температуры в аппарате $t_{\text{ап}}$ и расхода жидкости $G_{\text{ж}}$:

$$\eta_{\text{в}} = F_9(t_{\text{ап}}, G_{\text{ж}}).$$

Для разработки моделей структурного и параметрического уровней использовалась следующая информация: технические характеристики АМ и технологическая схема подготовки нефти; экспериментальный материал по исследованию статических и динамических характеристик системы; теоретические зависимости между переменными, полученные на основе литературных источников по гидравлике, гидродинамике, нефтепромысловой механике, теории

процессов и аппаратов, теории автоматического регулирования и др.

Идентификация параметров как объектов регулирования, так и настроек регуляторов осуществлялась на основе обеспечения близости качественного поведения объекта и его динамической модели. Поскольку данная задача, строго говоря, не является корректной (и однозначно решаемой), привлекались общетеоретические закономерности взаимосвязи технических (конструктивных) характеристик аппаратов и статических и динамических характеристик моделей, после чего подбором настроечных параметров регуляторов осуществлялась параметрическая оптимизация по критериям качественной и количественной адекватности.

В третьей главе сформулирована задача оптимизации процесса подготовки нефти по ПТЭЭ. Показано, что с учетом размерности, наличия многочисленных и разнообразных ограничений решение задачи управления можно обеспечить только на основе декомпозиции задачи, дискретизации состояний и подзадач с обязательной координацией решений подзадач для выполнения системных ограничений.

Формирование оптимальных управлений U^* осуществляется на основе решения задачи оптимизации

$$\begin{aligned} \omega : X \times U &\rightarrow Y \\ \varphi : Y &\rightarrow P \\ \psi : Y &\rightarrow T \\ K(T) &\rightarrow opt \\ U &\subseteq U^{доп} \end{aligned}$$

при ограничениях $Y \subseteq Y^{доп}$, $P \subseteq P^{доп}$, где K – интегральный технико-экономический критерий, X – множество возмущений, U , Y , P , T – подмножества управлений, технологических параметров, ПК, ПТЭЭ, ω , φ , ψ – отображения (модели) связи входов с технологическими параметрами, технологических параметров (технологической ситуации или режима) в множества ПК и ПТЭЭ.

Применительно к рассматриваемому объекту в качестве варьируемых параметров приняты $t_{ап.зад}$ и $G_{дэ}$, которые управляются расходами топлива и деэмульгатора. В качестве критерия K выступает функция от технологической прибыли или технологической выручки.

Метод оптимизации включает следующие шаги:

- 1) определение параметров модели расчета ПК;
- 2) определение параметров модели расчета ПТЭЭ;
- 3) поиск оптимума критерия K в пространстве допустимых значений технологических параметров.

Технологическая выручка определяется по формуле

$$ТВ = G_H * Ц_T,$$

где, G_H – это расход сепарированной нефти (выход нефти); $Ц_T$ – технологическая цена подготовленной нефти. Величина G_H рассчитывается системой управления по технологическим параметрам. Величина $Ц_T$ определяется, исходя из цены реализации товарной нефти ($Ц_p$) и обводненности нефти (η_H)

$$C_T = F \cdot C_p \cdot \eta_n$$

Основным ПК, определяющим цену на нефть, а, в конечном итоге, ТП является обводненность товарной нефти, функция которой аппроксимирована уравнением второго порядка вида

$$\eta_n = K_0 + K_1 \cdot \eta_{ж} + K_2 \cdot t_{ап} + K_3 \cdot t_{ап}^2 + K_4 \cdot g_{дэ} + K_5 \cdot g_{дэ}^2 + K_6 \cdot g_{дэ} \cdot t_{ап} + K_7 \cdot Q_{ж},$$

где η_n – обводненность нефти, %; $t_{ап}$ – температура в аппарате, °С; $g_{дэ}$ – расход деэмульгатора, т/т; $Q_{ж}$ – расход жидкости (водо-нефтяной эмульсии) в АМ, т/месяц; K_i – коэффициенты.

Коэффициенты K_i подбираются по экспериментальным данным методом наименьших квадратов. Выбор метода аппроксимации обусловлен высокой степенью зашумленности априорной информации.

