

На правах рукописи



САИТОВ АЗАТ АТЛАСОВИЧ

**СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЬНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХ ОБЪЕКТОВ СКВАЖИНЫ ШТАНГОВЫМИ
НАСОСАМИ, ПРИВОДИМЫМИ В ДЕЙСТВИЕ ОДНИМ НАЗЕМНЫМ
ПРИВОДОМ**

Специальность 2.8.4. – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Бугульма – 2025

Работа выполнена в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.

Научный руководитель: **Валовский Владимир Михайлович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Уразаков Камил Рахматуллович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Исаев Анатолий Андреевич
кандидат технических наук, главный специалист по инновационной деятельности общества с ограниченной ответственностью Управляющая Компания «Шешмаайл»

Ведущая организация: **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»**

Защита диссертации состоится 4 декабря 2025 года в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета 72.1.021.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина по адресу: 423403, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Советская, д. 186А, аудитория 6а.35

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Татарского научно-исследовательского и проектного института нефти www.tatnipi.ru

Автореферат разослан «_____» 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Кабирова Алесия Хатиповна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Большинство нефтяных месторождений как у нас в стране, так и за рубежом, многопластовые. Предпочтительно разрабатывать каждый пласт многопластового месторождения самостоятельно, но это часто затратно и нерентабельно. Поэтому несколько продуктивных пластов скважины объединяют в один эксплуатационный объект или разрабатывают по технологии одновременно-раздельной эксплуатации.

Технология одновременно-раздельной эксплуатации (добычи) продукции двух и более объектов одной скважиной (ОРД) принята как одна из эффективных способов разработки многопластовых месторождений и широко применяется как при проектировании новых месторождений, в том числе многопластовых месторождений Республики Татарстан, так и при доразработке месторождений на разных стадиях разработки.

Опыт эксплуатации скважин нефтяных месторождений ПАО «Татнефть», находящихся в поздней стадии разработки показал, что в настоящее время также наиболее эффективным механизированным способом добычи скважинной продукции является эксплуатация установками скважинного штангового насоса (80 % фонда) с приводом от станка-качалки (СК), цепного привода (ПЦ) и др. Показатель эффективности – коэффициент полезного действия (КПД) установок скважинного штангового насоса (УСШН) с цепным приводом в ПАО «Татнефть» достигает 60 %, при этом КПД установок электроцентробежных насосов (УЭЦН), как правило, не превышает 30—40 %.

Однако использование УСШН для ОРД может быть неэффективно. При ОРД в одной скважине разными способами (концентричным или параллельным расположением лифтов) скомпоновано оборудование УСШН, позволяющее эксплуатировать обычно два, реже три и более, объекта. Если в случае концентричной компоновки установки ОРД (однолифтовая УСШН) оснащение такой скважины не сильно отличается от оснащения обычной скважины, то в случае параллельного расположения лифтов (двухлифтовая УСШН) в одной скважине установлено оборудование, достаточное для оснащения двух обычных скважин, соответственно, и затраты не менее чем в 2 раза больше при 20—40 % увеличении дебита скважины. Двухлифтовая УСШН имеет существенное преимущество в сравнении с однолифтовой возможностью индивидуальной эксплуатации каждого объекта скважины (раздельные отбор, подъём на поверхность и, при необходимости, транспортировка продукции, прямые замеры дебита и обводненности). К тому же возможно сочетание однолифтовой и двухлифтовой компоновок в одной установке, например, для одновременно-раздельной добычи из трёх объектов.

Индивидуальная эксплуатация объектов скважины в двухлифтовой УСШН реализуется возможностью дифференцированного регулирования скорости откачки

изменением длины хода и частоты качаний двух наземных приводов (НП), предназначенных для приведения скважинных штанговых насосов лифтов. Но, как показывает практика, у применяемых НП есть ограничения, которые не всегда позволяют обеспечить требуемые режимы работы скважины, в частности: сложно снизить частоту качаний, ступенчатость регулирования, необходимость применения низкооборотных электродвигателей, повышающих удельные энергозатраты на подъём продукции и др. ограничения, приводящие в итоге к снижению эффективности установки. И даже, если с помощью станций управления с частотным преобразователем возможно достичь необходимой частоты качаний, то такой режим эксплуатации менее эффективен по сравнению с длинноходовым режимом (эксплуатация с максимально возможной длиной хода при соответственно меньшей частоте качаний).

