

На правах рукописи

ЧИГЛИНЦЕВА АНГЕЛИНА СЕРГЕЕВНА

**ТЕЧЕНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В КАНАЛАХ,
НАХОДЯЩИХСЯ В ГАЗОГИДРАТНЫХ МАССИВАХ**

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



Тюмень – 2008

Работа выполнена на кафедре прикладной математики и механики Бирской государственной социально-педагогической академии

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор
Шагапов Владислав Шайхулагзамович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
Кислицын Анатолий Александрович

кандидат физико-математических наук
Киреев Виктор Николаевич

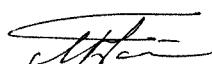
Ведущая организация: Башкирский государственный университет

Защита состоится « 19 » декабря 2008 г. в 14⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета ДМ 212.274.09 при Тюменском государственном университете по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская, д.15^А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государственного университета по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Семакова, д.10.

Автореферат разослан « 17 » ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м. н., доцент



Мусакаев Н.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы обусловлена все возрастающим интересом к проблеме газогидратов, связанным, в первую очередь, с признанием того факта, что в перспективе природные газогидраты могут стать новым источником углеводородного газа благодаря значительным ресурсам, неглубокому залеганию и концентрированному состоянию в них газа. Кроме того, процесс разложения газогидратов играет важную роль в глобальных природных процессах. За последние десятилетия накоплен большой объем информации по распространению скоплений газа в твердом газогидратном состоянии. Имеются сведения о более чем двухсот газогидратных залежей, выявленных как в недрах Земли, так и на дне Мирового океана и распространенных по всему миру, доступные большинству стран мирового сообщества. Потенциальные ресурсы гидратированного газа оцениваются специалистами в $1.5 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$. К настоящему времени разведанные запасы углеводородного сырья (в основном метана) в газогидратном виде весьма велики и заметно превышают запасы природного газа в свободном состоянии. В связи с этим за последние годы резко возрос интерес к исследованиям и разработкам технологий, позволяющих использовать газогидраты в виде альтернативного углеводородного сырья. Ряд промышленно развитых стран рассматривают природные газогидраты в качестве реального нетрадиционного источника углеводородов. Появление газа из газогидратных залежей на мировом газовом рынке может быстро и существенно изменить всю ситуацию в сфере энергоснабжения различных регионов Земли.

При разложении газогидрата выделяется огромное количество газа. Так при разложении одного кубометра газогидрата выделяется сто шестьдесят кубометров газа, что весьма существенно для энергопотребления. Так сейчас остро стоит проблема истощения природных запасов нефти, угля, газа, а запасы газогидрата во много раз превосходят запасы природных энергоресурсов вместе взятых, то открытие природных газогидратов, высокая их энергоемкость, глобальная их экологическая значимость и другие важные последствия их существования, вызвали огромный интерес к этим соединениям исследователей всего мира и стимулировали разработку газогидратной тематики.

Цели работы. Для разработки научных основ технологического процесса добычи газа из газогидратного массива необходимо построение адекватных математических моделей, расширяющих теоретические представления о теплофизических и гидродинамических особенностях процесса разложения газогидрата, что определило **цели настоящей работы:**

- построить и развить теоретическую модель, которая описывает извлечение газа из подводных газогидратных массивов путем инъекции теплой воды через систему труб;
- установить наиболее оптимальные режимы, обеспечивающие максимальный теплосъем от инжектируемого теплоносителя и стабильный дебит газа в длительный период.

Научная новизна состоит в следующем:

- описано движение двухфазного течения в каналах, находящихся в газогидратных массивах;
- исследована принципиальная возможность извлечения газа из состава газогидратного массива посредством циркуляции теплой воды в системе труб, находящихся в газогидратном массиве с описанием принципиальных технологических схем;
- получены условия разложения газогидрата при различных способах воздействия на газогидратную залежь;
- установлены основные закономерности разложения газогидратов в зависимости от исходных параметров закачки теплой воды в газогидратный пласт.

Достоверность результатов диссертации основана на использовании фундаментальных уравнений и методов механики сплошных сред; корректной теоретической постановкой задач, а также получением решений, непротиворечащих общим гидродинамическим и термодинамическим представлениям.

Практическая ценность. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при разработке, как теоретических основ, так и практических методов различных технологий, связанных с течением двухфазного потока в каналах, находящихся в газогидратном массиве, а также с добычей газа из подводных газогидратных массивов.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались на следующих конференциях и научных школах:

- Международная математическая конференция «Теория функций, дифференциальные уравнения, вычислительная математика» посвященная памяти Алексея Федоровича Леонтьева (1-5 июня, 2007г., г. Уфа.);
- VI Всероссийская научно-практическая конференция «ЭВТ в обучении и моделировании» (20-21 апреля 2007, г. Бирск);

- Всероссийская конференция «Механика и химическая физика сплошных сред» (26-28 июня, Бирск, 2007);
- 3-й Международный форум – КОНКУРС «Актуальные проблемы современной науки» (г. Самара, 20 - 23.11.07);
- Всероссийская школа-конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании» (30 октября – 3 ноября 2007 г., г. Уфа);
- ВНКСФ-14 Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых, 27 марта-3 апреля г. Уфа, 2008г.;
- Научно-практическая конференция аспирантов и студентов «Наука в школе и вузе». БирГСПА 14–18 апреля 2008г.;
- Всероссийской научно-практической конференции «Обратные задачи в приложениях», 19–20 июня 2008г. БирГСПА;
- Семинар «Проблемы математики в промышленности и экономике» 30-31 октября г. Бирск, 2008г.

