

На правах рукописи

Габдулов

ГАБДУЛОВ РУШАН РАФИЛОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОВРЕМЕННО-
РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАСТОВ НА БАЗЕ
ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОДУКЦИИ СКВАЖИН**

Специальность 2.8.4. – «Разработка и эксплуатация нефтяных и
газовых месторождений»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2022

Работа выполнена на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Уразаков Камил Рахматуллович

Официальные оппоненты: **Хузин Ринат Раисович**
доктор технических наук, доцент
ООО «Карбон-Ойл» /
генеральный директор (г. Альметьевск)

Пепеляев Валерий Витальевич
кандидат технических наук, доцент
ООО «Пермское конструкторско-
технологическое бюро технического
проектирования и организации
производства» / директор (г. Пермь)

Ведущая организация «Татарский научно-исследовательский и
проектный институт нефти»
ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина
(г. Бугульма)

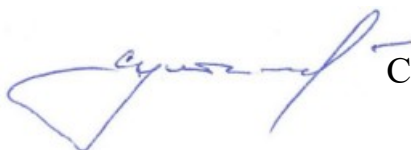
Защита диссертации состоится «24» марта 2022 г. в 14-30 на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.428.03 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современных условиях, когда конкурентоспособность нефтяных компаний на быстро меняющемся рынке зависит от таких показателей, как высокая производительность, энергоэффективность и повышение рентабельности производства, технология одновременно-раздельной разработки нескольких эксплуатационных объектов нефтяных пластов приобретает все большее значение.

Связано это с тем, что разрабатываемые месторождения зачастую имеют сложнопостроенный многопластовый характер, при котором нефтенасыщенные пласты, как правило, обладают различными характеристиками (пластовым давлением, проницаемостью, пористостью, давлением насыщения, физико-химическими свойствами нефтей, обводненностью, температурой и др.), в связи с чем на практике встречаются скважины, вскрывающие как один из объектов эксплуатации, так и более. Технология одновременно-раздельной добычи (ОРД) нефти призвана снижать эти издержки с одновременным повышением коэффициента извлечения нефти (КИН) месторождения при использовании как существующего фонда скважин, так и при вводе в эксплуатацию новых скважин. Однако, несмотря на то, что технология ОРД известна давно, по-настоящему широкое распространение она получает только сейчас.

Анализ технологий ОРД показывает, что добыча нефти из пластов при помощи установок электроцентробежного и скважинного штангового насосов (ЭЦН-СШН) является самым распространенным и наиболее эффективным видом ОРД, характеризующимся относительно низкими капитальными затратами, простотой конструкции и обслуживания. Между тем, используемые на практике установки ЭЦН-СШН имеют свои недостатки, неисследованными остаются тепловой режим совместной эксплуатации пластов, влияние изменения вязкостно-температурных характеристик нефти на показатели эффективности работы насосного оборудования, ОРД в целом.

Следует отметить, что наряду с достаточно хорошей изученностью механизма теплового режима установок ЭЦН, тепловой режим штанговых

насосов в установках ОРД – ЭЦН-СШН в большинстве случаев оставался без внимания, тогда как эффективность работы системы ЭЦН-СШН в значительной степени определяется подачей штангового насоса, вязкостно-температурными характеристиками добываемой нефти. Тепловой режим штангового насоса определяется непосредственно процессами, протекающими внутри насоса, а также подводимым теплом от установки ЭЦН, который не может не оказывать влияние на реологические свойства нефти. Учитывая тенденцию роста действующего фонда ОРД – ЭЦН-СШН в ПАО «НК «Роснефть», а также роста интервала расстояний между пластами, исследование теплового режима в целях повышения эффективности одновременно-раздельной эксплуатации пластов, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования

Научные труды, посвященные исследованию теплового режима при одновременно-раздельной эксплуатации, можно разделить на две группы. К первой группе относятся работы Ю.В. Антипина, Ю.А. Балакирова, Ю.В. Зейгмана, В.Н. Ивановского, В.М. Люстрицкого, В.П. Максимова, И.Т. Мищенко, А.М. Пирвердяна и др. В этих работах приведены исследования температурного режима установок ЭЦН, влияние осложняющих факторов на работу установку, оптимизация режимов эксплуатации ЭЦН. Ко второй группе относятся работы А.Н. Адонина, И.Т. Мищенко, А.М. Пирвердяна, В.И. Сердюка, К.Р. Уразакова и др., посвященные температурному режиму глубинного штангового насоса, исследованию сил трения в плунжерной паре, оптимального коэффициента подачи насоса.

Несмотря на большое количество работ по тематике повышения эффективности одновременно-раздельной эксплуатации пластов установками ЭЦН и СШН отсутствуют работы, в которых учитывались бы условия совместной эксплуатации, изменение вязкостно-температурных характеристик нефти.

Целью диссертационной работы является разработка методологических и технологических решений повышения эффективности одновременно-раздельной добычи нефти путем исследований теплового режима, изменений вязкостно-температурных характеристик нефти.

Основные задачи исследования

1 Анализ опыта эксплуатации скважин с ОРД, обзор методов теплофизических расчетов работы установок, исследование влияние теплового режима на реологические свойства добываемой нефти.

2 Разработка математической модели теплового режима штангового насоса, учитывающая изменение вязкостно-температурных характеристик нефти в насосной установке ОРД.

3 Разработка метода прогнозирования рабочих характеристик насоса для эксплуатации верхнего пласта в системе одновременно-раздельной добычи нефти с учетом режима совместной эксплуатации установок и изменения реологических свойств добываемой продукции.

4 Разработка технологии и технических средств для ОРД, позволяющих произвести профилактические работы с ЭЦН, предотвратить возможные осложнения, связанные с нарушением установившегося теплового режима.

Научная новизна

1 Разработана математическая модель теплового режима штангового насоса в составе установки ОРД, позволяющая построить профиль теплового поля в кольцевом зазоре плунжер-цилиндр, учитывающая изменение теплового режима в условиях совместной эксплуатации насосов, а также изменение реологических свойств водонефтяной смеси в штанговом насосе.

2 На основе лабораторных исследований вязкостно-температурных характеристик водонефтяной смеси разработан новый принцип выбора группы посадки штангового насоса, позволяющий сократить утечки жидкости, повысить производительность насоса при различных режимах эксплуатации.

3 Предложен метод увеличения ресурса скважины (ствола скважины, призабойной зоны пласта) при ОРД, позволяющий производить профилактические работы с нижним насосом без его извлечения. При этом появляется возможность устранить или снизить негативные последствия осложняющих факторов, влияющих на изменение теплового режима и эффективность работы штангового насоса при совместной эксплуатации.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке математической модели теплового режима штангового насоса в условиях совместной эксплуатации насосов, предложен новый подход к исследованию изменений вязкостно-температурных характеристик водонефтяной смеси в штанговом насосе.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1 Предложен новый метод решения по выбору оптимальной группы посадки штангового насоса для ОРД.

2 Разработана установка ОРД, позволяющая проводить обработки установки ЭЦН, предотвратить возможные осложнения, связанные с нарушением теплового режима. Установка успешно испытана на 4 скважинах ПАО «НК «Роснефть».

Методология и методы исследований

Решение поставленных в диссертационной работе задач базируется на следующих методах научных исследований: анализ исходных данных с использованием известных методов теории ошибок эксперимента и математической статистики; математическое моделирование динамики работы, теплового режима плунжерных установок на базе численных и аналитических моделей; теоретический анализ и обобщение результатов расчетов с целью установления закономерностей влияния теплового режима на показатели работы насосных установок; экспериментальные исследования работы штангового насоса в составе установки ОРД.

Положения, выносимые на защиту

1 Математическая модель теплового режима штангового насоса в составе ОРД, учитывающая условия совместной эксплуатации электроцентробежного и штангового насосов, возникновение осложняющих факторов.

