

На правах рукописи

МАРФИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Казань – 2006

Работа выполнена в Исследовательском центре проблем энергетики Казанского научного центра Российской академии наук и Казанском государственном техническом университете им. А.Н.Туполева.

Научный руководитель: доктор технических наук
Кравцов Яков Исаакович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Овчинников Марат Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Тонконог Владимир Григорьевич

Ведущая организация: ОАО «ТатНИИнефтемаш», г. Казань

Защита состоится «28» апреля 2006 г., в 16 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д022.004.01 при Казанском научном центре Российской академии наук в зале заседания Ученого совета Исследовательского центра проблем энергетики КазНЦ РАН, по адресу: г. Казань, ул. Сибирский тракт, 34, корп. 4.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направлять по адресу: 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я 190

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского научного центра Российской академии наук.

Автореферат разослан «28» марта 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д022.004.01,
кандидат технических наук



Э.В. Шамсутдинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена решению задачи повышения энергетической эффективности теплотехнологических систем предприятий нефтяной промышленности за счет использования технологии и средств комбинированного воздействия на продуктивный пласт.

Актуальность проблемы. Анализ современного состояния и перспектив развития топливно-энергетического комплекса свидетельствует о неуклонном возрастании объемов потребления энергии. Прогнозируемый экономический рост потребует не только поддержания на достигнутом уровне добычи нефти и газа как основы развития энергетики, но и значительного его увеличения. Необходимо при этом учитывать, что нефтедобывающая промышленность является одной из наиболее энергоемких отраслей. И, следовательно, решение задачи энергосбережения в этих условиях является особенно актуальным.

В последнее время большое внимание уделяется комбинированным методам, позволяющим коренным образом повысить эффективность применяемых технологий за счет совмещения их с волновым воздействием. Это может быть достигнуто применением излучателей упругих волн.

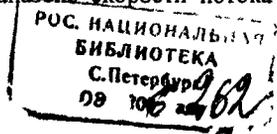
В применяемых устройствах используются подвижные элементы конструкции. В рассматриваемой работе исследуется возможность их исключения. Поскольку объект воздействия – продуктивный пласт – характеризуется сложной структурой (неоднородностью коллектора, флюида), для достижения значительного эффекта воздействия необходимо вполне определенное сочетание частоты и амплитуды колебаний давления. В связи с этим необходимо определить совокупность режимных и параметрических характеристик устройства, при которой достигается максимальный эффект. Решение этой задачи и является предметом исследований.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002-2006 годы (работа №41.003.11.2903), в рамках грантов Российского фонда фундаментальных исследований (№№03-02-96253, 03-02-17279, 04-02-08096) и гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ (№№НШ-746.2003.8, 02.445.11.7195), а также в рамках «Программы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы по Республике Татарстан на 2001 год» (работы №№А.6.2-11/01, А.6.2-12/01) и Территориальной программы геологического изучения недр по Республике Татарстан на 2002 и 2005 годы (работы №№А.7.2-3/02, 1.5.4.1/05).

Цель и задачи диссертационной работы. Разработать и научно обосновать принципы построения излучателя упругих волн на основе резонатора Гельмгольца, предназначенного для реализации энергосберегающей технологии комбинированного воздействия на пласт.

Основные задачи, решению которых посвящена работа:

- исследование динамических характеристик устройства на основе резонатора Гельмгольца в широком диапазоне скорости потока и условиях, приближенных к промышленным;



- исследование процессов преобразования энергии при генерации колебаний давления;
- исследование частотных характеристик излучателя и определяющих их факторов;
- разработка математической модели процесса генерации колебаний;
- разработка методики определения геометрических параметров излучателя с учетом условий его эксплуатации.

Методы исследований, обоснованность и достоверность результатов. В работе использованы экспериментальные и теоретические методы исследования. Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы теоретическими решениями и экспериментальными данными, полученными автором, и не противоречат известным положениям термодинамики, гидродинамики, теории колебаний. Достоверность полученных результатов обусловлена корректностью разработанных математических моделей, адекватностью их реальным процессам, подтверждается высокой сходимостью полученных теоретических результатов с экспериментальными данными, а также с результатами исследований других авторов.

На защиту выносятся:

1. Результаты экспериментального исследования динамических характеристик излучателя упругих волн в потоках несжимаемой жидкости.
2. Установленная зависимость числа Струхала от геометрических характеристик резонансной камеры.
3. Выявленный механизм процесса возбуждения колебаний давления.
4. Методика исследования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) излучателя и выявленная взаимосвязь частоты собственных колебаний и добротности устройства с его геометрическими параметрами.
5. Математическая модель процесса возбуждения колебаний давления в потоке несжимаемой жидкости излучателем на основе резонатора Гельмгольца.
6. Методика определения оптимальных параметрических и геометрических характеристик излучателя с учетом условий его эксплуатации.