Затраты на подготовку нефти складываются из постоянных затрат и переменных. К переменным относятся: расход деэмульгатора и вспомогательных материалов, расход электроэнергии, расход топлива.

Затраты на деэмульгатор $Z_{дэ}$, топливо Z_T и электроэнергию $Z_{эл}$ из расчета на 1 т подготовленной нефти рассчитаем по следующим формулам:

$$Z_{дэ} = \frac{G_{дэ} \cdot C_{дэ}}{G_n}, \quad Z_T = \frac{G_T \cdot C_T}{G_n}, \quad Z_{эл} = \frac{G_{эл} \cdot C_{эл}}{G_n},$$

где $G_{дэ}$, $G_{эл}$, G_T – суточные массовые расходы деэмульгатора, электроэнергии и топлива соответственно; $C_{дэ}$, C_T , $C_{эл}$ – цена за единицу деэмульгатора, топлива и электроэнергии соответственно.

Расход электроэнергии:

$$G_{эл} = G_{эл}^{дэ} + G_{эл}^y + G_{эл}^{бу} + G_{эл}^{ну}$$

где $G_{эл}^{дэ}$, $G_{эл}^y$, $G_{эл}^{бу}$, $G_{эл}^{ну}$ – расходы электроэнергии на перекачку нефтяной эмульсии до установки, на работу самой установки, на перекачку воды с установки и на перекачку нефти с установки соответственно:

$$G_{эл}^{дэ} = G_{ж} * C_{эл}, \quad G_{эл}^{бу} = G_{в} * C_{эл}, \quad G_{эл}^{ну} = G_{н} * C_{эл} * \kappa_3,$$

где $G_{ж}$, $G_{в}$, $G_{н}$, - расход жидкости (водонефтяной эмульсии) на установку, воды и нефти с установки соответственно; κ_3 – коэффициент, учитывающий увеличение расхода электроэнергии в результате возрастания вязкости нефти вследствие увеличения её обводненности.

Показатель $G_{эл}^y$ берется на основе данных за прошедший месяц и пересчитывается на объем нефти, планируемый к переработке в текущем месяце:

$$G_{эл}^y = \bar{G}_{эл}^y \cdot \frac{G_{ж}^m}{G_{ж}^n},$$

где $\bar{G}_{эл}^y$ - расход электроэнергии по установке за прошедший месяц; $G_{ж}^m$ - расход жидкости, проходящей через установку в текущем месяце; $G_{ж}^n$ - расход жидкости, прошедшей через установку в прошлом месяце.

Постоянные затраты рассчитываются на основе данных калькуляции себестоимости

$$Z_{\text{пост}} = \frac{A + ЗП + ОЦ + Z_{\text{ап}}}{G_{\text{н}}},$$

где A – сумма амортизации; $ЗП$ – сумма заработной платы персонала; $ОЦ$ – общецеховые затраты; $Z_{\text{ап}}$ – затраты на содержание аппарата управления.

Затраты на добычу нефти

$$Z_{\text{доб}} = C_{\text{ж}} \cdot Q_{\text{ж}},$$

где $C_{\text{ж}}$ – стоимость добычи жидкости на месторождении.

Затраты на деэмульгатор

$$Z_{\text{дэ}} = C_{\text{дэ}} \cdot Q_{\text{дэ}},$$

где $C_{\text{дэ}}$ – стоимость деэмульгатора; $Q_{\text{дэ}}$ – расход деэмульгатора:

$$Q_{\text{дэ}} = g_{\text{дэ}} \cdot Q_{\text{н}}.$$

Затраты на топливо зависят кроме стоимости топлива также от расхода жидкости в АМ и поддерживаемой в АМ температуры. Функция затрат принята в виде

$$Z_{\text{т}} = C_{\text{т}} \cdot (K_8 \cdot Q_{\text{ж}} + K_9 \cdot t_{\text{ан}} + K_{10} \cdot t_{\text{ан}}^2),$$

где $C_{\text{т}}$ – стоимость топлива; K_8, K_9, K_{10} – коэффициенты, определяемые по данным о расходах топлива и жидкости.