Кроме того, результаты работы докладывались на семинарах проблемной лаборатории математического моделирования и механики сплошных сред под руководством профессора С.М. Усманова и В.Ш. Шагапова.

По итогам выступлений на российской конференции «Механика и химическая физика сплошных сред» (г. Бирск. июнь 2007г.) и на четырнадцатой всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (г. Уфа, март-апрель 2008г.) по тематике настоящей диссертации автор удостоен дипломов за лучший доклад.

Публикации. Основной материал диссертации опубликован в 12 работах. Список публикаций приведен в конце авторефера.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Работа изложена на 107 страницах и иллюстрирована 24 рисунками. Список литературы содержит 112 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована практическая и научная актуальность проблемы, отмечена научная новизна, сформулирована цель, основные задачи исследования, кратко изложена структура диссертации.

В первой главе выполнен обзор работ, посвященных исследованию газогидратов и особенностям их разложения, произведен анализ некоторой

литературы, касающейся вопросам теплообмена и течения двухфазного потока в каналах.

В п. 1.1 кратко приведены основные сведения о газогидратах и о районах залегания газогидратов во всем мире.

В п. 1.2 выполнен обзор исследований, посвященных изучению свойств, строения газогидратов и их роли в природных процессах и описанию методов и способов процесса разложения газогидратов.

В п. 1.3 проведен литературный анализ некоторых работ, касающихся вопросов теплообмена и течения газожидкостного потока в каналах.

Во второй главе рассматривается задача о возможном вымывании газа из газогидратного массива циркуляцией теплой воды.

Приведена и описана принципиальная технологическая схема процесса вымывания газа циркуляцией теплой воды через систему труб. Рассмотрены основные допущения и полная система уравнений, описывающая процесс разложения газогидрата и движение двухфазного потока в системе труб.

На рис. 1 представлена технологическая схема процесса вымывания газа из газогидратного массива. Предполагается, что система труб состоит из двух соосных цилиндрических вертикальных каналов. Внутренней канал пред назначен для подвода теплоносителя (теплой воды) на открытый участок полости, окруженной газогидратным массивом. Теплоноситель, поднимаясь по забою, подвергает к диссоциации газогидрат. Вследствие этого в восходящий поток за счет разложения газогидрата поступают газ и дополнительное тепло. Далее этот двухфазный поток попадает на обсаженный участок.

Полагалось, что нисходящее течение теплоносителя происходит с постоянной скоростью, поэтому уравнения импульсов и баланса тепла во внутренней колонне имеют вид:

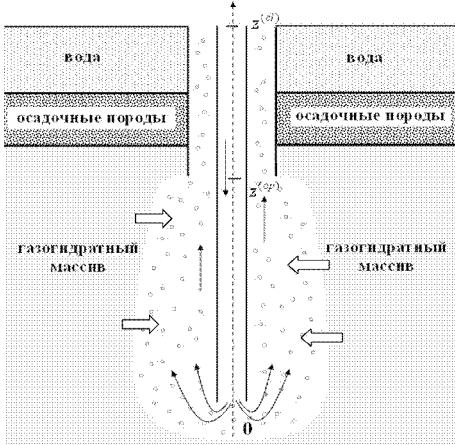


Рис. 1. Технологическая схема процесса вымывания газа из газогидратного массива.

$$\frac{dp^{(i)}}{dz} = -\rho_i^0 g + \frac{2\tau_c^{(-)}}{a_c^{(-)}}, \quad (1)$$

$$m_l^{(-)} c_l \frac{dT^{(i)}}{dz} = 2\pi a_c^{(-)} q_c^{(-)} \quad (2)$$

$$(m_l^{(i)} = \pi a_c^{(-)2} w^{(i)} \rho_l^0)$$

где $p^{(i)}$ - давление в колонне, ρ_i^0 - плотность жидкости, $a_c^{(-)}$ - внутренний радиус колонны, $\tau_c^{(-)}$ - сила гидравлического трения между потоком и стенкой, отнесенная на единицу её площади, $T^{(i)}$, $m_l^{(i)}$, $w^{(i)}$, c_l - температура, массовый расход, скорость и теплоемкость воды, $q_c^{(-)}$ - интенсивность теплоизменения, отнесенная к единице площади стенки канала.

Система основных уравнений, состоящая из уравнения масс для жидкой и газовой фаз, уравнения импульсов, уравнения притока тепла в односкоростном приближении для двухфазного потока имеет вид:

$$\frac{dm_i}{dz} = 2\pi a j_i, \quad m_i = S w \rho_i^0 \alpha_i, \quad (i = g, l) \quad (3)$$

$$j_g = G j, \quad j_l = (1-G) j,$$

$$\left(\alpha_g + \alpha_l = 1, S = \pi (a^2 - a_c^{(+2)}) \right),$$

$$m \frac{dw}{dz} = -S \frac{dp}{dz} - S \rho g - 2\pi a t - 2\pi a_c^{(+)} \tau_c^{(+)} - 2\pi a j w, \quad (5)$$

$$(m_g c_g + m_l c_l) \frac{dT}{dz} = \frac{m_g}{\rho_g^0} \frac{dp}{dz} + 2\pi a j c (T_a - T) + 2\pi a q^{(-)} + 2\pi a_c q_c^{(+)}. \quad (6)$$