Научная новизна результатов исследования:

1. Предложены и научно обоснованы новые конструктивные решения устройств возбуждения колебаний давления, предназначенных для повышения энергетической эффективности теплотехнических систем предприятий нефтяной промышленности.
2. Впервые выявлены закономерности изменения амплитуды и частоты колебаний давления, возбуждаемых излучателем, в зависимости от скорости потока жидкости и величины внешнего давления.
3. Выявлены соотношения, характеризующие взаимосвязь частоты собственных колебаний и добротности излучателя с геометрическими параметрами.
4. Впервые предложено аналитическое описание зависимости числа Струхала от геометрических характеристик камеры.

5. Впервые исследована численным методом структура потока несжимаемой жидкости по тракту излучателя.

6. Разработана математическая модель процесса возбуждения колебаний давления в излучателе, позволяющая учесть влияние режимных характеристик и свойств среды воздействия.

Практическая значимость. Результаты проведенных исследований рекомендованы к применению при решении задач совершенствования процессов генерации, преобразования и передачи энергии и ее рационального использования при освоении трудноизвлекаемых запасов нефти, а также при решении вопросов энергосбережения и повышения эффективности в других энергоемких отраслях промышленности.

На основе проведенных автором исследований разработан и изготовлен новый тип струйного излучателя колебаний, предназначенный для повышения энергетической эффективности теплотехнологических систем предприятий нефтяной промышленности. Внедрение его предусмотрено в 2006-2007 г.г.

Использование созданных устройств позволит снизить удельные энергетические затраты на добычу нефти, повысить коэффициент нефтеотдачи и рентабельность разработки нефтяных месторождений.

Личный вклад автора в работу. Основные результаты диссертации получены автором под руководством д.т.н. Кравцова Я.И. Диссертантом разработана методика и создан аппаратно-программный комплекс для исследования частотных характеристик излучателя. Им установлен механизм и разработана математическая модель процесса генерации колебаний, выявлена зависимость числа Струхалая от геометрии устройства, разработана методика определения геометрических и параметрических характеристик устройства.

Публикации и апробация работы. Основное содержание диссертации опубликовано в 22 печатных работах.

Основные положения диссертационной работы и отдельные ее результаты доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

- II, III, IV Всероссийская школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН В.Е. Алемасова: «Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении» (Казань, 2000, 2002, 2004);
- XIII Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Внутрикамерные процессы, акустика, диагностика, экология» (Казань, 2001);
- научно-практическая конференция «Новейшие методы увеличения нефтеотдачи пластов – теория и практика их применения», в рамках VIII Международной специализированной выставки «Нефть, газ. Нефтехимия-2001» (Казань, 2001);
- Российский национальный симпозиум по энергетике (Казань, 2001);
- I Всероссийская школа-семинар молодых ученых и специалистов «Энергосбережение – теория и практика» (Москва, 2002);
- VII Всероссийская конференция молодых ученых «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Новосибирск, 2002);

- XIV Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» (Казань, 2003);
- XII Европейский симпозиум «Повышение нефтеотдачи пластов» (Казань, 2003);
- IV, V Международный симпозиум «Ресурсоэффективность и энергосбережение в современных условиях хозяйствования» (Казань, 2003, 2004);
- V Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Наука. Инновации. Бизнес» (Казань, 2005);
- Международная молодёжная научная конференция, посвященная 1000-летию города Казани «Туполевские чтения» (Казань, 2005).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (145 наименований) и приложения. Диссертационная работа изложена на 147 листах машинописного текста. В ней содержится 59 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и практическая значимость работы, сформулированы задачи исследования, изложены основные научные результаты и положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе дан обзор основных работ в области теоретических и экспериментальных исследований механизма формирования волнового поля в продуктивных пластах с помощью излучателей упругих волн. Обоснован выбор технических средств для реализации энергосберегающей технологии комбинированного воздействия на нефтяные пласты.

В результате обзора литературных данных, диссертант пришел к следующим выводам:

1) перспективным способом повышения нефтеотдачи и снижения энергетических затрат является волновое воздействие, совмещенное с другими методами увеличения нефтеотдачи (тепловым, физико-химическим, гидродинамическим, и др.), что позволяет достичь сверхсуммарного эффекта;

2) использование в качестве устройства для возбуждения колебаний в потоке жидкости, нагнетаемой в пласт, струйного излучателя на основе резонатора Гельмгольца является оптимальным решением задачи реализации энергосберегающей технологии комбинированного воздействия на пласт.