2 Теоретические основы прогнозирования рабочих характеристик насосной установки ОРД, учитывающие тепловой режим совместной эксплуатации и изменение реологических свойств добываемой нефти.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается результатами лабораторных и опытно-промышленных

работ, сопоставлением теоретических и экспериментальных данных с результатами промышленного внедрения технологии в скважинах, а также непосредственным участием автора в проведении аналитических и промысловых исследований. Основные положения работы были обсуждены на: III конференции по обмену опытом в рамках Системы новых технологии (г. Москва, 2009 г.); учебно-практическом семинаре «Оптимизация добычи нефти. Практика применения технологий ОРЭ, ОРЗ и интеллектуальных скважин» (г. Уфа, 2009 г.); всероссийском производственном семинаре «Оптимальное применение оборудования для ОРЭ, ОРДиЗ, ВСП. Увеличение эффективности его эксплуатации» (г. Ижевск, 2014 г.); научно-практической конференции «Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами» (пос. Небуг 2008 г.; г. Анапа, 2015 г.; г. Сочи 2017 г.); международной научно-практической конференции «Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития – 2016» (г. Сочи, 2016 г.); «Строительство и ремонт скважин – 2016» (г. Анапа, 2016 г.); XXII международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке» (г. Харьков, 2017 г.); 15-ой Международной практической конференции «Механизированная добыча 2018» (г. Москва, 2018 г.); Международной научно-технической конференции «Современные проблемы нефтегазового оборудования» (г. Уфа, 2019 г.); 72-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, 2021 г.).

Публикации

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 13 научных работах, в том числе в 4 ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации 1 патенте.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы, включающего 101 наименование. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 10 таблиц и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность и важность исследований теплового режима установки ОРД – ЭЦН-СШН на скважинах с большим интервалом между пластами, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе на основе изучения опыта эксплуатации и анализа литературных данных выявлены и изложены результаты исследований теплового режима установок ЭЦН и СШН, оценена область применимости методов расчета теплового режима.

В работе использованы труды ученых, которые внесли значительный вклад в решение задач в исследуемой области: А.Н. Адонин, Ю.В. Антипин, Ю.А. Балакиров, Ю.В. Зейгман, В.Н. Ивановский, В.М. Люстрицкий, В.П. Максимов, И.Т. Мищенко, А.М. Пирвердян, В.И. Сердюк, К.Р. Уразаков, К.М. Гарифов, М.М. Хасанов, Л.Г. Чичеров, В.И. Щуров и другие.

Начало внедрения установок ОРД в ПАО «НК «Роснефть» приходится на 2008 г. Наиболее широкое распространение получили установки ОРД на основе ЭЦН-СШН, что обусловлено небольшими глубинными дебитами верхнего приобшачаемого пласта. На Рисунке 1 приведена динамика внедрения ОРД – ЭЦН-СШН. Следует отметить, что общая тенденция внедрения ОРД – ЭЦН-СШН связана с увеличением интервала залегания эксплуатируемых пластов (Рисунок 2), изменениями температурного режима, в основном за счет скважин, эксплуатирующих более глубокие пласты.

При этом, как показывает практика, подбор нефтепромыслового оборудования и параметров работы ЭЦН СШН осуществляется по оперативным промысловым данным, наличия или вероятности возникновения осложняющих факторов, без учета условий совместной эксплуатации, изменений вязкостно-температурных характеристик нефти.

Тепловой режим установок ЭЦН исследован во многих работах. Как известно, температура жидкости на выходе из установки ЭЦН выше окружающей среды, и связано это как с теплофизическими процессами в двигателе, так и факторами, влияющими на его отвод, как режим течения и теплофизические характеристики скважинной продукции. Согласно

технологической схемы установки ОРД – ЭЦН-СШН температурное поле распространяется как в направлении СШН, так и в сторону горной породы.

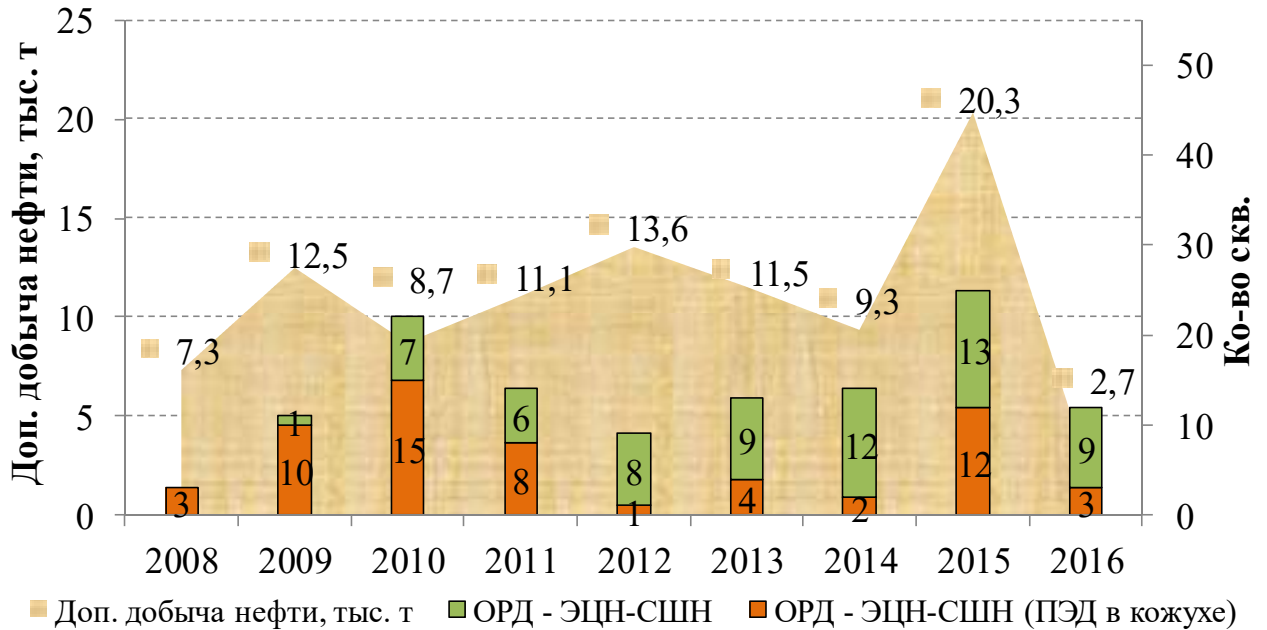


Рисунок 1 – Внедрение ОРД – ЭЦН-СШН в ПАО «НК «Роснефть»

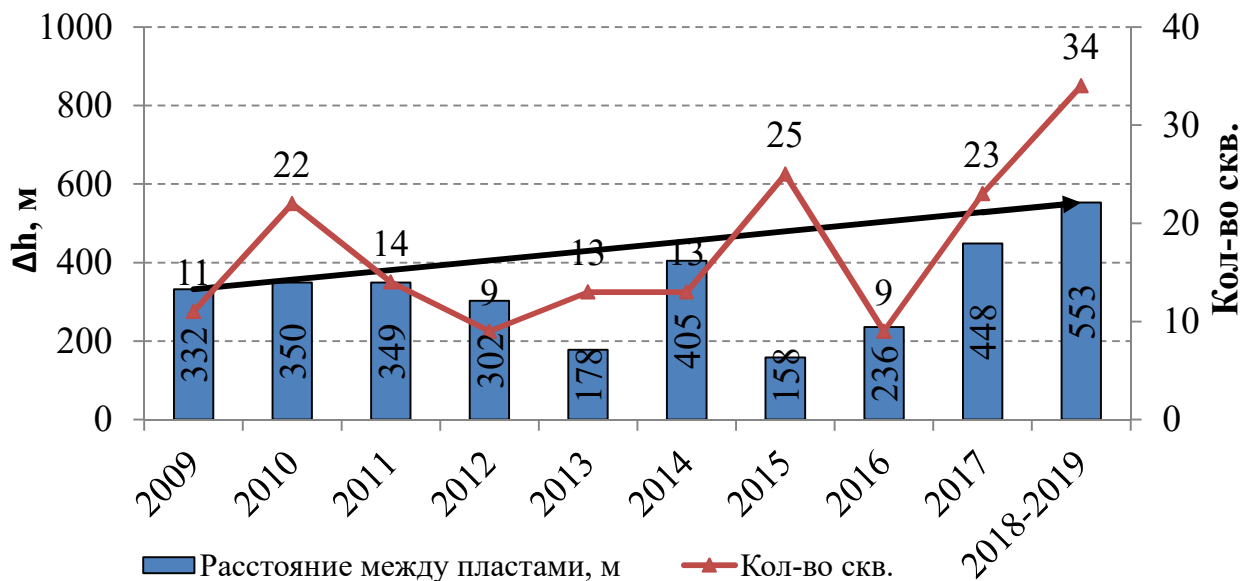


Рисунок 2 – Средние интервалы залегания пластов эксплуатируемых ОРД – ЭЦН-СШН

При совместной эксплуатации ЭЦН и СШН на тепловой режим работы штангового насоса, рассчитанного на отбор жидкости с верхнего пласта во многом влияет восходящий поток жидкости, поднимаемый установкой ЭЦН.