Здесь m_i , ρ_i^0 , α_i - соответственно массовый расход, истинная плотность, объемное содержание i -ой фазы ($i = g$ и $i = l$ относится к газовой и жидкой фазам), w - среднерасходная скорость, j_i - массовая интенсивность поступления i -ой фазы за счет смыва газогидрата теплой водой со стенки полости, отнесенная на единицу её площади, G - массовая концентрация газа в составе газогидрата, t и $\tau_c^{(+)}$ - соответственно силы трения между газожидкостным потоком и внешней стенкой полости и внешней стенкой внутреннего канала, отнесенные к единице площади, T и T_a - температуры двухфазного потока в полости и стенки полости, $q^{(-)}$ и $q_c^{(+)}$ - соответственно интенсивности теплообмена между двухфазным потоком в полости и её внешней стен-

кой и внешней стенкой внутреннего канала, отнесенные к единице её площади.

Для силового и теплового взаимодействия восходящего потока со стенками полости примем следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \tau_c^{(+)} &= \tau = \xi \frac{\rho w^2}{8}, & \xi &= (1.821g \text{Re} - 1.64)^{-2} \\ q_c^{(+)} &= \beta_c^{(+)} (T_c^{(+)} - T), & q^{(-)} &= \beta^{(-)} (T_a - T), \\ \beta_c^{(+)} &= \frac{\lambda \text{Nu}}{2(a - a_c^{(+)})}, & \beta^{(-)} &= \frac{\lambda \text{Nu}}{2(a - a_c^{(+)})}, \\ \text{Nu} &= \frac{(\xi/8) \text{Re} \text{Pr}}{1.07 + 12.7 \sqrt{\xi/8} (\text{Pr}^{2/3} - 1)}, & \text{Re} &= \frac{2(a - a_c^{(+)}) \rho w}{\mu}, & \text{Pr} &= \frac{\mu c}{\lambda}. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $T_c^{(+)}$, T_a - соответственно температуры внешней поверхности внутреннего канала и внешней стенки восходящего двухфазного потока.

Считаем, что температура стенки полости T_a равна равновесной температуре разложения газогидрата $T_{(s)}$:

$$T_{(s)}(p) = T_{(h0)} + T_* \ln(p/p_{(h0)}). \quad (8)$$

При описании температурного поля полагаем, что градиенты температуры в газогидрате вдоль полости малы, чем в радиальном направлении ($|\partial T/\partial z| \ll |\partial T/\partial r|$). Поэтому уравнение теплопроводности запишем в виде:

$$\rho_h^0 c_h \frac{\partial T_h}{\partial t} = \lambda_h r^{-1} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_h}{\partial r} \right), \quad (a < r < \infty) \quad (9)$$

Скорость изменения радиуса полости определяется в виде:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \frac{j}{\rho_h^0}. \quad (10)$$

Поле температур вокруг полости описывается выражением:

$$T_h = C_1 \ln(r/a) + C_2 r + C_3, \quad (11)$$

удовлетворяющим граничным условиям на поверхности стенки полости и на поверхности теплового влияния полости следующего вида:

$$T_h = T_a \quad (r = a) \quad \text{и} \quad T_h = T_{h0}, \quad \frac{\partial T_h}{\partial r} = 0 \quad (r = a_*). \quad (12)$$

Закон изменения радиуса a_* запишем на основе уравнения баланса тепла в газогидратном слое $a < r < a_*$ вблизи полости:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_a^{a_*} 2\pi r c_h \rho_h^0 (T_h - T_{h0}) dr = -2\pi a \lambda_h \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) \Big|_{r=a}. \quad (13)$$

Радиус полости определяется из соотношения:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \frac{q^{(-)} - q^{(+)}}{\rho_h^0 l_h}, \quad q^{(+)} = -\lambda_h \frac{(T_{h0} - T_a)(a - a_*)}{a(a_* - a - a_* \ln(a_*/a))}. \quad (14)$$

Рассмотрим режим нагнетания теплоносителя через систему двух соосных труб в газогидратный пласт, при котором поддерживаются постоянные значения давлений на входе внутреннего канала и на выходе из внешней колонны. Кроме того, полагается, что температура теплоносителя на входе также постоянна.

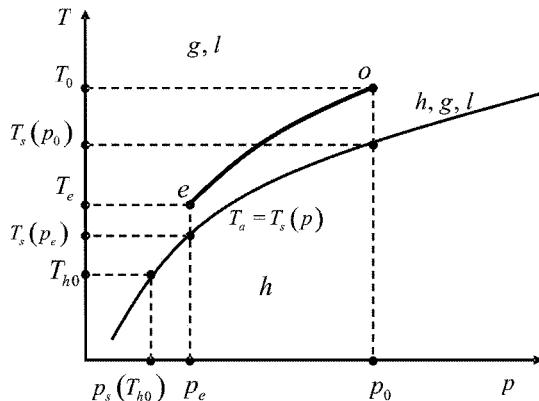


Рис. 2. Фазовая диаграмма.

На рис. 2 на плоскости p, T схематично представлена фазовая диаграмма, соответствующая гидродинамической и температурной обстановке в полости. Для того чтобы происходило разложение газогидрата на поверхности стенки полости, фазовая траектория oe на этой плоскости, соответствующая распределению давления и температуры воды в канале должна находиться выше кривой фазового равновесия - h, g, l .