Практическое применение подобных устройств сдерживается отсутствием данных по механизму генерации колебаний, их частотных характеристик, влиянию внешних факторов на режим их работы.

Показано, что для решения этой проблемы необходимо:

- 1) исследовать механизм возбуждения колебаний давления;
- 2) исследовать влияние интенсивных и экстенсивных характеристики потока на параметры генерируемых колебаний;

3) изучить влияние геометрических параметров на частоту собственных колебаний и добротность устройства;

4) разработать математическую модель, адекватно отражающую процесс возбуждения колебаний давления в потоке жидкости;

5) разработать методику определения оптимальных геометрических характеристик устройства с учетом условий его эксплуатации.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию динамических и амплитудно-частотных характеристик излучателя. Сформулированы задачи экспериментального исследования. Дано описание испытательных стендов, приборной базы, методики проведения исследований и обработки экспериментальных данных.

Объектом исследования выбран струйный излучатель колебаний на основе резонатора Гельмгольца (рис.1). Основными геометрическими параметрами излучателя являются: диаметр проходного сечения входного сопла d_1 , диаметр D_k и длина L_k резонансной камеры и диаметр проходного сечения выходного сопла d_2 . Диапазон изменения этих параметров в эксперименте – $d_1=3-10$ мм; $d_2/d_1=1,0-1,5$; $D_k/d_1=5-10$; $L_k/d_1=0,8-4$. Расход жидкости через излучатель изменялся от 30 до 500 м³/сут. Диапазон давления на выходе излучателя, имитирующего давление на забое скважины, $P_{вых}=1,0-8,0$ МПа. Целью проведения испытаний являлось установление закономерностей процесса возбуждения колебаний и выявления условий устойчивой их генерации.

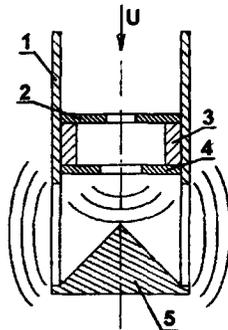


Рис.1. Функциональная схема излучателя.

1 – силовой корпус, 2 – входное сопло, 3 – резонансная камера, 4 – выходное сопло, 5 – конус-отражатель пульсирующего потока

Использованный испытательный ступень-стенд (рис.2) позволил исследовать динамические характеристики излучателя при различных параметрах течения несжимаемой жидкости в условиях, приближенных к промышленным. Размещением в выходном трубопроводе (14) сменного жиклера моделируются пластические условия – величина давления на выходе излучателя $P_{вых}$ в зависимости от расхода жидкости. Отношение величины давления на входе в излучатель $P_{вх}$ к $P_{вых}$ изменялось в диапазоне $0,3 \leq P_{вх}/P_{вых} \leq 0,8$.

Результаты экспериментов представлены в виде зависимостей амплитуды и частоты генерируемых колебаний от числа Рейнольдса с диаметром проходного сечения входного сопла в качестве характерного размера.

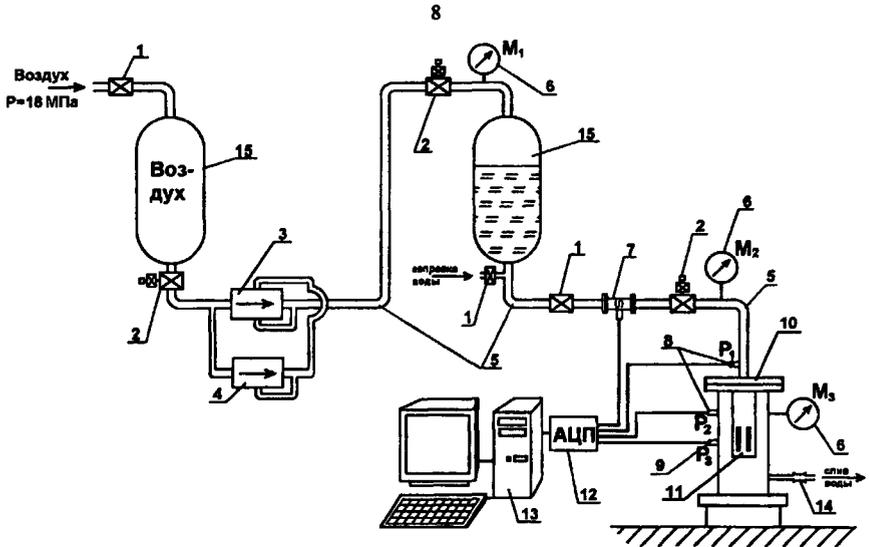


Рис.2. Схема испытательного ступень-стенда.