Затраты на электроэнергию, расходуемую на перекачку подготовленной нефти и воды

$$Q_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \cdot (K_{11} \cdot Q_{\text{в}} + K_{12} \cdot Q_{\text{н}}),$$

где $C_{\text{эл}}$ – стоимость электроэнергии; K_{11}, K_{12} – коэффициенты, определяющие затраты электроэнергии на перекачку воды и товарной нефти соответственно.

Тогда суммарные затраты составляют:

$$Z = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{доб}} + Z_{\text{дэ}} + Z_{\text{т}} + Z_{\text{эл}}.$$

Расход товарной нефти с установки подготовки нефти (УПН) может быть рассчитан по соотношению

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{ж}} \frac{100 - \eta_{\text{ж}}}{100 - \eta_{\text{н}}} (1 - t_{\text{ан}} \cdot 10^{-3}),$$

где $\eta_{\text{ж}}$ – обводненность поступающей жидкости, %.

Выход воды с УПН может быть определен по формуле

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{ж}} \cdot \eta_{\text{ж}} - Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}.$$

Технологическая прибыль ТП определяется как разница между технологической выручкой и суммарными затратами

$$\text{ТП} = \text{ТВ} - Z.$$

Полученные параметрические модели расчета ПК и ПТЭЭ используются далее для оптимизации процесса из условия максимума технологической прибыли на ограничения по показателям качества продуктов путем варьирования изменяемых технологических параметров, к которым относятся расход деэмульгатора

Qдэ, задание по температуре в АМ $t_{\text{ап.зад}}$ и др. Оптимальное значение технологической прибыли можно определить численными методами, в частности, сканированием области технологических режимов: температуры в АМ и норме деэмульгатора.

В четвертой главе сформулирована методика построения имитационных моделей автоматизированного технологического комплекса (АТК), включающая этапы сбора и анализа исходной информации, разработки имитационной модели, анализа результатов моделирования и путей улучшения процессов управления.

Рассмотрены также структуры продвинутых систем управления, на основе которых предложена новая структура управления, отличающаяся от известных наличием блоков адаптации и оптимизации по ПК и ПТЭЭ (рис. 5).