В расчетах полагалось, что система труб, состоящая из двух соосных цилиндрических вертикальных каналов, имеет следующие параметры: внутренний канал длиной $z = 400$ м имеет радиус $a_c^{(-)} = 0.05$ м, а внешний канал, с длиной необсаженного участка $z^{(op)} = 100$ м, в начальный момент времени

$(t = 0)$ имеет радиус $a = 0.1$ м (соответственно обсаженный участок $(z^{(op)} < z < z^{(cl)})$ подъемной колонны имеет постоянный радиус $a = 0.1$ м).

Для параметров, определяющих режим работы системы труб, принимались следующие значения: $p_0^{(i)} = 6$ МПа, $p_e = 1$ МПа, $T_0^{(i)} = 300$ К.

На рис. 3 и 4 сплошными линиями представлены результаты расчетов, иллюстрирующие эволюцию температурных и гидродинамических полей вдоль каналов, а также распределения интенсивности вымывания газогидрата и радиуса полости. Установлено, что со временем снижается дебита газа. Это связано со снижением интенсивности теплопередачи из-за уменьшения линейной скорости восходящего двухфазного потока, которое в свою очередь происходит за счет роста площади сечения полости. При этом с ростом радиуса полости в забое, растет также площадь ее поверхности, с которой вымывается газогидрат. Таким образом, эффект снижения теплопередачи является более сильным, чем увеличение поверхности контакта между восходящим потоком и газогидратным массивом. Следовательно, для поддержания высокого уровня дебита необходимо предпринять меры, способствующие интенсивной теплопередачи от восходящего потока к поверхности стенки забоя. Штриховыми линиями представлены результаты расчетов, соответствующие увеличенным в три раза текущих значений коэффициентов теплопередачи $\beta_c^{(+)}$ и $\beta^{(-)}$.

На рис. 5 иллюстрируется влияние величины устьевого давления на дебит газа (числа на кривых соответствуют значениям давления p_e с разностью в МПа). Установлено, что наиболее выгодным является режим эксплуатации системы труб с низким значением устьевого давления $p_e = 0.5$ МПа.

В третьей главе проводится анализ некоторых возможных технологических схем добычи газа из газогидратного массива.

Представлены различные технологические схемы процесса добычи газа из газогидратного массива с описанием течения газожидкостного потока в каналах. Изучены условия эксплуатации системы добычи с целью определения наиболее оптимальных режимов.

В разделе 3.1 рассматривается задача о вымывании газа из газогидрата посредством инъекции теплой воды в необсаженную полость, находящуюся в газогидратном массиве.

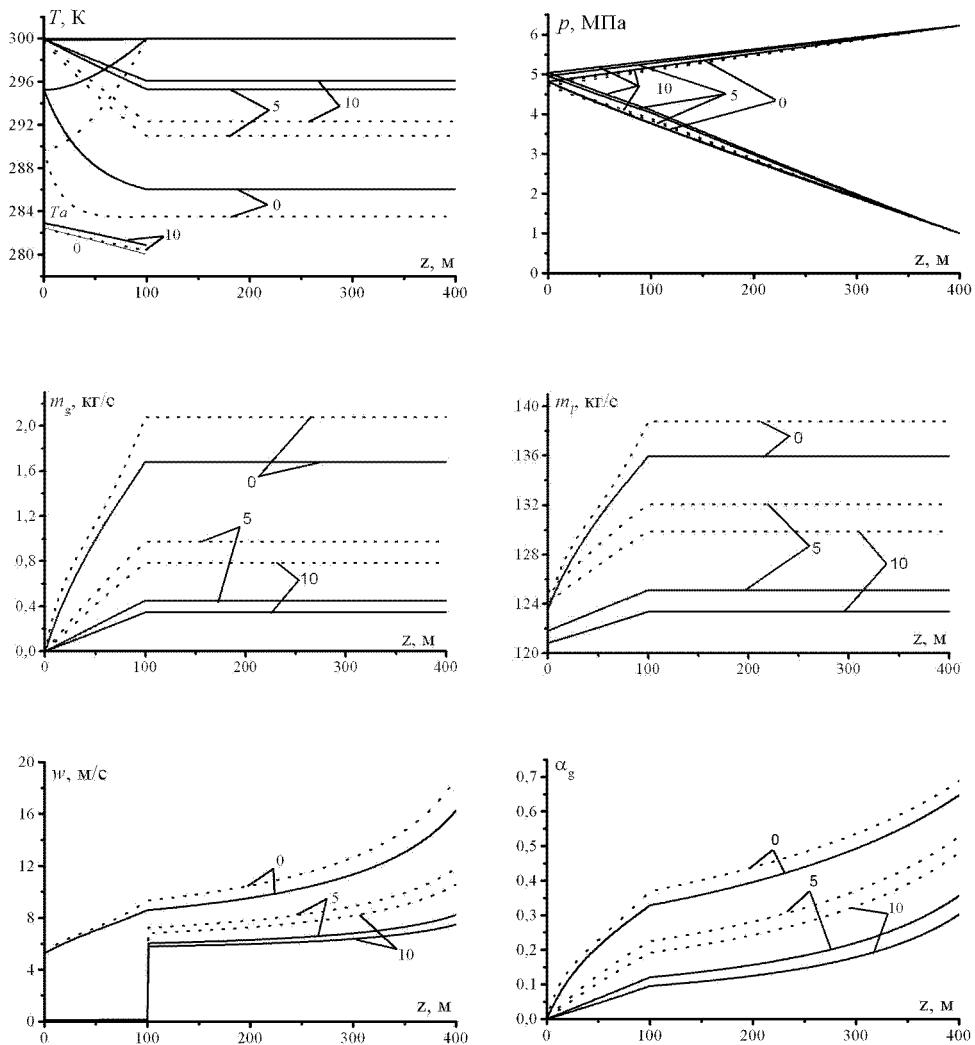


Рис. 3. Распределение вдоль системы труб гидродинамических и температурных полей. Числа на кривых выражают время в часах. В графиках для температуры кривые с дополнительной температурой T_a соответствуют распределения температуры стенки забоя.