- 1 – отсечной кран, 2 – пневмоэлектроклапан, 3 – рабочий редуктор, 4 – командный редуктор, 5 – магистраль подвода жидкости в технологическую установку, 6 – манометр, 7 – расходомер, 8 – датчик давления, 9 – датчик пульсаций давления, 10 – технологическая установка-ступень, 11 – генератор колебаний, 12 – плата аналого-цифрового преобразователя, 13 – компьютер, 14 – магистраль отвода жидкости из установки со сменным жиклером, 15 – технологическая емкость.

Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением скорости потока жидкости через излучатель наблюдается периодическое повышение амплитуды колебаний, связанное с резонансными явлениями.

Исследованием частот генерируемых колебаний установлено, что в спектре колебаний присутствуют гармоники, кратно отличающиеся по частоте, причем значение частоты основной гармоники линейно зависит от числа Рейнольдса. Существенное увеличение амплитуды колебаний происходит при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний излучателя.

Установлена эмпирическая зависимость частоты основной гармоники возбуждаемых колебаний от его геометрических параметров. Эта взаимосвязь представлена в виде зависимости числа Струхала ($Sh = f_1 \cdot d_1 / U$) от соотношения L_x / d_1 и равна:

$$Sh = 0,55 \cdot (L_x / d_1)^{-0,8} \quad (1)$$

Исследование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) излучателя проведено на специально разработанном экспериментальном стенде (рис.3). Метод исследования АЧХ излучателя основан на анализе искажений в спектре звукового поля, вносимых устройством. Определены резонансные кривые излучателя.

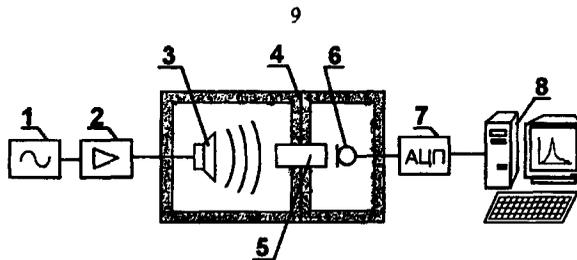


Рис.3 Схема экспериментального стенда.

- 1 – звуковой излучатель «белого» шума, 2 – усилитель сигнала, 3 – акустическая система, 4 – звукоизоляционная камера, 5 – исследуемый излучатель, 6 – микрофон, 7 – плата аналого-цифрового преобразователя, 8 – персональная ЭВМ.

В результате проведенных экспериментов сформулированы следующие направления теоретических исследований:

- выявление механизма генерации колебаний различных мод в резонансной камере;
- аналитическое обоснование резонансных характеристик излучателя, т.е. определение зависимости частоты собственных колебаний и добротности излучателя с геометрическими параметрами;
- создание математической модели процесса возбуждения колебаний давления в потоке несжимаемой жидкости с помощью исследуемого излучателя.

В третьей главе диссертации выполнено теоретическое исследование течения жидкости по тракту излучателя. Установлены зависимости коэффициента расхода сопел в излучателе от его геометрических характеристик. На основе метода электроакустических аналогий получены аналитические выражения для частоты собственных колебаний и добротности излучателя. Предложена математическая модель процесса возбуждения колебаний в излучателе с резонатором Гельмгольца.

Исследование трехмерной структуры потока жидкости по тракту излучателя выполнено с использованием программного комплекса *FlowVision*, разработанного ООО «Тесис». Проведенное расчетное исследование показало, что при течении жидкости через резонансную камеру вокруг струи вблизи входного сопла образуются вихревые торoidalные кольца, которые срываются и перемещаются вниз по потоку со скоростью, пропорциональной скорости струи. Частота срыва вихрей характеризуется числом Струхала. Соударение вихря с кромкой выходного сопла приводит к его разрушению и генерации импульса давления в резонансной камере излучателя.

Численное исследование зависимости перепада давления на излучателе от расхода жидкости позволило установить, что излучатель может быть представлен сужающим устройством с диаметром проходного сечения, равным d_1 , коэффициент расхода которого в диапазоне $0,4 \leq L_n/d_1 \leq 4,5$ составляет

$$\mu_{изл} = 0,671 - 0,006 \cdot (L_n/d_1). \quad (2)$$

Задача определения резонансных характеристик излучателя решена методом электроакустических аналогий. Электрическая схема, эквивалентная

исследуемому излучателю, представляет собой последовательное соединение индуктивности (входное сопло) с параллельным соединением ёмкости (резонансная камера) и индуктивности (выходное сопло).