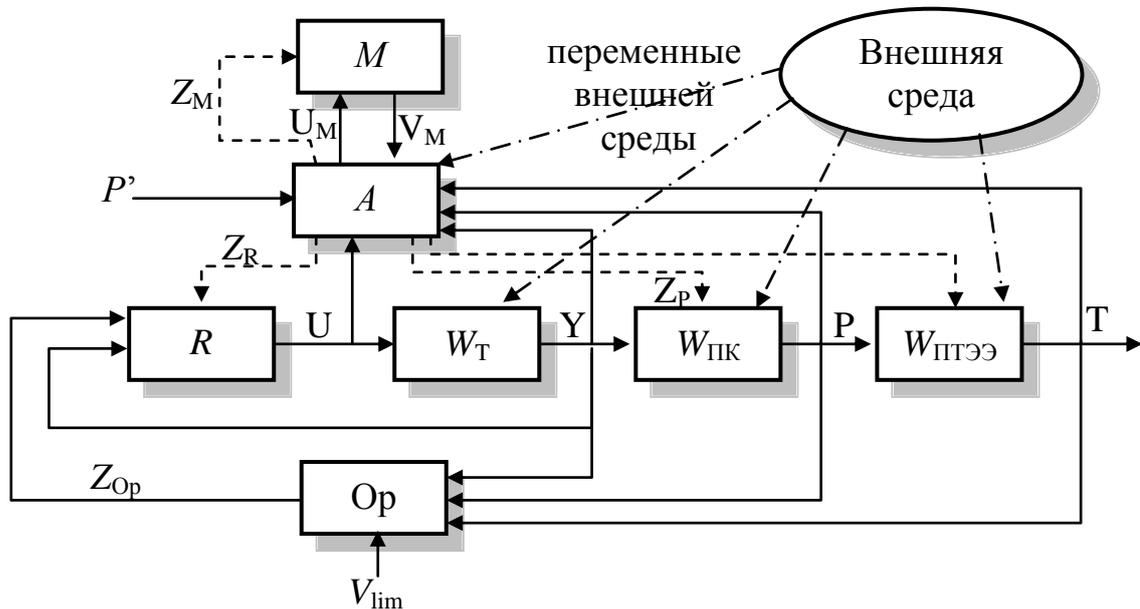


Рисунок 5

На рис. 5 приняты обозначения: R – множество регуляторов, M – модель объекта, P – множество расчетных ПК, P' – множество ПК, определенных в оперативном режиме или лабораторным путем, T – множество ПТЭЭ, U_M – канал передачи моделируемых управляющих воздействий, Y – канал передачи контролируемых технологических параметров, Z_R , Z_P и Z_M – корректирующие воздействия на регуляторы (изменение структур и параметров регуляторов), процедуру расчета ПК (коррекция структуры и коэффициентов функций) и модель соответственно, A – адаптер, Op – оптимизатор, Z_{Op} – корректирующие воздействия на регулятор со стороны оптимизатора (изменение уставок регуляторов), V_{lim} – множество ограничений по технологическим параметрам, ПК и ПТЭЭ.

Объектом управления является не только технологическая часть W_T , к которой относятся основные технологические процессы с выходными параметрами Y (контролируемые технологические параметры), но и процедуры определения ПК ($W_{ПК}$) и ПТЭЭ ($W_{ПТЭЭ}$).

То есть, объект W рассматривается как совокупность трех последовательно соединенных подсистем

$$W = \langle W_T, W_{ПК}, W_{ПТЭЭ} \rangle.$$

Данная система управления (СУ) содержит четыре контура обратных связей, замкнутых через блок A : обратная связь по каналу Y , функционирующая непрерывно в оперативном режиме, обратные связи по каналам P и T , реализующие процедуры расчета управлений по ПК и ПТЭЭ, также функции адаптации моделей, которые осуществляет адаптер A .

Блоки адаптера A и оптимизатора Op в структуре СУ фактически используют одинаковые множества входных параметров V , однако в структуре они представлены как отдельные блоки, так как используют разные принципы подстройки СУ под изменения параметров объекта управления и внешней среды. Адаптер определяет корректирующие воздействия преимущественно структурного характера, в то время как оптимизатор – параметрического.

Назначение процедуры адаптации состоит в анализе поступающей информации о контролируемых и расчетных параметрах и выработке корректирующих воздействий на СУ и модели в целях адаптации к изменению условий внешней среды и параметров ОУ. Корректирующие воздействия могут быть как параметрическими (изменение настроек регуляторов и коэффициентов моделей расчета ПК), так и структурными (изменение структур регуляторов, точек приложения управляющих воздействий, вида моделей расчета ПК). Адаптация и оптимизация могут проводиться как автоматически, так и с участием человека-эксперта (экспертов).

Описанная СУ реализует принцип каскадного управления, которое может работать в двух режимах:

- при отсутствии данных о ПТЭЭ обратная связь по ПТЭЭ не функционирует и СУ работает как система ситуационного управления на ограничениях по ПК, целью которой является стабилизация ПК на заданных значениях;
- при наличии данных по ПТЭЭ функционируют все обратные связи и СУ работает как оптимизатор ПТЭЭ с учетом ограничений по ПК.

Оптимизация проводится на двух уровнях:

- нижний уровень - оптимизация динамических характеристик АТК по критериям качества переходных процессов, базирующаяся на мероприятиях параметрической и структурной оптимизации;
- верхний уровень – оптимизация технологических режимов по ПТЭЭ.

На основе полученной модели АТК параметрическую оптимизацию на нижнем уровне предлагается проводить с целью разнесения рабочих частот регуляторов каждого из АМ при ограничении снизу на интенсивность затухания переходных процессов. Проверка эффективности мероприятий по параметрической оптимизации проведена на основе имитационного моделирования.

