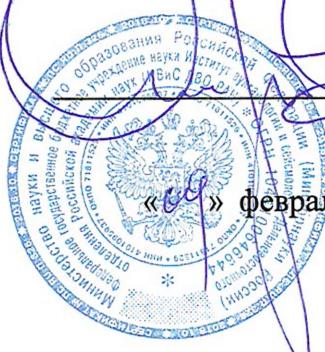


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
**ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ
И СЕЙСМОЛОГИИ**
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВиС ДВО РАН)
683006, г. Петропавловск-Камчатский,
бульвар Пийпа, 9
Тел. (4152) 297717, факс: (4152) 297982
E-mail: volcan@kscnet.ru,
ОКПО 71811529, КПП 410101001,
ИНН 4101095937

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИВиС ДВО РАН
Член-корреспондент РАН

А.Ю. Озеров

» февраля 2023 г.



09. 02. 2023 № 16163 - 53/1

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Варламовой Натальи Николаевны

«Повышение устойчивости парлифтной добычи флюида с двухфазной транспортировкой на геотермальном месторождении»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэrogазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 120 наименований, двух приложений. Работа изложена на 128 страницах, включает 5 таблиц, 37 рисунков.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Вопрос поиска альтернативных источников энергии с каждым годом набирает все большую популярность. Этому способствует повышенное внимание к поиску экологичных решений для производства энергии в мире в целом, а также зависимость некоторых регионов от привозного топлива. Использование геотермальной энергии, которая считается возобновляемой и доступна круглогодично, не зависит от погодных условий, а также не связана со сжиганием углеродного сырья, сопровождающимся выбросом углекислого газа в атмосферу, является одним из вариантов решения данной проблемы. В России разрабатываются четыре высокопотенциальных геотермальных месторождения – два, включая крупнейшее отечественное месторождение – Мутновское, на Камчатке, два на Курилах. Все добывающие скважины отечественных месторождений работают в режиме парлифта, а транспортировка теплоносителя получила широкое распространение в виде пароводяной смеси. Как показывает опыт, не все скважины оказываются способными к работе

в режиме парлифта. Неспособность к эксплуатации, как правило, связана с неустойчивостью в скважине, которая, кроме условий течения в самой скважине, зависит от реакции устьевого давления на изменение расхода, определяемой условиями транспортировки флюида. Неустойчивость в трубопроводе, оказывая дестабилизирующий эффект на течение в скважине, может привести к выводу скважины из эксплуатации и требует отдельного изучения. В этой связи диссертационная работа, в которой установлено влияние режима эксплуатации и геометрических характеристик трубопровода пароводяной смеси на устойчивость добычи геотермального флюида в режиме парлифта, представляется актуальной.

2. Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования и общепринятым критериям внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования. Выдвигаемые соискателем теоретические и методологические положения, а также сформированные в диссертации выводы и предложения, как результаты исследования, являются новыми.

3. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации. Хотя в названии диссертации не указано прямо название объекта исследования (Мутновское геотермальное месторождение), контекст диссертации, а также вынесенные на защиту положения в целом соответствуют названию, а рассмотренная автором проблематика повышения устойчивости парлифтной добычи флюида с двухфазной транспортировкой на геотермальном месторождении соответствует направлениям исследований, предусмотренным Паспортом научной специальности с шифром 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика» (Область науки: 2. Технические науки, Группа научных специальностей: 2.8. Недропользование и горные науки, Наименование отрасли науки, по которой присуждаются ученые степени: технические).

4. Личный вклад соискателя в получении результатов исследования описан в тексте диссертации в виде перечисления выполненных лично Н.Н. Варламовой исследовательских работ. В изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 9 статей в соавторстве с научным руководителем и другими исследователями, еще 4 статьи (при одной статье в соавторстве) опубликованы в прочих изданиях. Кроме того, ею в соавторстве с научным руководителем и другими авторами получены 3 Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Очевидно, что диссертационное исследование Натальи Николаевны, было выполнено в составе коллектива, в который входили научный руководитель и соавторы. Однако, из содержательной части диссертации видно, что относящиеся к обоснованию защищаемых положений результаты автора по обоснованию механизма неустойчивой работы скважины при парлифтной добыче геотермального флюида и

особенно факторы устойчивости пароводяного течения при освоении геотермальных месторождений (на примере Мутновского геотермального месторождения) получены ею лично. Личный вклад Н.Н. Варламовой в получении результатов исследования высок.