Расчет электрической схемы позволил определить значение частоты собственных колебаний излучателя:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi D_k} \sqrt{\frac{1}{L_k} \left(\frac{d_1^2}{l_{1s}} + \frac{d_2^2}{l_{2s}} \right)} \quad (3)$$

и его добротности:

$$Q = 8D_k \sqrt{L_k} \left(\frac{d_1^2}{l_{1s}} + \frac{d_2^2}{l_{2s}} \right)^{-3/2} \quad (4)$$

Оценка адекватности теоретически рассчитанных и экспериментально полученных значений резонансной частоты и добротности излучателя показала, что расхождение находится в пределах $\pm 6\%$.

Математическая модель процесса генерации колебаний.

Проведенными исследованиями установлено, что механизм возбуждения колебаний давления обусловлен изменением давления в резонансной камере вследствие образования и эволюции в ней вихревых колец.

При разработке математической модели генерации колебаний приняты следующие допущения: форма вихря – тор; жидкость – несжимаема; коэффициент расхода сопел не зависит от величины противодавления.

Модель базируется на следующих положениях:

1) при течении жидкости в резонансной камере вокруг струи в пограничном слое формируются и перемещаются вниз по потоку вихревые кольца, объем которых увеличивается. Частота срыва вихрей определяется значением числа Струхала Sh согласно зависимости:

$$f = Sh \cdot U / d_1, \quad (5)$$

где U – скорость струи жидкости.

2) число Струхала связано с геометрическими параметрами излучателя зависимостью (1);

3) при соударении вихря с выходным соплом возникает импульс давления;

4) пульсации давления имеют гармонический характер.

Получена формула для расчета величины амплитуды колебаний давления в резонансной камере:

$$|p_k| = 0,044 \rho c_0^2 d_2 L_k \left| \frac{c_0^2 d_2^2}{4\pi^2 f^2 L_k l_{2s}} - D_k^2 \right|^{-1} \sqrt{\sum_{n=1}^N B_n^2 \left[1 + Q^2 \left(\frac{nf}{f_0} - \frac{f_0}{nf} \right)^2 \right]^{-1}}, \quad (6)$$

где $N=1,2,3,\dots$ – номер моды колебаний,

$$B_n = 2 \cdot \sin(\pi nk) / (\pi k), \quad (7)$$

$$k = 0,119 \cdot Sh \cdot (Sh + 1,16) \cdot (L_k / d_1). \quad (8)$$

Типичная картина зависимости относительного значения амплитуды колебаний давления (по отношению к скоростному напору q) от числа Рейнольдса приведена на рис.4. Сопоставление расчетных и

экспериментальных данных свидетельствует о качественном и количественном совпадении результатов, и, следовательно, об адекватности разработанной математической модели процесса генерации колебаний.

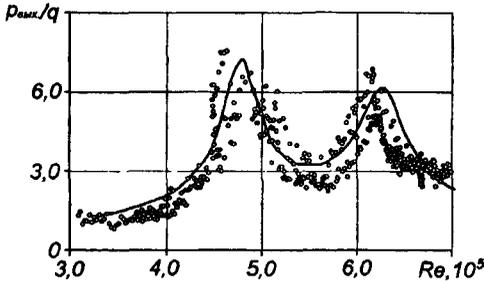


Рис.4. Зависимость относительного значения амплитуды колебаний давления от числа Рейнольдса (линия — расчет, точки — эксперимент).

Теоретически установлено, что для улучшения параметрических характеристик устройства (достижения максимальной амплитуды колебаний давления и низкой добротности излучателя) необходимо обеспечить минимально возможную толщину сужения входного и выходного сопел. Этот вывод подтверждается также и стендовыми испытаниями опытных образцов излучателя.

В четвертой главе представлены результаты промышленных испытаний опытного образца излучателя на основе резонатора Гельмгольца, целью которых является проверка динамических характеристик и работоспособности устройства в промышленных условиях.

Испытания проведены на манифольде нагнетательной скважины №66 Елгинского месторождения (ОАО «Татнефтеотдача») согласно схеме, представленной на рис.5.