Также, в связи с ограниченными радиальными размерами параллельно размещенных колонн насосно-компрессорных труб (НКТ) (48,3 мм и 60,3 мм) и насосов (27 мм, 31,8 мм, 38,1 мм и 44,5 мм) имеются ограничения по производительности лифтов, которые можно решить применением длинноходовых (более 3,5 м) режимов эксплуатации, но из-за малого расстояния между устьевыми штоками (91 мм) невозможно установить два НП, например, два цепных привода ПЦ 80-6-1/4 с длиной хода 6 м или сложно расположить на устье цепной привод ПЦ 80-6-1/4 в сочетании с другими НП.

На практике все СК, установленные в качестве приводов двухлифтовых установок, для минимизации соударения их подвесок отодвигают друг от друга, соответственно, от оси скважины и лифтов, с обязательной установкой отбойников, иначе установка оказывается неработоспособной. Такая особенность приводит к дополнительным нагрузкам в точках подвеса штанг (ТПШ) лифтов, повышенному износу манжет устьевых сальников устьевой арматуры и устьевого (полированного) штока, истиранию подъедестального патрубка колонн НКТ, снижению ресурса СК и др.

Применение двухлифтовых гидроприводов ограничено в связи с высокой стоимостью, высокими требованиями к качеству обслуживания, высокими удельными энергозатратами на подъем продукции и др.

Исходя из изложенного, создание технологии раздельной эксплуатации двух объектов скважин многопластовых месторождений двухлифтовыми УСШН с одним приводом представляется актуальным.

Степень изученности темы

Вопросами разработки технологий и оборудования для ОРД и исследованиями их работы занимались Максутов Р.А., Добросок Б.Е., Сафин В.А., Беленький В.Н., Крутиков Б.С., Джрафаров Ш.Т., Леонов В.А., Донков П.В., Валеев М.Д., Дияшев Р.Н., Гарифов К.М., Othman M.E., Пепеляев В.В., Иктисанов В.А., Liu

Dingzeng, Исаев А.А., Кадыров А.Х., Глуходед А.В. и др. Результаты работы этих исследователей позволяют ПАО «Татнефть» в последнее время дополнительно добывать нефть.

Эффективность УСШН во многом определяется применяемыми режимами откачки, в значительной мере, зависящими от типа привода установки. Предпочтительно применение длинноходовых режимов откачки. Известно, что основные показатели УСШН, такие как коэффициенты наполнения и подачи насоса, сроки службы насоса, штанг и труб, межремонтный период, КПД установки и т. п. улучшаются при увеличении длины её хода. Вопросы механики УСШН и влияние режимов откачки на основные параметры работы УСШН исследовались А.Н. Адониным, К.С. Аливердизаде, А.Г. Бабуковым, М.М. Багировым, А.С. Вирновским, М.А. Гусейновым, К.С. Кадымовой, А.М. Кенгерли, Б.Б. Круманом, Л.С. Лейбензоном, А.М. Пирвердяном, А.М. Рабиновичем, Э.М. Рустамовым, И.Г. Узумовым, И.А. Чарным, N.D. Dragotesku, Heinrich Rischmuller, Д.И. Чурсановым, В.М. Валовским, К.Р. Уразаковым, К.В. Валовским и др. отечественными и зарубежными исследователями. На основании работ названных исследователей созданы эффективные, реализующие длинноходовые режимы откачки, достаточно широко применяемые в ПАО «Татнефть», цепные приводы, серийно выпускаемые на Бугульминском механическом заводе.

Несмотря на существенный вклад вышеназванных исследователей ряд вопросов, возникающих при эксплуатации двухлифтовых УСШН, не решён.

Основным недостатком двухлифтовой технологии являются существенные затраты на внедрение оборудования, сдерживающие более широкое ее применение. Одним из путей снижения затрат представляется в отказе от использования одного из НП двухлифтовой УСШН, что приведет к исключению дополнительных существенных затрат на оснащение им установки, на его монтаж на скважине, обслуживании и ремонте при эксплуатации, на электроэнергию для его работы, на демонтаж одного из приводов и последующий монтаж заново при подземном ремонте скважины, что в результате приведет к увеличению рентабельности добычи нефти. К тому же, при переводе обычной скважины, ранее эксплуатировавшейся УСШН с подходящим приводом, на двухлифтовую вообще исключаются работы по монтажу привода.