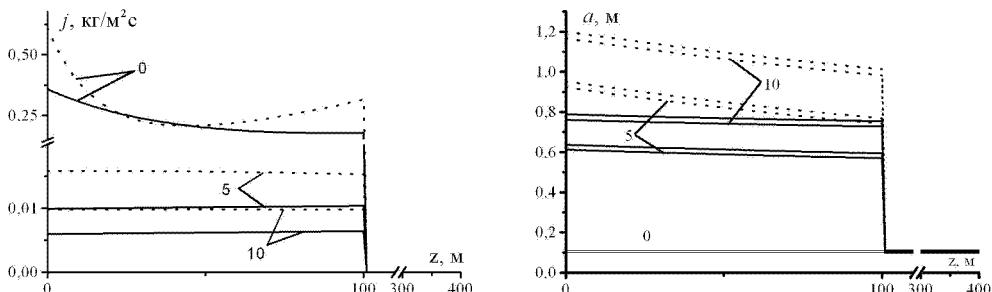


Рис. 4. Интенсивность вымывания газогидрата и радиуса полости со временем.

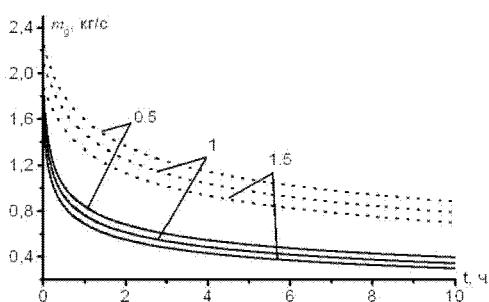


Рис. 5. Зависимость дебита газа со временем при различных значениях устьевого давления p_e .

На рис. 6 изображена возможная технологическая схема процесса вымывания газа из газогидратного массива. Предполагается, что забой полости представляет собой цилиндрический вертикальный канал. Внешний канал предназначен для подвода теплоносителя на открытый участок полости, окруженный газогидратным массивом. Теплоноситель, поднимаясь по забою, приводит к диссоциации газогидрата. Вследствие этого в восходящий поток на этом участке за счет разложения газогидрата поступают газ и дополнительно вода. Далее восходящий поток газа мигрирует через слой массива воды и попадает в специально оборудованную ловушку на её поверхности.

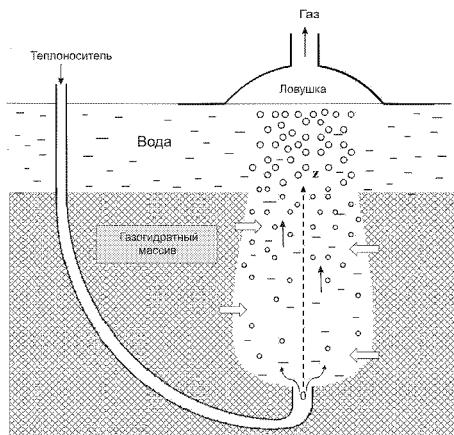


Рис. 6. Технологическая схема.

На рис. 7 представлена эволюция гидродинамических и температурных полей в канале, массовые расходы газа и воды, на рис. 8 – эволюция распределений интенсивности вымывания газогидратата и радиуса полости. Полость в начальный момент времени представляет собой цилиндрический канал радиусом $a_0 = 0.1$ м и длиной $z_e = 300$ м. Для параметров, определяющих режим эксплуатации системы труб,