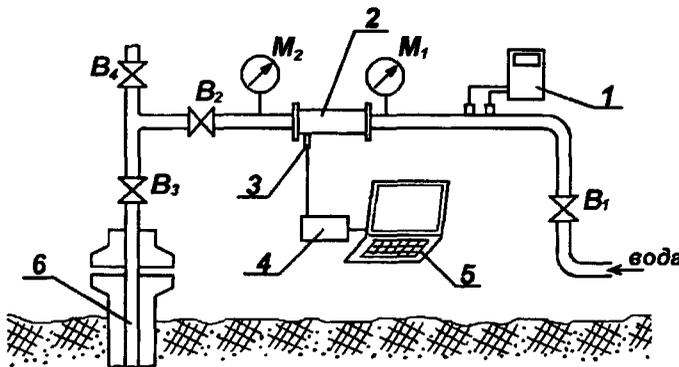


Рис.5. Схема обвязки нагнетательной скважины при испытаниях излучателя.
1 — расходомер; 2 — технологический корпус с излучателем; 3 — датчик пульсаций давления;
4 — модуль АЦП, 5 — ПЭВМ, 6 — насосно-компрессорная труба;
В₁, В₂, В₃, В₄ — вентили, М₁, М₂ — манометры.

Промысловыми исследованиями подтверждены выявленная теоретическая зависимость амплитуды и частоты генерируемых колебаний давления от расхода жидкости, расчетные параметры и работоспособность излучателя колебаний.

Показано, что при использовании разработанных устройств могут быть существенно снижены удельные энергетические затраты на добычу нефти, повышены коэффициент нефтеотдачи и рентабельность разработки нефтяных месторождений.

Пятая глава посвящена определению оптимальных конструктивных параметров излучателя и оценке эффективности его работы. Представлен разработанный методика определения основных геометрических параметров устройства применительно к заданному режиму его работы.

Проведенный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований позволил разработать следующий методику определения геометрических размеров устройства.

1) Диаметр проходного сечения входного сопла определяется исходя из заданных значений расхода жидкости G_0 и перепада давления на излучателе dp :

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \mu_{\text{изл}} \cdot \sqrt{2\rho \cdot dp}}} \quad (9)$$

где $\mu_{\text{изл}} \approx 0,68$.

2) Выбором длины резонансной камеры обеспечивается необходимая частота f генерируемых колебаний:

$$L_k = U \cdot f^{-1} \left(\frac{fd_1}{U} + 1,16 + \frac{U}{c_0 - U} \right)^{-1} \quad (10)$$

где $U = \frac{4G}{\pi \mu_1 d_1^2 \rho}$ – скорость струи жидкости в резонансной камере, μ_1 – коэффициент расхода входного сопла.

3) Диаметр проходного сечения выходного сопла определяется из условия соударения вихревого кольца с его кромкой соотношением:

$$d_2 = d_1 + 0,48L_k \left(1 - \sqrt{\frac{1}{Sh + 1,16}} \right)^{2/3} \quad (11)$$

4) Диаметр резонансной камеры D_k выбирается из условия достижения максимальной амплитуды колебаний с учетом ограничений по габаритам, при размещении излучателя в обсадной колонне скважины:

$$p_k(D_k) = \max p_k \quad (12)$$

Поскольку аналитическое решение уравнения (12) представляет довольно сложную задачу, то D_k определяется графически.

Эффект от внедрения предлагаемого оборудования на малом нефтяном месторождении (например, Елгинском месторождения Республики Татарстан с фондом в количестве 54 добывающих скважин) с учетом капитальных затрат составит 32 тыс. т.у.т./год. Срок окупаемости – менее 6 мес.

Основные результаты исследований и выводы

1. В результате анализа способов возбуждения упругих волн в потоке несжимаемой жидкости выявлено наиболее перспективное направление совершенствования излучателей колебаний, открывающее большие возможности энергосбережения в теплотехнологических системах нефтедобывающих предприятий – создание струйных излучателей на основе резонатора Гельмгольца.

2. Исследованием динамических характеристик устройства установлена зависимость амплитуды и частоты генерируемых колебаний давления от скорости потока жидкости и внешних условий. Определены условия и область устойчивой генерации колебаний. В частности, показано, что с увеличением противодавления на выходе излучателя амплитуда колебаний повышается.

Установлена зависимость числа Струхала, характеризующего степень нестационарности течения жидкости, от геометрических характеристик резонансной камеры излучателя.

3. Методом численного моделирования течения жидкости выявлена структура потока в проточном тракте излучателя. Установлено, что в основе механизма преобразования энергии при генерации колебаний лежит взаимодействие вихревых структур потока.