5. Научная новизна выполненных исследований

В шести главах первого раздела диссертации Наталья Nikolaevna для постановки задач исследования выполнила подробный критический анализ современных тенденций в освоении геотермальных ресурсов. Это позволило выявить еще нерешенные проблемы в рассматриваемой ею области исследований. В итоге диссертационного исследования были получены новые результаты по каждой из частично или полностью нерешенных проблем:

- установлена взаимосвязь давления и энталпии флюида в питающем пласте с подъемной способностью парлифта и выявлены факторы, определяющие условия, при которых парлифт не сможет обеспечить подъем флюида в стволе добычной скважины;
- разработана процедура расчета истинного объемного паросодержания для определения плотности смеси при моделировании пароводяного течения в трубопроводах на геотермальных месторождениях, основанная на традиционной «модели дрейфа» для восходящих потоков, а для нисходящих потоков на ее модификации, определяющей скорость не газовой, а жидкой фазы;
- установлена возможность существования гравитационной неустойчивости пароводяного течения в условиях освоения геотермальных месторождений, в частности, для Мутновского месторождения возникновение неустойчивости характеризуется скоростями транспортировки менее 20,7 м/с.
- выявлены закономерности влияния рельефа трассы трубопровода и мест расположения на нем местных сопротивлений на устойчивость пароводяного течения при освоении геотермальных месторождений.

6. Обоснованность и достоверность научных результатов

В первой главе приводится анализ современного состояния проблем освоения геотермальных ресурсов, выполнена оценка актуальности вопросов в области освоения геотермальных ресурсов. По итогам проведенного анализа показана необходимость обоснования мер по повышению устойчивости режима парлифтной добычи геотермального флюида на основе создания условий, препятствующих развитию неустойчивости течения при двухфазной (пар и вода) транспортировке добываемого теплоносителя от скважины к потребителю.

Вторая глава посвящена определению условий устойчивого течения в скважине, а также оценке факторов, способных на него повлиять. Основой для определения факторов, играющих дестабилизирующую роль в работе скважины, послужило условие ее устойчивой работы, согласно которому трубопровод является фактором стабилизации режима работы скважины.

В качестве основных причин невозможности обеспечения парлифта отмечены: малое статическое пластовое давление; низкая проводимость пласта; неблагоприятные условия течения вниз по потоку от устья; несоответствующий (завышенный) внутренний диаметр обсадной колонны; технические дефекты при строительстве скважины, или возникшие в процессе ее эксплуатации или простояния; неудачно выбранный способ и нерациональная процедура возбуждения. По итогам проведенных в диссертации расчетов для скважин Паужетского и Мутновского месторождений сделан вывод, что использование нагнетаний отработанного флюида обратно в пласт и снижение внутреннего диаметра ствола скважины следует использовать в качестве способа обеспечения устойчивой работы скважины только как крайнюю меру, поскольку негативные последствия в виде снижения энталпии добываемого флюида и снижения эффективности парлифта с риском преждевременного самозадавливания добычных скважин будут существенно значимей положительного эффекта.

В третьей главе представлены методы гидравлического расчета трубопроводов пароводяной смеси, а также предложена новая модель расчета. Ранее трубопроводы, транспортирующие пароводяную смесь на Мутновском месторождении, рассчитывались с помощью программы MODEL. Однако, математическая модель, лежащая в основе этой программы, не предполагает расчет гравитационной составляющей перепада давления, которая, как указано в диссертационной работе, является определяющей при возникновении неустойчивого режима работы скважины. Кроме того, модель рассчитана на узкий диапазон скоростей, что не отвечает современным вызовам. С учетом этих факторов была разработана новая математическая модель SWIP-S, которая была верифицирована с помощью программы MODEL в номинальных условиях транспортировки, имеющей богатый положительный опыт в таких условиях, а за диапазоном номинальных условий – с помощью натурных данных по трубопроводу от скважины Гео-1 на Мутновском месторождении. По итогам верификации модель SWIP-S получила хорошее согласование, что позволяет ее рекомендовать для расчетов трубопроводов пароводяной смеси, включая условия, неприемлемые для использования предшествующего аналога.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния характеристик трубопроводов пароводяной смеси на устойчивость режима работы системы добычи и транспортировки геотермального флюида. Рассмотрены такие факторы, как наклон и диаметр трубопровода, рельеф трассы, локализация местных сопротивлений. В результате исследования влияния особенностей рельефа трассы было определено, что наиболее рационально иметь крутые восходящие потоки не в конце и не в начале (вблизи устья) трубопроводов, а в их средней части. По итогам рассмотрения влияния местных сопротивлений было выявлено, что вариант расположения сопротивлений на начальном участке для работы системы скважина–трубопровод представляется предпочтительным. На основании полученных результатов даны

практические рекомендации для строительства и реконструкции трубопроводов пароводяной смеси.

Корректное использование законов механики, логическое обоснование теоретических положений, необходимый объем натурных данных и использование опыта практической разработки месторождений парогидротерм обеспечивают обоснованность и достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций.

По теме диссертации автором опубликовано 17 работ. Основные положения и результаты научно-квалификационной работы достаточно полно отражены в публикациях и докладах на научных конференциях, заседаниях советов, семинарах лабораторий.