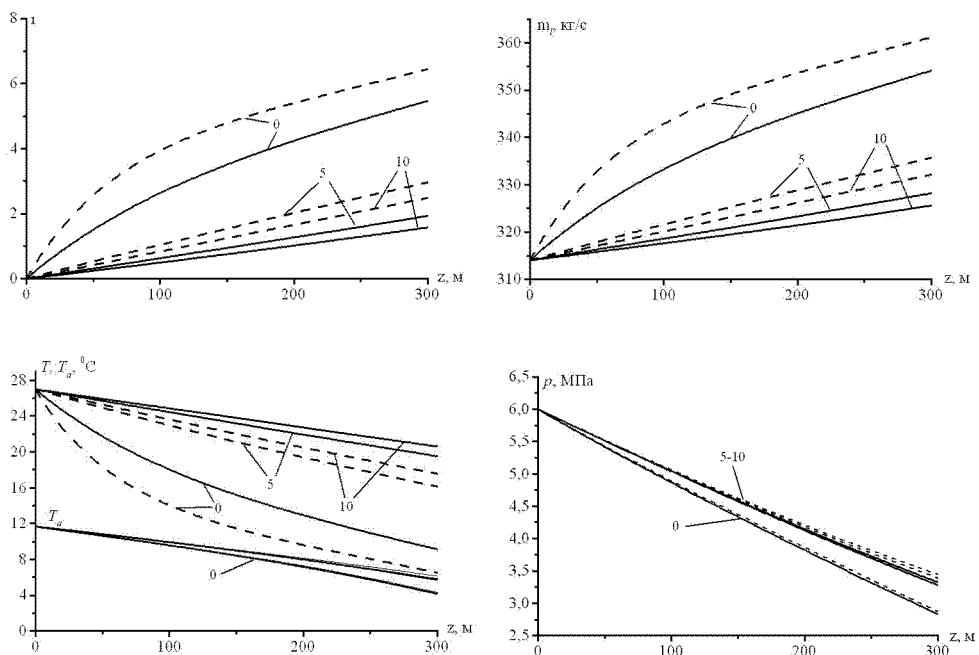


Рис. 7. Распределение вдоль полости массовых расходов газа и воды, температурных и гидродинамических полей в различные моменты времени.

принимались следующие значения: $m_{f0} = 314 \text{ кг/с}$, $p_0 = 6 \text{ МПа}$, $T_0 = 300 \text{ К}$. Установлено, что и при такой схеме добычи со временем снижается расход газа на выходе. Это происходит, несмотря на то, что при заданном постоянном расходе теплоносителя m_{f0} с температурой T_0 за счет смывания газогидрата увеличиваются радиус полости и, следовательно, поверхность контакта между теплоносителем и газогидратным массивом. Такое поведение расхода газа связано с сильной зависимостью теплового потока, определяемого значением числа Нуссельта Nu^- , от линейной скорости потока. Штриховыми линиями на рис. 7 и на рис. 8 представлены результаты расчетов, соответствующие удвоенным текущим значениям коэффициента теплопередачи β^- .

На рис. 9 представлены расход газа из канала и коэффициент выхода газа со временем при различных давлениях нагнетания теплоносителя (числа около кривых – давление в МПа). Выявлено, что наиболее выгодными являются режимы закачки с более низким значением давления.

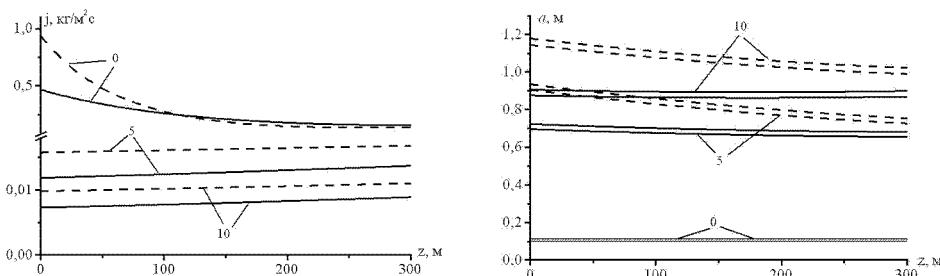


Рис. 8. Интенсивность вымывания газогидрата и радиус полости в различные моменты времени.

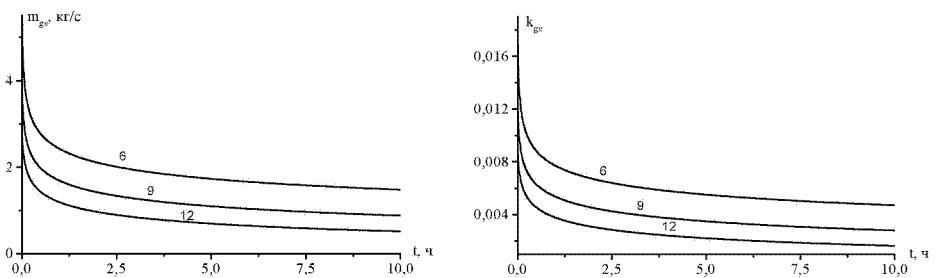


Рис. 9. Эволюция дебита газа на выходе и коэффициента выхода газа при различных значениях давления p_0 .

В разделе 3.2 рассматривается задача о вымывании газа из газогидратного массива путем инъекции теплой воды в канал, находящийся в газогидратном массиве, представляющий собой форму спирали. На рис. 10 изображена возможная технологическая схема процесса вымывания газа из газогидратного массива.

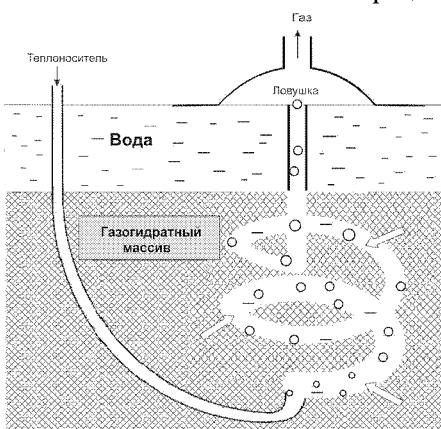


Рис. 10. Технологическая схема процесса вымывания газа из газогидратного массива.

работы системы добычи, принимались следующие значения: $p_0^{(i)} = 5 \text{ МПа}$, $p_e = 3.5 \text{ МПа}$, $T_0^{(i)} = 300 \text{ К}$.