Эффективность данной системы ОРД зависит от условий работы штангового насоса и реологических свойств добываемой продукции. Учитывая, что штанговый насос омывается потоком жидкости с нижнего пласта, процессы, протекающие в установке ОРД – ЭЦН-СШН, необходимо рассматривать как единую термодинамическую систему, параметры которой влияют на реологические свойства добываемой продукции, последние же в свою очередь зависят от соотношения нефти и воды, их физико-химических свойств и установившегося температурного поля в штанговом насосе. Исходя из вышеизложенного, вопросы повышения эффективности ОРД – ЭЦН-СШН, связанные с тепловым режимом насосного оборудования, изменениями вязкостно-температурных характеристик остаются нерешенными.

Вторая глава посвящена разработке математической модели теплового режима штангового насоса, влияющей на изменение вязкостно-температурных характеристик нефти в установке ОРД – ЭЦН-СШН.

Многообразие различных методик расчетов теплового режима установок говорит о неоднозначности решения этой задачи и одновременно сложности, когда речь идет о совместной работе двух насосных установок.

Предлагаемая математическая модель теплового режима СШН установки ОРД – ЭЦН-СШН основана на исследовании процессов, протекающих непосредственно в самом насосе, а также влиянии на них внешнего теплового поля от восходящего потока жидкости поднимаемой установкой ЭЦН.

Термодинамический процесс в штанговом насосе (без учета влияния теплового режима ЭЦН) происходит следующим образом. Тепло поглощается откачиваемой жидкостью и горной породой, окружающей насос. При этом выделение тепла остается постоянным, но отвод его увеличивается по мере повышения температуры. Температура в насосе Θ_n изменяется во времени. На Рисунке 3 приведена схема работы штангового насоса. Допустим, что плунжер находится в крайнем нижнем положении (Рисунок 3, а), начальная температура T_n равна температуре окружающей среды. После запуска насоса в работу плунжер совершает движение вверх (Рисунок 3, б).

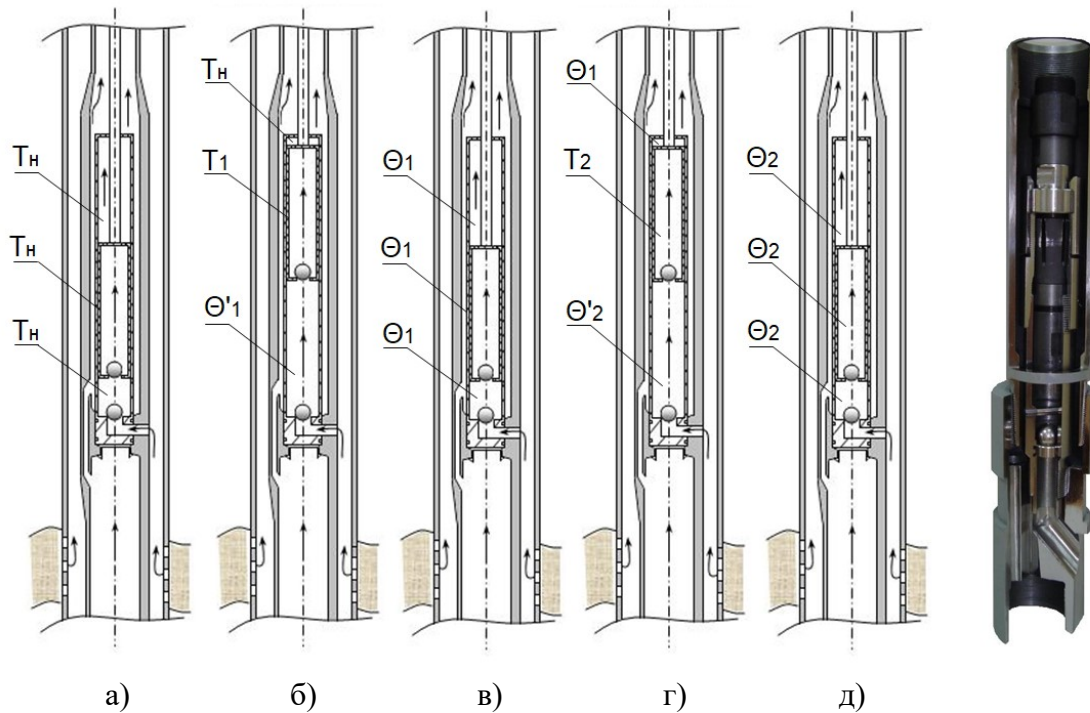


Рисунок 3 – Термодинамический процесс в установке ОРД – ЭЦН-СШН

При этом часть жидкости, находящейся над ним, перетекает через зазор в плунжерной паре, повышая свою температуру от T_n до T_1 . Одновременно из скважины под плунжер поступает газожидкостная смесь с температурой T_n . После смешения двух потоков температура жидкости под плунжером становится (1):

$$\theta'_1 = \frac{q_2 T_i + q_1 T_1}{q_1 + q_2} = T_i + \left(\frac{q_1}{q_1 + q_2} \right) \Delta T, \quad (1)$$

где ΔT – повышение температуры жидкости, перетекающей под плунжер, °С;
 q_1 – утечки жидкости в зазоре плунжерной пары, м³/с; q_2 – объем жидкости, откачиваемой насосом, м³/с.

При ходе плунжера вниз (Рисунок 3, в) газ сжимается до величины давления на выкиде насоса P_2 . При этом температура в насосе повышается до величины (2):

$$\theta_1 = T_n + \left(\frac{q_1}{q_1 + q_2} \right) \Delta T + \Delta T', \quad (2)$$

где $\Delta T'$ – повышение температуры в результате сжатия газа, °С.

Затем цикл повторяется (Рисунки 3, г, д). Через «n» циклов температура в насосе достигнет (3):

$$\theta_n = T_i + \Delta T \sum_{n+1}^n \left(\frac{q_1}{q_1 + q_2} \right)^n + \Delta T' \sum_{n+1}^n \left(\frac{q_1}{q_1 + q_2} \right)^{n+1} \quad (3)$$

При истечении некоторого времени с момента начала работы штангового насоса наступает тепловое равновесие, т.е. выделение и отвод тепла становится одинаковым. Температура в штанговом насосе при этом достигает максимальной величины (4):

$$\Delta\theta_{\max} = \frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta P q_1}{J} + \frac{q_2 \Gamma_n P_0 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{J(k-1)}}{c_{ж} \rho_{ж} q_2 + \pi L k_L}, \quad (4)$$

где ΔP – перепад давления на концах плунжера, кГ/м^2 ; J – механический эквивалент теплоты, кГм/ккал ; Γ_n – газосодержание на приеме насоса, $\text{м}^3/\text{м}^3$; P_0 – атмосферное давление, кГ/м^2 ; k – показатель адиабаты; P_1 и P_2 – давление соответственно под и над плунжером, кГ/м^2 ; $c_{ж}$ – удельная теплоемкость жидкости, $\text{ккал/кг} \cdot \text{град}$; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м^3 ; L – длина насоса, м; k_L – линейный коэффициент теплопередачи от насоса в горную породу ($\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}$).

На стадии проектирования штанговой насосной эксплуатации, когда еще не известен режим откачки, утечки q_1 в зазоре плунжерной пары нового насоса рассчитывается по формуле А.М. Пирвердяна.

На Рисунке 4 представлена схема теплопередачи в штанговом насосе. Отвод тепла от насоса в горную породу можно представить как теплопередачу от нагретого тела цилиндрической формы через многослойную стенку.

При работе только СШН в составе установки ОРД – ЭЦН-СШН (Рисунок 4, а) линейный коэффициент теплопередачи k_L от насоса в горную породу можно рассчитать по формуле:

$$k_L = \frac{1}{\frac{1}{2\alpha_1 r_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{1}{2\lambda_4} \ln \frac{r_5}{r_4} + \frac{1}{2\lambda_5} \ln \frac{r_6}{r_5} + \frac{1}{2\lambda_n} \ln \frac{r_n}{r_6}}, \quad (5)$$

где α_1 – коэффициент теплопередачи жидкости стенке цилиндра насоса, ккал/м²·час·°С; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_n$ – коэффициент теплопередачи стенки цилиндра СШН, жидкостной прослойки в коллекторе смесителя, стенки коллектора смесителя (НКТ), жидкостной прослойки в затрубном пространстве, стенки колонны, горной породы соответственно, ккал/м·час·°С; $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$ – радиусы границы сред, м; r_n – радиус, характеризующий глубину проникновения тепла в горную породу.