4. На основе применения метода электроакустических аналогий установлена взаимосвязь частотных и геометрических характеристик излучателя. Впервые предложена система уравнений, описывающая эту взаимосвязь. Экспериментально подтверждена ее адекватность реальным процессам.

5. Разработана математическая модель процесса генерации, позволяющая рассчитать характеристики генерируемых колебаний в различных вариантах конструкции и применительно к различным режимам его работы. Полученные данные подтверждены экспериментом.

6. Разработана методика определения оптимальных геометрических параметров излучателя при осуществлении комбинированного воздействия на продуктивные пласты с учетом условий его эксплуатации.

7. Произведена оценка экономической эффективности внедрения предлагаемого оборудования. Показано, что даже при применении его на малом нефтяном месторождении (54 добывающих скважин) достигаемый эффект значителен и составляет 32 тыс. т.у.т./год. Срок окупаемости оборудования – менее 6 месяцев.

Перечень основных публикаций по теме диссертации:

1. Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Марфин Е.А. Исследование характеристик излучателя колебаний давления низкой частоты в сверхзвуковом потоке сжимаемой жидкости // Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении: II-я Всероссийская школа-семинар молодых ученых и

- специалистов под руководством академика РАН В.Е.Алемасова. Материалы докладов, 24-27 октября 2000 г. – Казань: Изд-во КГУ, 2000. – С. 90-91.
2. Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Самбунова Л.И., Марфин Е.А. Анализ состояния опытно-промышленных работ и патентных материалов в области технических средств комбинированного воздействия на нефтяные пласты // 13-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Внутрикамерные процессы, акустика, диагностика, экология»: Тез. докл., 15-17 мая 2001 г., – Казань: Изд-во КФВАУ. – Часть II. 2001. – С. 3-5.
3. Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Марфин Е.А., Самбунова Л.И. Комбинированное тепловолновое воздействие на пласты природных битумов. Широкомасштабный промышленный эксперимент // 13-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Внутрикамерные процессы, акустика, диагностика, экология»: Тез. докл., 15-17 мая 2001 г., – Казань: Изд-во КФВАУ. – Часть II. 2001. – С. 5-7.
4. Алемасов В.Е., Муслимов Р.Х., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Волков Ю.В., Марфин Е.А., Самбунова Л.И., Шестернин В.В. Снижение обводненности извлекаемой продукции как фактор энергосбережения при комбинированной технологии добычи природных битумов (по данным опытно-промышленных испытаний) // Российский национальный симпозиум по энергетике: Материалы докл., 10-14 сентября 2001, – Казань: Изд-во КГЭУ, 2001. – С. 331-334.
5. Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Самбунова Л.И., Марфин Е.А. Развитие методов и средств комбинированного воздействия на нефтяные и битумные пласты как важный фактор энергосбережения // Российский национальный симпозиум по энергетике: Материалы докл., 10-14 сентября 2001, – Казань: Изд-во КГЭУ, 2001. – С. 362-365.
6. Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Марфин Е.А., Самбунова Л.И. Гидромеханический осциллятор как устройство для возбуждения колебаний давления в потоке жидкости, нагнетаемой в пласт // Новейшие методы увеличения нефтеотдачи пластов – теория и практика их применения: Труды научно-практической конференции VIII-й Международной специализированной выставки «Нефть, газ. Нефтехимия-2001», 5-8 сентября 2001 г. В 2-х томах. – Т. 2. – Казань, 2002. – С.172-178.
7. Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Марфин Е.А., Буторин Э.А., Самбунова Л.И. Результаты широкомасштабных промышленных испытаний технологии и технических средств комбинированного воздействия на пласты природных битумов // Энергосбережение – теория и практика: Труды I-й Всероссийской Школы-семинара молодых ученых и специалистов, 15-18 апреля 2002 г., – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – С. 38-39.
8. Марфин Е.А., Самбунова Л.И. Технические средства комбинированного воздействия на нефтяные пласты при нагнетании несжимаемых жидкостей // VII-я Всероссийская конференция молодых ученых «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики»: Тез. докл., 23-26 апреля 2002 г., – Новосибирск: Изд-во ИТ СО РАН, 2002. – С. 198-199.