7. Теоретическая ценность результатов диссертационной работы

В диссертационной работе установлена взаимосвязь давления и энталпии флюида в питающем пласте с подъемной способностью парлифта и выявлены факторы, определяющие условия, при которых парлифт не сможет обеспечить подъем флюида в стволе добывной скважины; разработана процедура расчета истинного объемного паросодержания для определения плотности смеси при моделировании пароводяного течения в трубопроводах на геотермальных месторождениях, основанная на традиционной «модели дрейфа» для восходящих потоков, а для нисходящих потоков на ее модификации, определяющей скорость не газовой, а жидкой фазы; установлена возможность существования гравитационной неустойчивости пароводяного течения в условиях освоения геотермальных месторождений, в частности, для Мутновского месторождения возникновение неустойчивости характеризуется скоростями транспортировки менее 20,7 м/с; выявлены закономерности влияния рельефа трассы трубопровода и мест расположения на нем местных сопротивлений на устойчивость пароводяного течения при освоении геотермальных месторождений.

8. Практическая ценность результатов диссертационной работы

Практическая ценность проведенных исследований заключается в обосновании мер по созданию благоприятных условий для транспортировки пароводяной смеси, способствующих предотвращению развития неустойчивости режима парлифтной добычи геотермального флюида, а также в содействии созданию новой математической модели пароводяного потока и ее компьютерной реализации, учитывающей новые вызовы при освоении высокопотенциальных геотермальных месторождений, предназначеннной для замены ранее используемой в отечественной практике компьютерной программы MODEL.

Результаты работы внедрены при разработке Мутновского геотермального месторождения и имеют потенциал для дальнейшего развития прикладных аспектов.

9. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Автором обоснованы в диссертации практические рекомендации по созданию благоприятных условий для транспортировки пароводяной смеси, способствующих предотвращению развития неустойчивости режима парлифтной добычи геотермального флюида (Глава 4. Исследование влияния характеристик трубопроводов пароводяной смеси на устойчивость режима работы системы добычи и транспортировки флюида, Раздел 4.5. Рекомендации по расчету систем транспортировки пароводяной смеси и их проектированию с учетом обеспечения устойчивой эксплуатации).

10. Замечания по диссертационной работе

1. В работе отмечена важность влияния закачки на подъемную способность парлифта. Однако, анализ этого влияния на практике, например, по опыту разработки Мутновского геотермального месторождения, не проведен. Такой анализ с выходом на конкретные рекомендации мог бы существенно повысить ценность полученных результатов.

2. В разделах 2.2, 2.3 и 2.4 диссертации при расчетах активно используется компьютерная программа WELL-4. Учитывая важность выводов, полученных при таких расчетах, и их непосредственную связь с особенностью учета гравитационной составляющей уравнения движения в математической модели, положенной в основу данной программы, было бы целесообразно привести ее основные уравнения и формулы, а также провести сравнительный анализ используемой модели с ее аналогами.

11. Общая оценка работы

Представленная на отзыв диссертация Н.Н. Варламовой на тему «Повышение устойчивости парлифтной добычи флюида с двухфазной транспортировкой на геотермальном месторождении», несмотря на отмеченные недостатки, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Выдвинутые на защиту положения обоснованы и доказаны. Материалы диссертации апробированы на совещаниях и конференциях, и представлены в печатных изданиях.

Качество и полнота изложения материала диссертации соответствуют положениям ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Автореферат и опубликованные труды отражают основное содержание диссертации и полученные в ней результаты.

Диссертационная работа соответствует специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика» и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, а ее автор, Варламова Наталья Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Поляков Андрей Юрьевич
кандидат-геол.-мин. наук.
И.о. заведующего лаборатории тепломассопереноса
Старший научный сотрудник лаборатории тепломассопереноса,
Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа 9
E-mail: pol@kscnet.ru
Тел.: 89622907205
Я, Поляков Андрей Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в
документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

09.02.2023 г.

/  /

Делемень Иван Федорович
Кандидат-геол.-мин. наук.
Старший научный сотрудник лаборатории тепломассопереноса
Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа 9
E-mail: delemen@kscnet.ru
Тел.: 89622171268
Я, Делемень Иван Федорович, даю согласие на включение своих персональных данных в
документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

09.02.2023 г.

/  /

Диссертация и отзыв рассмотрены и обсуждены на расширенном заседании лаборатории
тепломассопереноса Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, протокол № 6 от 09
февраля 2023 г.

Секретарь заседания
младший научный сотрудник
лаборатории тепломассопереноса

/  / Черных Евгения Валерьевна

09.02.2023 г.



Полякова А.Ю., Делемень И.Ф.,
Отдел кадров  Е.В. заверяю.
Зав. Отделом кадров ИВИС ДВО РАН  09.02.2023,