В рамках структурной оптимизации были исследованы следующие мероприятия:

- Установка дополнительного входного сепаратора-смесителя предварительного сброса газа с соответствующими дополнительными системами регулирования: с регулированием уровня жидкости в сепараторе-смесителе и с регулированием давления газа.
- Объединение газовых объемов всех АМ за счет использования выходного газового коллектора с регулятором давления.
- Установка входной задвижки с регулятором расхода в АМ в целях парирования возмущений по расходу жидкости.

С целью сепарации газа из поступающей жидкости, а также парирования возмущений по составу жидкости со стороны промысла, предлагается установить входной сепаратор-смеситель, представляющий собой вертикальный резервуар с распределительной гребенкой жидкости и имеющий регулятор с изменяющейся структурой (рис. 6).

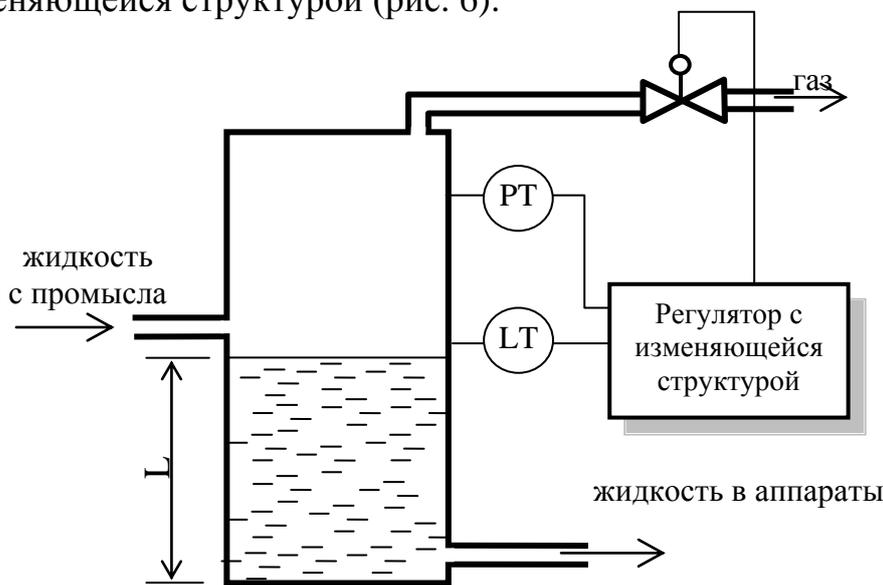


Рисунок 6

Регулирование ведется по уровню жидкости или давлению в зависимости от величины уровня. На рис. 6 обозначены: РТ – датчик давления газа, ЛТ – уровнемер.

Управляющее воздействие формируется по принципу

$$U = \begin{cases} f_1(P - P_{зад}), & \text{если } L \in (L_{\min}, L_{\max}) \\ f_2(L - L_{зад}), & \text{если } L \notin (L_{\min}, L_{\max}) \end{cases},$$

$$L_{зад} = \begin{cases} L_{\min}, & L < L_{\min} \\ L_{\max}, & L > L_{\max} \end{cases},$$

где L_{\min} и L_{\max} – предельные допустимые значения уровня, $P_{зад}$ – заданное значение давления, P – давление в сепараторе-смесителе, L – уровень жидкости.

Оптимальное значение критерия на ограничениях по ПК можно определить численными методами, в частности, сканированием области технологических режимов: температуры в АМ и норме деэмульгатора.

Предлагается итеративно решать последовательность задач:

- 1) определяется конечное множество режимов (с заданным шагом дискретизации), для которых выполняются ограничения по ПК

$$U_i = \{u \mid P(u) \subseteq P_{\text{дон}}, u \subseteq U_{\text{дон}}\},$$

- 2) определяется режим, для которого ПТЭЭ оптимален

$$T^* = \arg\{K(T) \rightarrow \text{opt}\}, \quad i = 1, 2, \dots$$

$$U_i$$

с остановом процесса оптимизации по заданной точности управлений.