На рисунках представлены результаты расчетов для двух случаев работы системы труб: пунктирная линия соответствует для полости в виде спирали, а сплошная линия – для вертикальной полости. На рис. 11 представлено распределение массовых расходов газа и воды в канале (числа на кривых выражают время в часах). Рис. 12 иллюстрирует эволюцию гидродинамических и температурных полей в каналах. Видно, что дебит газа в случае полости в виде спирали наибольший, что иллюстрирует рис. 13. На наш взгляд, это связано с тем, что более продолжительное время пребывания теплоносителя в такой полости приводит к более полной отдаче тепла и как следствие к большему дебиту газа.

Также режим работы такой системы труб рассматривался при различной скорости закачки теплоносителя. Установлено, что режим с большей скоростью закачки $w_0^{(i)} = 15 \text{ м/с}$ теплоносителя реализуется при наибольшей добыче газа.

Предполагается, что забой полости представляет собой канал в виде спирали. Внешний канал предназначен для подвода теплоносителя на открытый участок полости. Теплоноситель, поднимаясь по забою, приводит к диссоциации газогидрат. В восходящий поток на этом участке при этом поступают газ и вода. Далее восходящий поток газа поднимается по вертикальному каналу и попадает в ловушку на поверхности воды.

В расчетах полагалось, что полость представляет собой канал в виде спирали радиусом равным шагу винтовой линии. Для параметров, определяющих режим

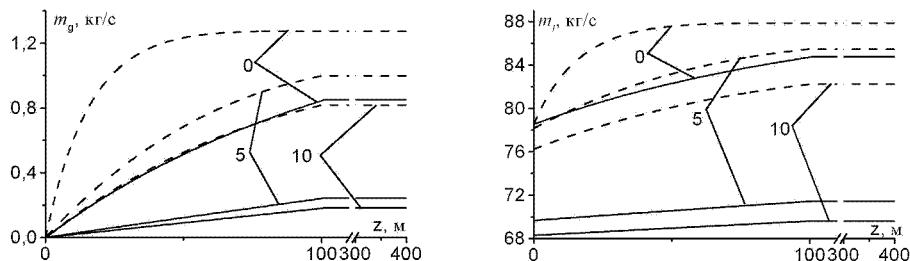


Рис. 11. Распределение вдоль системы труб массовых расходов газа и воды. Числа на кривых выражают время в часах.

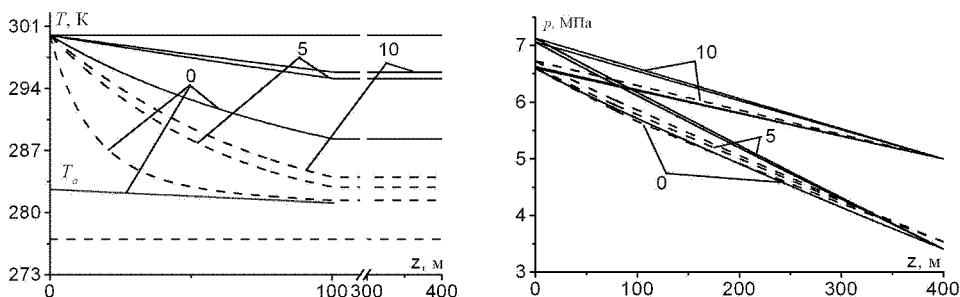


Рис. 12. Распределение вдоль системы каналов гидродинамических и температурных полей. Температура T_a соответствует температуре стенки забоя.

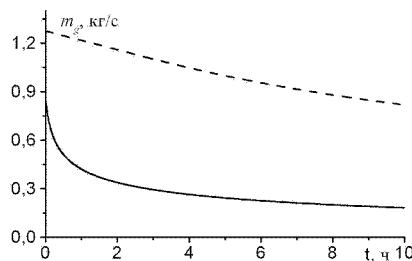


Рис. 13. Изменение со временем дебита газа на выходе из полости.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе предложены технологические схемы и построены соответствующие теоретические модели по извлечению газа из подводных газогидратных массивов посредством циркуляции теплой воды через систему труб различных конфигураций. Изучены различные условия эксплуатации системы добычи с целью определения наиболее оптимальных режимов, обеспечивающих максимальный теплосъем от инжектируемого теплоносителя и стабильный дебит газа в длительный период. По результатам исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что со временем работы системы труб снижается дебит газа, хотя при заданном постоянном расходе теплоносителя, за счет смывания газогидрата, увеличиваются радиус полости и, следовательно, поверхность контакта между теплоносителем и газогидратным массивом. Это связано с тем, что увеличение радиуса приводит в свою очередь еще к снижению линейной скорости потока. Оказывается этот эффект уменьшения коэффициента теплопередачи из-за снижения скорости является более сильным, чем эффект увеличения поверхности полости. Вследствие этого, со временем происходит менее полная утилизация теплового запаса теплоносителя, а, следовательно, и уменьшение дебита газа.

2. Показано, что увеличение текущих значений коэффициентов теплопередачи (или числа Нуссельта) в два-три раза приводит к росту интенсивности теплопередачи от восходящего потока на стенки газогидратного массива и как следствие дает рост дебита газа более чем на 20% и 50% соответственно. Поэтому, для эффективной и стабильной работы системы труб в газогидратном массиве необходимо предусмотреть меры, способствующие наиболее полную утилизацию тепла закачиваемой воды (закрутка потока, выбор оптимальной геометрии канала, выбор режимов расхода закачиваемой воды и величин давления на входе и выходе каналов).