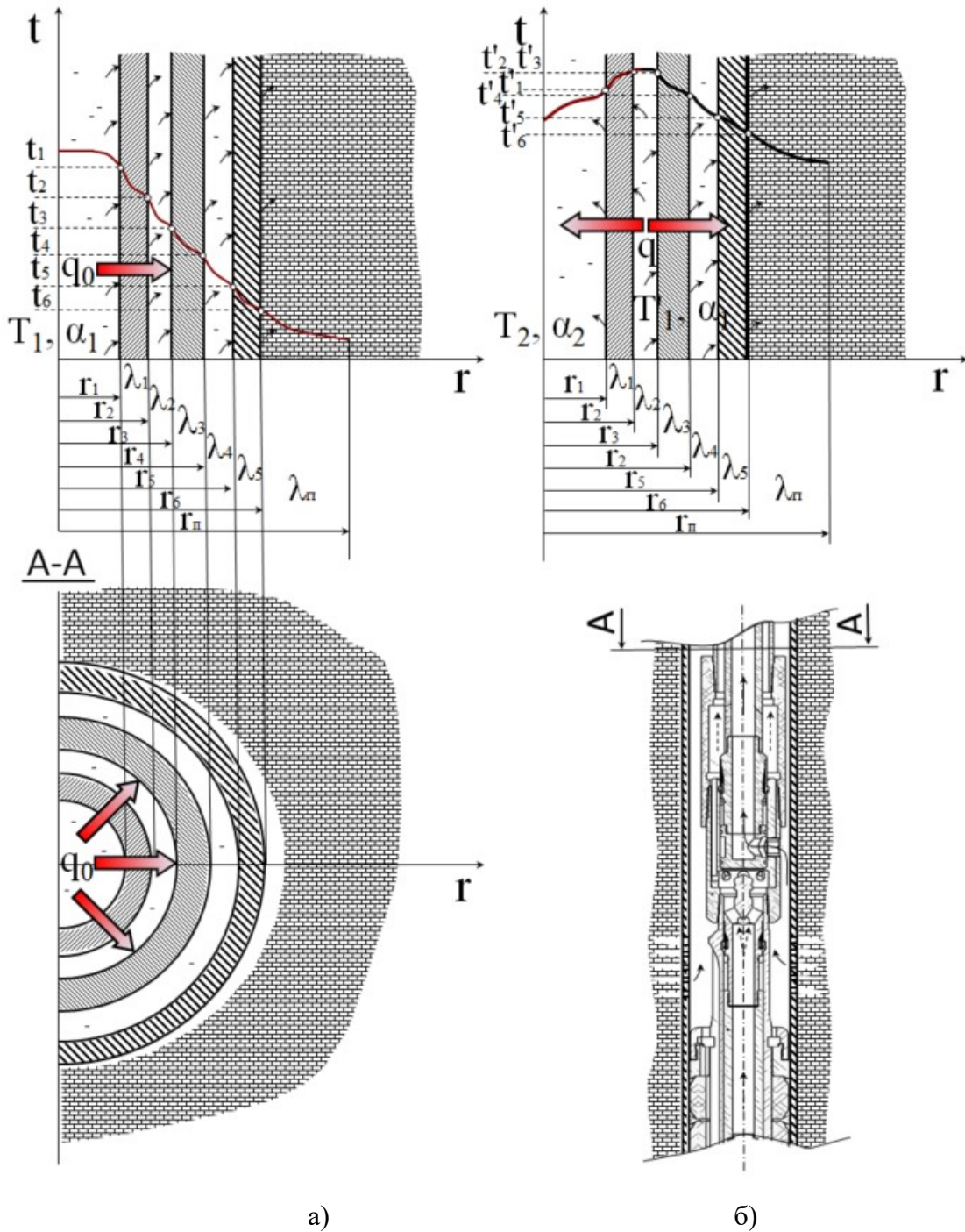
Для определения коэффициента теплоотдачи α_1 в работе было предложено воспользоваться корреляцией Дитту-Боелтера, моделирующей теплоотдачу в трубах при вынужденной конвекции или же для упрощения расчетов среднее значение общего коэффициента теплообмена при комбинациях рабочая среда (вода) – поверхность теплопередачи (сталь) – рабочая среда (вода).

При совместной работе ЭЦН и СШН в установке ОРД – ЭЦН-СШН на температурный режим работы штангового насоса оказывает влияние температура флюида, поднимаемого ЭЦН. Согласно конструкции установки ОРД – ЭЦН-СШН температурное поле распространяется как в направлении СШН, так и в сторону горной породы (Рисунок 4, б).

Предположим, что температура поднимаемого флюида ЭЦН и штанговым насосом постоянна, т.е. рассматриваем одномерную задачу. Для цилиндрических стенок, у которых $r_2/r_1 \leq 2$, теплопередачу через стенку цилиндрической формы можно рассчитать по формулам теплопередачи для плоской стенки с погрешностью менее 4 %.

Согласно закона Фурье плотность теплового потока через стенку цилиндра можно записать (6):

$$q = k'_l \cdot (T_2 - T'_1). \quad (6)$$



а) при работе СШН (при раздельной эксплуатации в период ВНР или раздельного учета);

б) при совместной работе ЭЦН и СШН

Рисунок 4 – Передача теплоты в установке ОРД – ЭЦН-СШН

Коэффициент теплопередачи k'_l через плоскую стенку (7):

$$k'_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7)$$

где α_2 – коэффициент теплопередачи жидкости коллектора смесителя стенке цилиндра насоса (будем считать, что $\alpha_1 \approx \alpha_2$ одного порядка), ккал/м²·час·°С; δ – толщина стенки цилиндра ($\delta = r_2 - r_1$), м; T'_1 – установившаяся температура в СШН (работа СШН без вовлечения в работу ЭЦН), °С (8):

$$T'_1 = \Delta\theta_{\max} + T_1. \quad (8)$$

Теперь зная q , легко найти температуру на внутренней стенке цилиндра t'_1 при переходе от радиуса r_2 до r_1 (9):

$$t'_1 = T'_1 - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda_1} \right), \quad (9)$$

При допущении $\delta/\lambda_1 \rightarrow 0$ можно принять (10):

$$t'_1 = T'_1 - \frac{q}{\alpha_2}. \quad (10)$$

Величина температуры t'_1 в установке ОРД – ЭЦН-СШН влияет на изменение зазора в плунжерной паре (риск возможного термозаклинивания), а также реологические свойства добываемой водонефтяной смеси (изменение эффективной вязкости, особенно в зонах инверсии фаз). При планировании типоразмера штангового насоса учет данных факторов во многом может предопределить эффективность работы установки ОРД в целом.

В третьей главе на основе предложенной математической модели были проведены расчеты теплового режима установки ОРД – ЭЦН-СШН, исследовано влияние вязкостно-температурных характеристик нефти для скважин Бариновско-Лебяжинского, Серноводского и Славкинского месторождений на эффектность работы штангового насоса.

В оценке эффективности наибольшую сложность представляет определение эффективной вязкости водонефтяной смеси в штанговом насосе. Большинство используемых методов основаны на эмпирических расчетах и не учитывают влияние температуры. В работе предложен новый подход к исследованию изменений вязкостно-температурных характеристик водонефтяной смеси в штанговом насосе. Реологические свойства

водонефтяной смеси при различных температурах, имитирующих изменение теплового режима работы установки ОРД, определялись на реометре НААКЕ в условиях максимально приближенных к работе штангового насоса (Рисунок 5). Аналогичные результаты, были получены в работах у Н.Х. Габдрахманова, Р.Т. Галиуллина, К.Р. Уразакова. Правомерно считать, что предложенный метод применим для обводненности до 70 %.