Имитационные эксперименты на СУ по ПТЭЭ показали, что в зависимости от выбора критерия оптимальности и технологического режима эффективность работы установки может изменяться на десятки процентов. Сопоставление оптимальных режимов с технологическими режимами реальной установки показало, что эффективность работы установки может быть повышена в смысле технологической прибыли на величину 10–15 %.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В результате системного анализа существующих АСУ технологическими процессами подготовки нефти определены факторы, влияющие на эффективность транспортировки водонефтяной эмульсии: скачкообразный характер расхода подаваемой жидкости; колебание давления поступающей жидкости; наличие отрицательных и положительных обратных связей в аппаратах по контролируемым параметрам; изменения вязкости жидкости. Показано, что повышение эффективности оперативного управления процессом подготовки нефти по ПТЭЭ достигается за счет использования иерархической двухуровневой автоматической системы управления в классе модельных систем.

2. Предложенная концепция построения АСУ технологическими процессами подготовки нефти позволяет разрабатывать системы управления, учитывающие как показатели технико-экономической эффективности самого процесса, так и показатели качества выпускаемой продукции.

3. Разработанные модели одного аппарата «Maloney» и группы совместно работающих аппаратов, учитывающие ПТЭЭ и ПК, позволяют на стадии проектирования системы управления провести структурную и параметрическую оптимизацию процесса подготовки нефти.

4. Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом подготовки нефти включает: модель объекта, блок адаптера, множество регуляторов, блок оптимизатора, блок определения показателей качества, блок определения ПТЭЭ; и реализует принцип каскадного управления: ситуационного, при отсутствии данных ПТЭЭ, и оптимального, если данные есть.

5. Сопоставление результатов имитационного моделирования оптимальных режимов работы установок с данными технологических режимов работы реальных установок показало увеличение эффективности работы установок в плане технологической прибыли на 15 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ***В рецензируемых журналах из списка ВАК***

1. О модернизации системы управления параллельно работающими сепараторами типа «Maloney» / **А.П. Веревкин, И.Д. Ельцов, О.В. Кирюшин, В.Я. Соловьев** // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М. : ВНИИОЭНГ, 2004. № 4. С. 51–54.
2. Оперативное управление технологическими процессами подготовки нефти по технико-экономическим показателям / **А.П. Веревкин, И.Д. Ельцов, Ю.И. Зозуля, О.В. Кирюшин** // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М. : ВНИИОЭНГ, 2006. № 3. С. 48–53.
3. Интеллектуализация управления системой поддержания пластового давления / **А.П. Веревкин, И.Д. Ельцов, Ю.И. Зозуля, О.В. Кирюшин** // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М. : ВНИИОЭНГ, 2007. № 4. С. 42–44.

В других изданиях

4. АСУТП подогрева нефти / **А.С. Александров, В.Г. Чулков, И.Д. Ельцов** // Нефтегазовая вертикаль. М., 2002. № 14. С.102–103.
5. Автоматизированная система управления технологическим процессом подогрева нефти / **А.С. Александров, В.Г. Чулков, И.Д. Ельцов** // Промышленные АСУ и контроллеры. М., 2002. № 10. С. 17–18.
6. Оптимизация системы управления процессом подготовки нефти / **А.П. Веревкин, И.Д. Ельцов, О.В. Кирюшин** // Вклад науки Республики Башкортостан в реальные сектора экономики : тр. науч.-практ. конф. Уфа : ТРАНСТЭК, 2003. С. 50–52.
7. Разработка системы управления сепараторами подготовки нефти на основе моделей / **О.В. Кирюшин, И.Д. Ельцов** // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса : тр. межотрас. второй науч.-практ. конф. : Сб. науч. тр. Уфа, 2005. С. 269–271.
8. Концепция построения адаптивной системы управления по технико-экономическим показателям для процесса подготовки нефти / **А.П. Веревкин, И.Д. Ельцов, О.В. Кирюшин** // Мехатроника, автоматизация, управление : тр. междунар. второй всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Уфа : УГАТУ, 2005. С. 231–235.
9. К решению задачи оперативного управления процессами подготовки нефти / **А.П. Веревкин, И.Д. Ельцов, О.В. Кирюшин** // Территория Нефтегаз. М., 2007. № 2. С. 13–15.
10. Патент RU 2208158. Установка оперативного учета нефти мультифазной дожимной насосной станции / **И.Д. Ельцов**.

Диссертант



Ельцов И.Д.