3. Численным моделированием установили следующее:

при значениях давления закачки $p_0^{(i)}$ теплоносителя в диапазоне $6 \div 12$ МПа наиболее выгодный режим с точки зрения наибольшего дебита газа, оказался при значениях давлений в 6 МПа;

вариация устьевого давления $p^{(e)}$ в диапазоне значений $0.5 \div 1.5$ МПа показала режим, что с низким значением устьевого давления является также более выгодным;

Это связано с тем, что в режиме при низких давлениях реализуются более высокие линейные скорости потока относительно стенки полости. С другой стороны при низких давлениях увеличивается перепад между температурой потока и температурой стенки полости, что в свою очередь обеспечивает более высокий теплосъем от инжектируемой воды.

4. Выгодным является, в плане наиболее полной утилизации тепла от инжектирующей жидкости эксплуатация полости с как можно более протяжённым забойным участком и, например, создание забойного участка в виде спирали.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Чиглинцева А.С. Численное моделирование добычи газа из газогидратного массива посредством инъекции теплой воды Международная математическая конференция «Теория функций, дифференциальные уравнения, вычислительная математика» посвященная памяти Алексея Федоровича Леонтьева // Тезисы докладов (1-5 июня, 2007г., г. Уфа.)
2. Шагапов В.Ш., Чиглинцева А.С. Численное моделирование добычи газа из газогидратного массива «ЭВТ в обучении и моделировании» VI Всероссийская научно-практическая конференция // Сборник научных трудов конференции. Бирск. 2007 г. С. 185-191.
3. Чиглинцева А.С., Шагапов В.Ш. К теории вымывания газа из газогидратного массива // Труды Института механики Уфимского научного центра РАН. Выпуск 5. / Под ред. М.А. Ильгамова, С.Ф. Урманчеева, С.В. Хабирова.- Уфа: Изд-во «Гилем», 2007. - 340 с.
4. Чиглинцева А.С., Шагапов В.Ш. Математическая модель вымывания газа из газогидратного массива циркуляцией теплой воды Всероссийская школа-конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании» // Тезисы докладов математика (30 октября – 3 ноября 2007г., г. Уфа) С. 41.
5. Чиглинцева А.С., Шагапов В.Ш. Математическая модель вымывания газа из газогидратного массива циркуляцией теплой воды Всероссийская школа-конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании» // Доклады математика (30 октября – 3 ноября 2007г., г. Уфа) С. 102-105.
6. Чиглинцева А.С., Шагапов В.Ш. К теории добычи газа из газогидратного массива циркуляцией теплой воды // Актуальные проблемы современной науки: Труды 3-го Международного форума (8-й Международной конференции молодых учёных и студентов 20-23 ноября 2007г.). Естественные науки. Часть 3: Механика. Машиностроение. Самара: Изд-во СамГТУ, 2007. С. 128-133.

7. Чиглинцева А.С. Шагапов В.Ш. Эксплуатация системы скважин в газогидратном массиве // Вестник БирГСПА. Бирск – 2007. С. 357-361.
8. Чиглинцева А.С. Анализ возможных режимов работы системы скважин в газогидратном массиве при добыче газа // Сборник тезисов, материалы Четырнадцатой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-14, Уфа): материалы конференции, тезисы докладов: В 1 т. Т.1 – Екатеринбург – Уфа: издательство АСФ России, 2008. Стр. 530-531.
9. Чиглинцева А.С. Задача о депрессионном и тепловом воздействии на газогидратный пласт Наука в школе и вузе: Материалы научной конференции аспирантов и студентов. / Под общ. ред. Ш.Г. Зиятдинова. – Бирск: Бирск. гос. соц.-пед. акад., 2008. – Часть I. –218 с. 198–201.
10. Чиглинцева А.С., Шагапов В.Ш. Определение режимов эксплуатации систем добычи газа из газогидратных месторождений // Сборник статей научно-практической конференции «Обратные задачи в приложениях» Бирск 19–21 июня 2008 г. БирГСПА. Стр. 258–261.
11. Гильмиярова Л.Ф., Чиглинцева А.С., Шагапов В.Ш. Влияние осадочных пород при разработке газогидратных массивов // Сборник статей научно-практической конференции «Обратные задачи в приложениях» Бирск 19–21 июня 2008 г. БирГСПА. Стр. 240–244.
12. Шагапов В.Ш., Чиглинцева А.С., Сыртланов В.Р. О возможности вымывания газа теплой водой из газогидратного массива. // Теплофизика высоких температур. Том 46, №6. стр. 911-918. (V.Sh. Shagapov, A.S. Chiglntseva, V.R. Syrtlanov The Possibility of Washing-out the Gas from Gas Hydrate Deposit by Warm Water // Hight Temperature. 2008. V 46, № .6. P. 841-848).

Соискатель



Чиглинцева А.С.

Чиглинцева Ангелина Сергеевна

**ТЕЧЕНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В КАНАЛАХ,
НАХОДЯЩИХСЯ В ГАЗОГИДРАТНЫХ МАССИВАХ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Лицензия на полиграфическую деятельность 002037 от 08 ноября 2001 года,
выданная Поволжским межрегиональным территориальным управлением
Министерства Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Подписано в печать 15.11.2008 г.
Гарнитура «Times». Печать на ризографе с оригинала.
Формат 60x84 1/16. Уч.-изд.л. 1,16.
Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ № 101.
Цена договорная.
452453, Республика Башкортостан, г. Бирск, ул. Интернациональная, д. 10.
ГОУ ВПО «Бирская государственная социально-педагогическая академия»
Отдел множительной техники БирГСПА