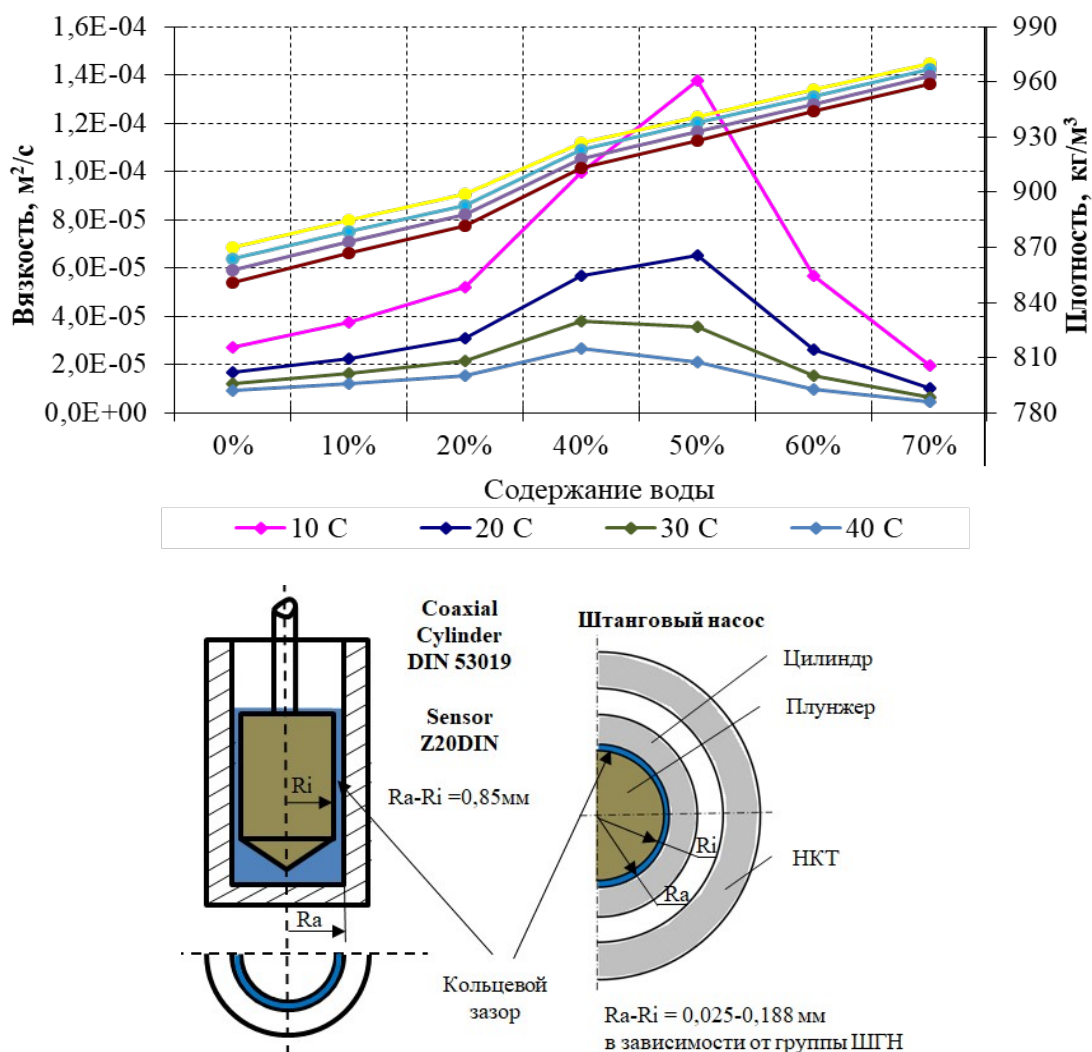


Рисунок 5 – Исследования вязкостно-температурных характеристик водонефтяной смеси в штанговом насосе

Приведенные расчеты подтверждают, что температура в штанговом насосе выше окружающей среды. На Рисунке 6 приведена схема установки ОРД – ЭЦН-СШН на скважине Бариновско-Лебяжинском месторождения. Согласно формулы (8) температура T_1 в СШН равна $19,9 \text{ }^\circ\text{C}$ (Таблица 1).

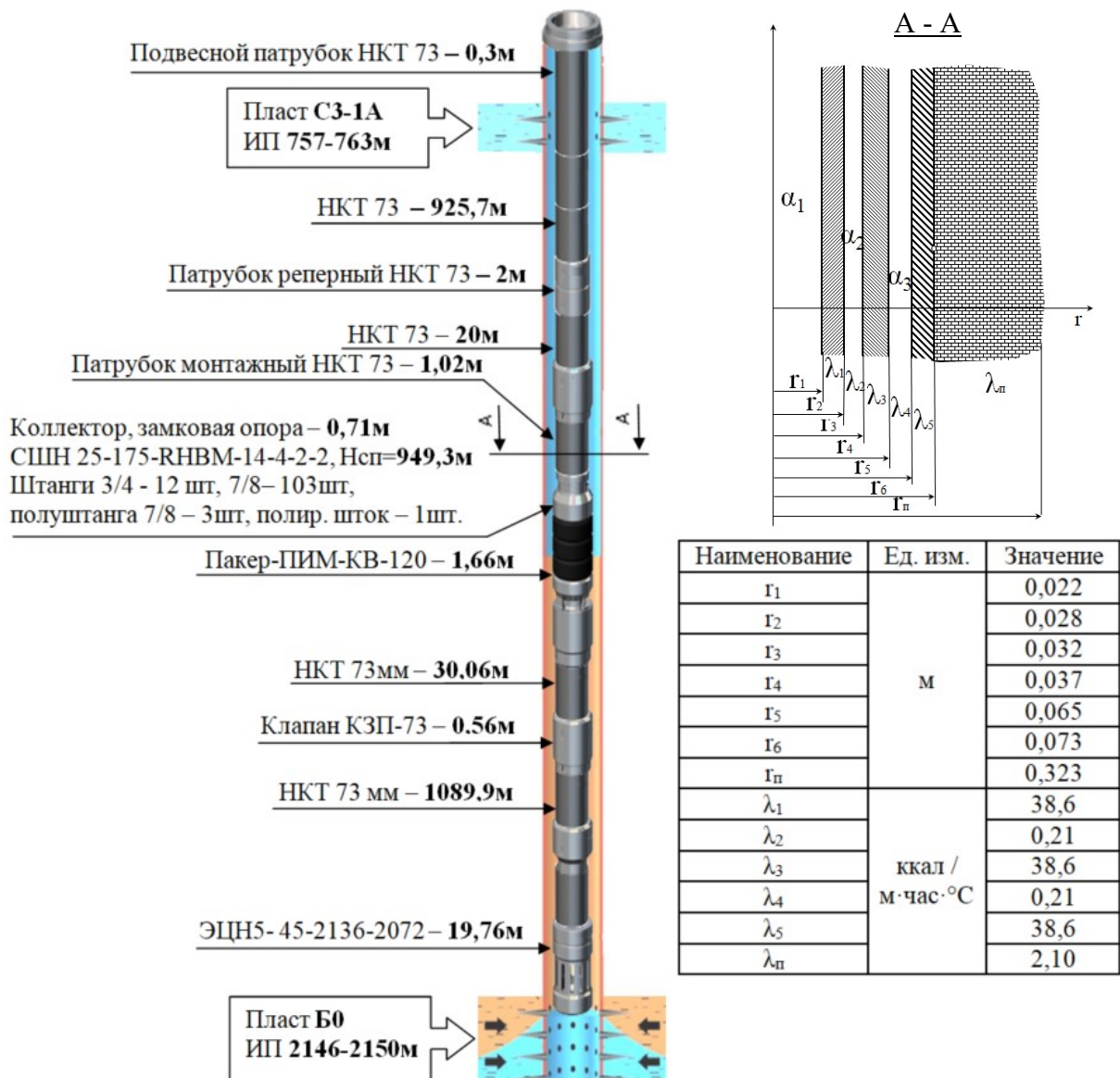


Рисунок 6 – Схема установки ОРД – ЭЦН-СШН в скважине

Таблица 1 – Расчет ΔQ_{\max} (без включения в работу установки ЭЦН)

Наименование	Ед. изм.	Значение	Комментарии
P_1	кГ/м ² (атм)	237642,3 (23)	
P_2	кГ/м ² (атм)	1057278,9 (102)	
q_1	м ³ /с	9,2E-07	Ламинарный режим ($Re \leq 10^3$)
c	ккал/кг·град	0,50	
q_2	м ³ /с	2,3E-04	
k_L	ккал/м ² ·час·град	0,479	
ΔQ_{\max}	°С	3,9	$T'_1 = T_{пл} + \Delta Q_{\max} = 19,9 \text{ °С}$

На ее величину влияют длина насоса L , перепад давления ΔP и величина утечек жидкости. Температура в точке подвески определяется из профиля температуры жидкости, поднимаемого установкой ЭЦН в ПО RosPump.