9. Марфин Е.А., Кравцов Я.И., Буторин Э.А. Гидродинамические и энергетические характеристики излучателей колебаний давления в потоке несжимаемой жидкости // Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении: III-я Всероссийская школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН В.Е.Алемасова. Материалы докл., 2-4 октября 2002 г. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2002. – С. 46-48.
10. Муслимов Р.Х., Волков Ю.В., Хавкин А.Я., Петраков А.М., Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Марфин Е.А., Самбунова Л.И., Шестернин В.В. Анализ эффективности термоволнового воздействия на Мордово-Кармальском месторождении // Бурение&Нефть. – М., 2003. – №1. – С. 18-23.
11. Марфин Е.А., Самбунова Л.И. Влияние диффузионной камеры на характеристики гидродинамического излучателя колебаний // Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий: Труды 14-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции, 20-22 мая 2003 г., – Казань: Изд-во Казанского филиала МВАУ, 2003. – С. 294-295.
12. Марфин Е.А. О возможностях аппаратурно-программного комплекса для исследования звуковых колебаний // Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий: Труды 14-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции, 20-22 мая 2003 г., – Казань: Изд-во Казанского фил. МВАУ, 2003. – С. 162-163.
13. Самбунова Л.И., Мазо А.Б., Марфин Е.А. Математическая модель процесса возбуждения колебаний акустических волн в гидродинамическом излучателе // Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий: Труды 14-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции, 20-22 мая 2003 г., – Казань: Изд-во Казанского филиала МВАУ, 2003. – С. 256-257.
14. Марфин Е.А., Буторин Э.А., Кравцов Я.И. Гидродинамический излучатель акустических колебаний на основе резонатора Гельмгольца с диффузионной камерой // Повышение нефтеотдачи пластов: Труды 12-го Европейского симпозиума, 8-10 сентября 2003 г. – Казань: Изд-во ООО «Стар», 2003. – С. 427-430.
15. Самбунова Л.И., Марфин Е.А., Кравцов Я.И., Мазо А.Б. Модель течения жидкости в струйном излучателе колебаний // Ресурсоэффективность и энергосбережение в современных условиях хозяйствования: Труды IV-го Международного симпозиума, 18-19 декабря 2003 г., – Казань: Изд-во КГТУ, 2004. – С. 282-286.
16. Марфин Е.А., Кравцов Я.И., Буторин Э.А., Самбунова Л.И. Излучатель акустических колебаний в потоке жидкости на основе резонатора Гельмгольца с диффузионной камерой // Ресурсоэффективность и энергосбережение в

- современных условиях хозяйствования: Труды IV-го Международного симпозиума, 18-19 декабря 2003 г., – Казань: Изд-во КГТУ, 2004. – С. 287-291.
17. Марфин Е.А., Кравцов Я.И. Совмещение методов воздействия на пласт как эффективный способ совершенствования технологии добычи нефти // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. Том 2. / Под ред.: В.П.Савиных, В.В.Вишневого. – М.: Академия наук о Земле, 2004. – С.133-134.
18. Марфин Е.А. Математическая модель процесса генерации колебаний давления в струйном излучателе на основе резонатора Гельмгольца // Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении: IV-я Всероссийская школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН В.Е.Алемасова, 28-29 сентября 2004 г. – Казань: Изд-во КГУ, 2004. – С. 530-537.
19. Алемасов В.Е., Буторин Э.А., Коханова С.Я., Кравцов Я.И. Марфин Е.А., Самбурова Л.И. Формирование полей акустических колебаний в горизонтальных скважинах // Ресурсоэффективность и энергосбережение: Труды V-го Международного симпозиума, 1-3 декабря 2004 г., – Казань: Изд-во КГТУ, 2005. – С. 287-291.
20. Марфин Е.А., Кравцов Я.И. Исследование процессов генерации колебаний в струйном излучателе с помощью виртуального испытательного стенда // Наука. Инновации. Бизнес: Материалы V-й Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 9 июня 2005. – Казань: Изд-во «Экоцентр», 2005. – С.201-202.
21. Марфин Е.А. О некоторых особенностях механизма генерации колебаний в струйном излучателе на основе резонатора Гельмгольца // Туполевские чтения: Материалы Международной молодежной научной конференции, посвященной 1000-летию г. Казани, 10-11 ноября 2005 года. – Казань: Изд-во КГТУ. 2005. – Том II. – С.40-41.
22. Марфин Е.А., Кравцов Я.И. Выбор оптимальных геометрических параметров излучателя на основе резонатора Гельмгольца // Изв. РАН. Энергетика. – 2005. – №6. – С.108-113.

Центр инновационных технологий
Россия, РТ, г. Казань, ул. К.Фукса, д. 11/6

Подписано в печать 21.03.06. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 1,0
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Центре инновационных технологий
Россия, РТ, 420111, г. Казань, ул. К.Фукса, 11/6
Лиц. ПЛ №0173 от 26.10.99.