Температура флюида T_2 в зоне подвески штангового насоса ($H_{ст} = 950$ м) равна $47,5$ °С. Температура t'_1 в приграничном слое (внутренняя стенка цилиндра) определяется через плотность теплового потока от горячего источника к холодному.

По формуле (10) температура $t'_1 = 33,3$ °С. При планировании типоразмера штангового насоса учет данных факторов во много может предопределить эффективность работы установки ОРД.

Изменение температуры в СШН до t'_1 не влияет существенным образом на уменьшение кольцевого зазора $\Delta\beta$ между плунжером и цилиндром насоса (менее 3 %), что объясняется использованием материалов плунжера и цилиндра с близкими значениями коэффициентов теплового расширения.

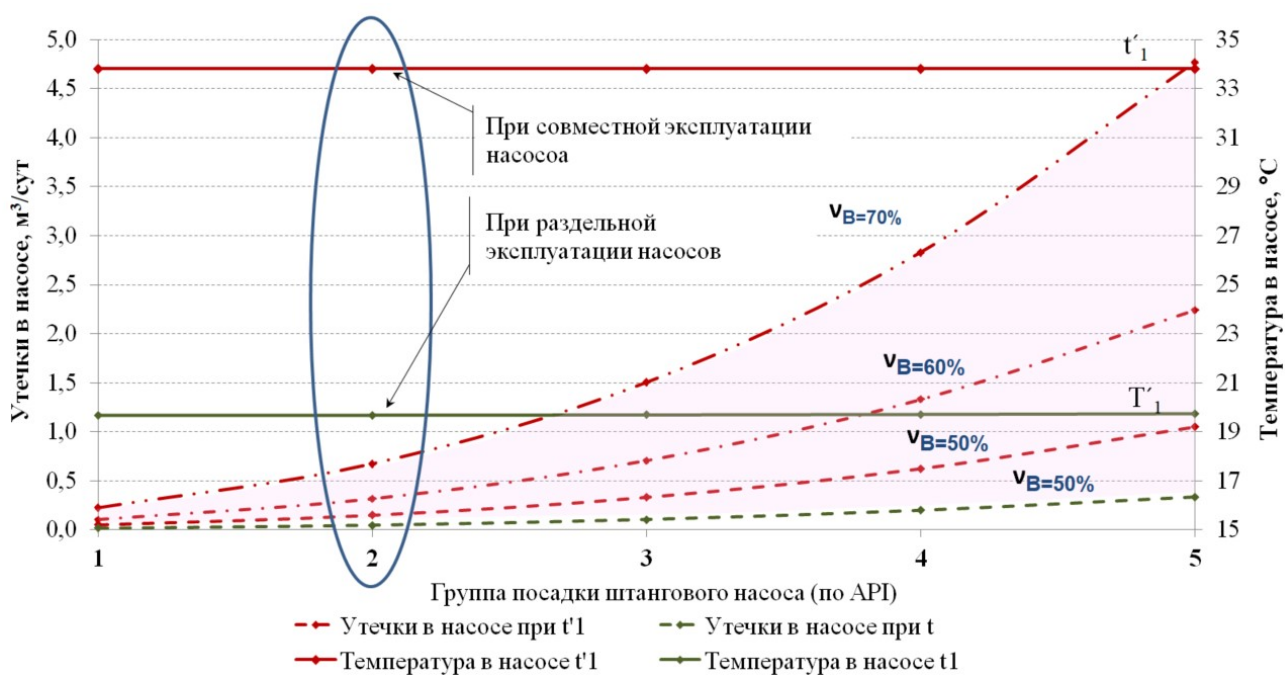
Величина уменьшения кольцевого зазора в плунжерной паре $\Delta\beta = 7,33 \cdot 10^{-3}$ мм, которая вычисляется по формуле (11):

$$\Delta\beta = (d_{цил} \alpha_{цил} - d_{пл} \alpha_{пл}) \cdot (T_1 - t'_1), \quad (11)$$

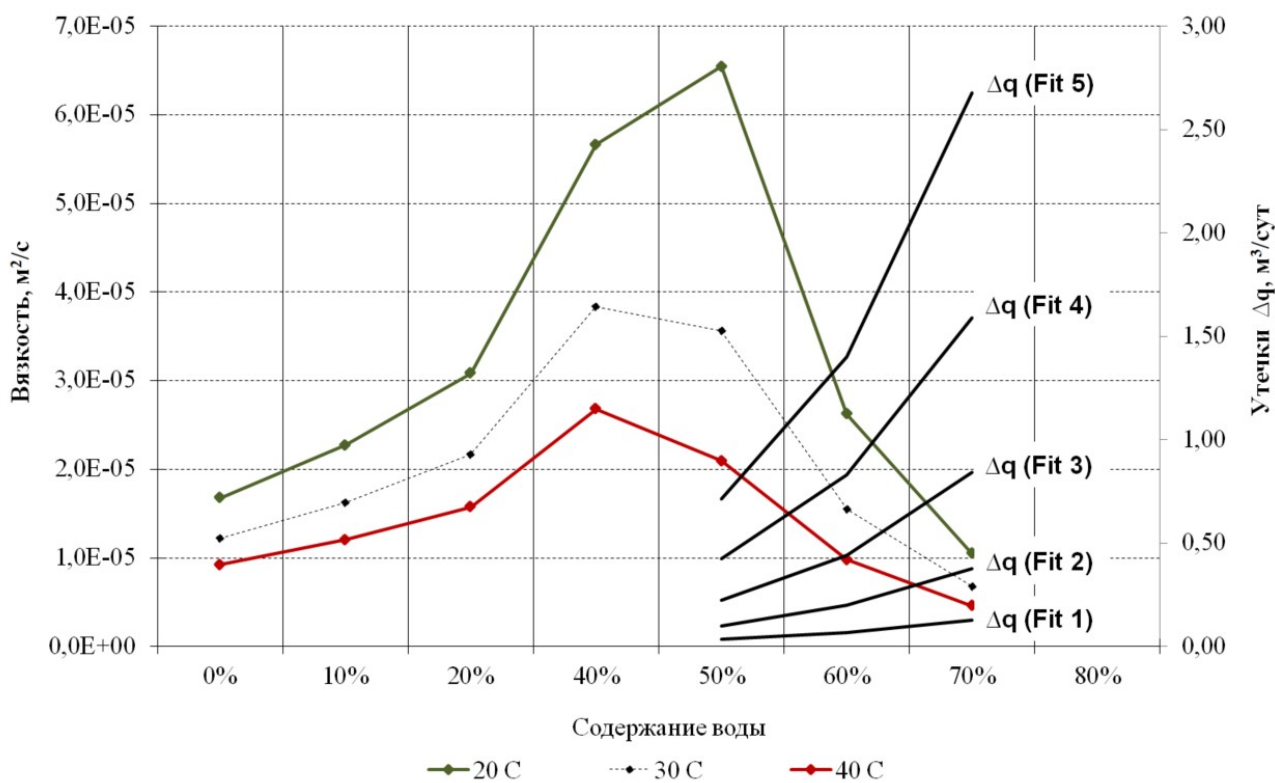
где $d_{цил}$ – внутренний диаметр цилиндра при температуре пригонки, мм; $d_{пл}$ – диаметр плунжера во время пригонки, мм; $\alpha_{цил}$, $\alpha_{пл}$ – коэффициенты теплового расширения цилиндра и плунжера соответственно, $1/^\circ\text{C}$.

На основе полученных расчетов спрогнозированы условия работы штангового насоса для различных групп посадки в установке ОРД – ЭЦН-СШН (Рисунок 7, а). При группе посадки штангового насоса Fit 1 и 2 (по API) утечки жидкости q незначительны. Утечки становятся ощутимы при увеличении группы посадки и росте обводненности продукции.

Прямые эмульсии, как в случае скважины Бариновско-Лебяжинского месторождения с обводненностью 50 % будут характеризоваться снижением эффективной вязкости, следовательно, увеличением утечек в штанговом насосе. Так при увеличении обводненности продукции до 60 – 70 % в насосе группы посадки Fit2 происходит увеличение утечек в 3 - 6 раз (Рисунок 7, б). Такая же зависимость прослеживается и при увеличении группы посадки.



а)



б)

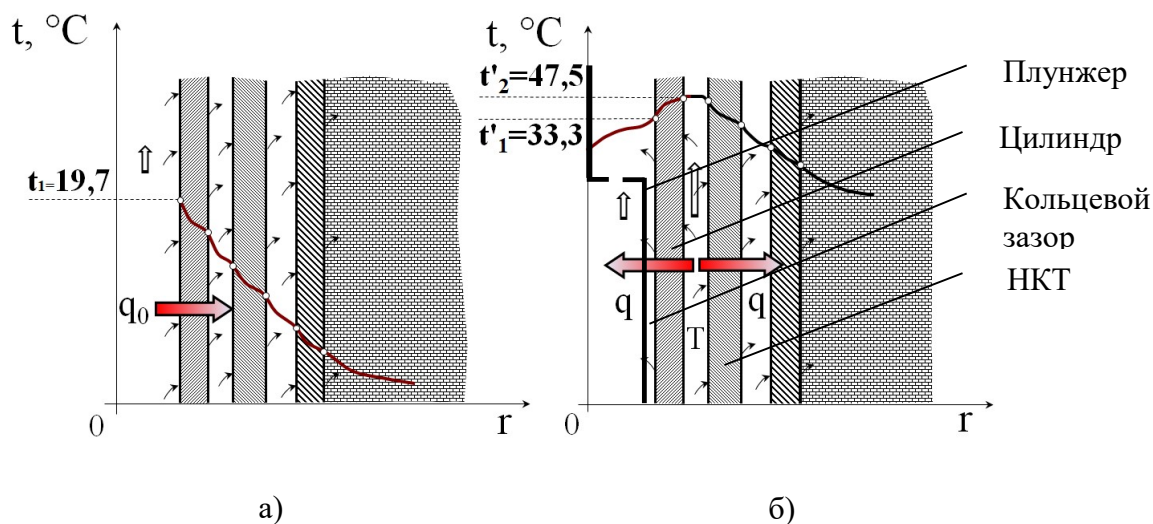
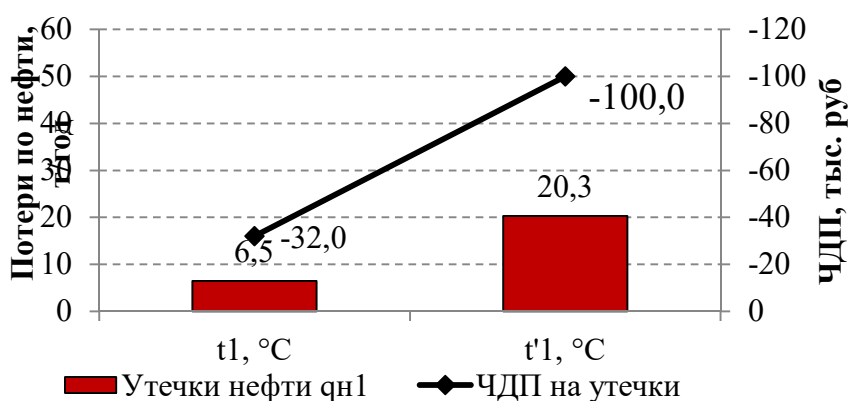
а) влияние обводненности продукции на величину утечек в СШН; б) влияние обводненности и температуры на величину утечек в СШН

Рисунок 7 – Влияние обводненности и температуры на величину утечек

В графиках величина Δq показывает изменение величины утечек при изменении температуры водонефтяной эмульсии от 20 до 40 $^{\circ}\text{C}$. Оценка таких

факторов, как изменение температуры, темп выработки запасов (рост обводненности), во многом определяет эффективность работы штангового насоса в установке ОРД – ЭЦН-СШН в прогнозируемый период.

Увеличение эффективности установки определяется величиной потерь нефти связанной с утечками в результате изменения температуры и обводненности продукции. На Рисунке 8 приведено сравнение потерь нефти из-за утечек в штанговом насосе для условий работы только штангового насоса и совместной работы установки ОРД – ЭЦН-СШН.



а) при работе СШН; б) при совместной работе ЭЦН и СШН
Рисунок 8 – Влияние изменения температуры на показатели работы штангового насоса в ОРД – ЭЦН-СШН

Утечки нефти в результате изменения вязкостно-температурных характеристик в кольцевом зазоре отражаются на подаче насоса. На скважине

было проведено множество исследований, когда работал только СШН и когда в работе были установки ЭЦН и СШН. Установлено, что во всех случаях, когда работают два насоса коэффициент подачи штангового насоса снижается в среднем на 3 %. Таким образом, установлено, что изменение теплового режима в СШН отражается на работе штангового насоса. Учет данного фактора позволяет обоснованно выбирать класс посадки штангового насоса, повысить эффективность использования установки ОРД – ЭЦН-СШН.

Четвертая глава посвящена анализу ОРД – ЭЦН-СШН, изучению влияния осложняющих факторов на тепловой режим работы установки в целом и тому, что сделано, чтобы этого избежать или предотвратить.

Основные отказы ОРД – ЭЦН-СШН (80 %) связаны как с установками ЭЦН, так и СШН. Представление причин отказов позволило спрогнозировать последствия влияния осложняющих факторов на тепловой режим работы установки и выполнить действия по их устранению, которые являются «профилактическими», а не исправляющими.

Установлено, что существенное влияние на вязкостно-температурный режим в штанговом насосе оказывает температура жидкости поднимаемая ЭЦН, величина которой зависит от множества факторов: температуры добываемой жидкости с пласта, рабочая температура ПЭД, режим течения поднимаемой жидкости, наличие осложняющих факторов (газ, вода, наличие механических примесей в добываемой из пласта жидкости). В случае установившегося режима теплообмена все тепло, выделившееся в объеме ПЭД, передается флюиду.

Проведены исследования влияния осложняющих факторов на изменение теплового режима ОРД – ЭЦН-СШН на примере скважины Бариновско-Лебяжинского месторождения. Выявлено, что рост нагрузки ПЭД (снижение КПД) вследствие полученных осложнений приводит к существенному нагреву поднимаемой жидкости (Рисунок 9), изменению теплового режима, вязкостно-температурных характеристик нефти и, как следствие, к потерям нефти в штанговом насосе (Таблица 2).

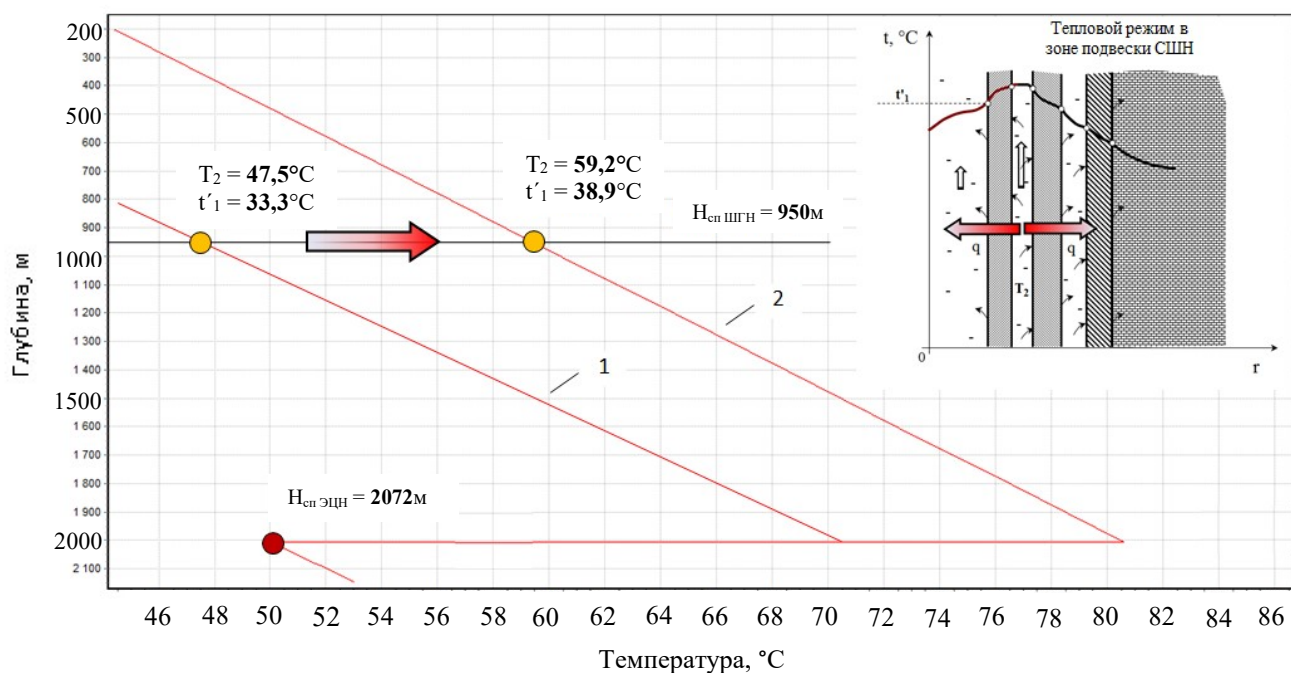
Результаты расчетов подтверждают, что тепловой режим, а также показатели эффективности работы штангового насоса в ОРД – ЭЦН-СШН

зависят от теплового режима установки ЭЦН. Наличие осложняющих факторов, как в случае скважины Бариновско-Лебяжинского месторождения, влияют на эффективность установки ЭЦН, показатели работы штангового насоса, что поясняется ростом утечек в штанговом насосе до 26 %.

Таблица 2 – Потери нефти в СШН

Температура в СШН, °С					
$t_1 = 19,9$ °С		$t'_1 = 33,3$ °С		$t'_1 = 38,9$ °С	
$q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$q_{1н}, \text{т/год}$	$q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$q_{1н}, \text{т/год}$	$q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$q_{1н}, \text{т/год}$
При работе только установки СШН		При совместной работе установок ЭЦН и СШН		При совместной работе установок ЭЦН и СШН, наличия осложняющих факторов в работе установки ЭЦН	
0,05	6,5	0,15	20,3	0,19	25,9

В рамках текущих исследований теплового режима разработана и рекомендована к тиражированию установка ОРД – ЭЦН-СШН, позволяющая проводить промывку ЭЦН, предотвращать возможные осложнения, связанные с перегревом глубиннонасосного оборудования. Данная установка успешно испытана на скважинах Бариновско-Лебяжинского, Боровского месторождениях АО «Самаранефтегаз». Результат работ – сокращение времени на ремонт скважин в среднем на 40 бр.-час. (182 тыс. руб.), восстановление потерь нефти без извлечения установки ЭЦН.



1 – в период стабильной работы; 2 – при наличии осложняющих факторов

Рисунок 9 – Профиль температуры по стволу скважины

Таким образом, установлено влияние изменения теплового режима установки ЭЦН на эффективность работы штангового насоса, решен один из недостатков существующей установки ОРД – ЭЦН-СШН – проблема промывки нижнего насоса, восстановления показателей ее работы и снятия тепловой нагрузки. Результаты опытно-промышленных испытаний разработанной установки, позволило увеличить МРП на 19,4 % (+205 сут), снизить утечки нефти в среднем на 20 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Из анализа теплового режима установлено, что эффективность работы установки ОРД – ЭЦН-СШН в значительной степени зависит от реологических характеристик поднимаемой жидкости, трением в плунжерной паре, внутренним трением жидкости, процессами сжатия газа и подводимым теплом от установки ЭЦН.

2 Разработана математическая модель эффективности работы штангового насоса в составе установки ЭЦН-СШН на основе исследований теплового режима, изменения реологических свойств добываемой продукции. Приведенные теоретические расчеты подтверждены результатами промысловых исследований на месторождениях АО «Самаранефтегаз». Расчеты и практические исследования подтверждают отличие условий раздельной и совместной эксплуатации насосов. Пренебрежение тепловым режимом установки ОРД является одной из причин снижения эффективности работы насоса. Адекватность разработанной модели подтверждена результатами опытно-промышленных испытаний на четырех скважинах АО «Самаранефтегаз».

3 На основе разработанной модели спрогнозированы условия работы для выбора оптимальной группы посадки штангового насоса. Эффективность установки штангового насоса определяется величиной потерь нефти, связанных с утечками в результате изменения теплового режима и реологических свойств нефти.

4 Разработана технология и технические средства для ОРД – ЭЦН-СШН, позволяющие проводить промывку ЭЦН, предотвратить возможные

осложнения, связанные с нарушениями теплового режима, перегревом глубинно-насосного оборудования. Установка защищена патентом RU №2488689. Для тиражирования в периметре Компании разработано руководство по эксплуатации установки ОРД – ЭЦН-СШН (ОРД ЭШ.000 РЭ изм.1 от 22.11.2013 г.).

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

В материалах опубликованные в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, утвержденных ВАК РФ:

1 Габдулов Р.Р. Одновременно-раздельная эксплуатация многопластовых скважин. Создание «интеллектуальной» скважины / Афанасьев И.С., Пасынков А.Г., Худяков Д.Л., Никишов В.И., Сливка П.И. // Нефтяное хозяйство. 2008. №11. С. 66-70.

2 Габдулов Р.Р. Насосная установка для одновременно-раздельной эксплуатации пластов на базе ЭЦН-СШН / Ключин И.Г., Утарбаев А.И., Уразаков К.Р., Сливка П.И., Байбурин Б.Х., Усманов Р.В. // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2016. № 1. С. 58-61.

3 Габдулов Р.Р. Тепловой режим работы скважинной насосной установки для одновременно-раздельной эксплуатации пластов / Ключин И.Г., Уразаков К.Р., Сливка П.И., Байбурин Б.Х., Усманов Р.В. // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2016. № 2. С. 68-71.

4 Габдулов Р.Р. Система автоматического управления операциями по добыче нефти и газа – интеллектуальные скважины / Ключин И.Г., Гарифуллин А.Р., Сливка П.И., Давлетбаев Р.В., Байбурин Б.Х. // Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации». 2017. № 12. С. 24-32.

Патент

5 Патент RU №2488689, МКИ E21В 43/14. Скважинная насосная установка для одновременно-раздельной эксплуатации двух пластов / О.С. Николаев, Р.Р. Габдулов, П.И. Сливка и др.; заявл. 29.02.12; опубл. 27.07.2013, Бюл. № 21.

Прочие публикации

6 Габдулов Р.Р. Одновременно-раздельная эксплуатация многопластовых скважин. Создание «интеллектуальной» скважины / Никишов В.И., Сливка П.И. // Интервал. 2008. №6. С. 50-55.

7 Габдулов Р.Р. Опыт применения технологий для ОРЭ многопластовых месторождений в ОАО «НК «Роснефть» / Никишов В.И., Агафонов А.А., Сливка П.И. // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». 2010. № 1. С. 30-37.

8 Габдулов Р.Р., Уразаков К.Р. Шакиров А.А., Сливка П.И. Совершенствование конструкции скважинной насосной установки для ОРЭ на основе УЭЦН-СШН // В сб.: XV научно-практическая конференция «Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами», г. Анапа. 22-24.09.15. С. 28.

9 Габдулов Р.Р. Тепловой режим работы оборудования для одновременно-раздельной добычи на базе УЭЦН-УСШН / Уразаков К.Р., Усманов Р.В. // В сб.: 11-й международной НПК «Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития», г. Сочи. 23-28.05.16. С. 70-76.

10 Габдулов Р.Р. Методика расчета рабочей характеристики штангового насоса, учитывающая тепловой режим электроцентробежной установки при одновременно-раздельной добыче нефти / Уразаков К.Р., Сливка П.И., Байбурин Б.Х., Усманов Р.В. // В сб.: XXII международной заочной НПК «Развитие науки в XXI веке. Часть 1», г. Харьков. 14.02.17. С. 83-90.

11 Габдулов Р.Р. Расчет теплового режима установки для одновременно-раздельной эксплуатации пластов // В сб.: XVII научно-практическая конференция «Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами», г. Сочи. 03-05.10.17. С.14.

12 Габдулов Р.Р. Повышение эффективности использования установки для одновременно-раздельной добычи / Тугунов П.М. // В сб.: Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы нефтегазового оборудования», г. Уфа. 4.12.19. С. 168-173.

13 Габдулов Р.Р. Повышение эффективности одновременно-раздельной эксплуатации пластов / Борисов А.О. // Материалы 72-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. В 2 т. – Уфа: УПНЦ «Издательство УГНТУ», 2021. 1 т., с. 174.