Однако, только отказ от одного привода в двухлифтовой УСШН приводит к эксплуатации лифтов с одинаковой скоростью откачки (произведение длины хода на частоту качания), что в большинстве случаев неприемлемо с точки зрения обеспечения требуемых режимов добычи объектов, соответствия их продуктивности. Двухлифтовых УСШН с приводом только от одного привода, обеспечивающего разную скорость откачки лифтов, не существует.

Разработка двухлифтовой УСШН с одним НП и эксплуатация скважин с её применением имеют свои особенности и требуют создания соответствующей теории и проведения экспериментальных исследований. Ранее подобные исследования не проводились.

В настоящее время остаётся большим количеством подземных ремонтов (обрывы штанг, замена насосов и др.), выполняемых на скважинах, эксплуатируемых двухлифтовыми УСШН, отчасти связанное с вынужденным увеличение частоты качаний привода из-за невозможности увеличения длины хода более 3,5 м для обеспечения требуемой производительности лифта. Около трети скважин ПАО «Татнефть» работают с коэффициентом подачи насосов менее 0,5, в периодическом режиме, со срывами подачи. Эксплуатация осложняется влиянием газа в межтрубном пространстве, АСПО и др. Оборудование, применяемое на обычных скважинах с УСШН для снижения влияния, например, газа, из-за ограничений по внутреннему диаметру эксплуатационной колонны, часто неприменимо. Все это, в конечном счёте, снижает эффективность эксплуатации скважин двухлифтовыми УСШН.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту научной специальности 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», в частности направлению исследований по пункту 5: «Технологии и технические средства обустройства, добычи, сбора и подготовки скважинной продукции и технологические режимы их эксплуатации, диагностика оборудования и промысловых сооружений, обеспечивающих добычу, сбор, внутрипромысловый транспорт и промысловую подготовку нефти и газа к транспорту, на базе разработки, развития научных основ, ресурсосбережения и комплексного использования пластовой энергии и компонентов осваиваемых минеральных ресурсов с учётом гидрометеорологических, инженерно-геологических и географических особенностей расположения месторождения».

Цель исследования

Повышение эффективности эксплуатации нефтедобывающих скважин много-пластовых месторождений.

Основные задачи исследований

- 1 Анализ технологий и технических средств ОРД штанговыми насосами.
- 2 Поиск способа и технических средств регулирования скорости откачки скважинных штанговых насосов, приводимых в действие от одного привода, в соответствии с продуктивностью пластов.
- 3 Установление зависимостей между параметрами объектов скважины, режимами откачки и параметрами преобразователя длины хода двухлифтовой установки.

4 Поиск способа и технических средств снижения высоты устьевой арматуры двухлифтовой установки для реализации технологии.

5 Разработка и промысловые испытания технологии и технических средств раздельной добычи нефти из пластов в скважине штанговыми насосами, приводимыми в действие одним приводом.

Научная новизна

1 Предложена реализация способа одновременной и раздельной добычи продукции двух объектов (пластов) скважины с подъемом продукции по отдельным колоннам труб скважинными штанговыми насосами, приводимыми в действие от одного привода, при котором производительность каждого насоса в соответствие с продуктивностью эксплуатируемых пластов достигается применением в подвеске штанговых колонн механического регулируемого преобразователя хода, обеспечивающего разную скорость откачки насосов при одинаковой скорости подвески привода, причем преобразователь хода выполнен в виде барабана с намотанной гибкой тягой, установленного на общем валу со шкивами, через которые перекинуты гибкие элементы, присоединенные концами к колоннам штанг скважинных насосов, а установление требуемого соотношения скоростей откачки насосов достигается изменением высоты закрепления свободного конца гибкой тяги барабана относительно устья скважины и изменением диаметра его намотки на барабан.

2 Установлены зависимости между параметрами объектов скважины, свойствами продукции, режимами откачки, параметрами преобразователя длины хода и нагрузками на привод двухлифтовой установки. Установлен сдвиг во времени действия максимальных величин нагрузок на подвеске штанговых колонн при эксплуатации пластов с разными характеристиками.

3 Установлены зависимости между соотношением скоростей откачки продукции пластов (объектов) скважины и длиной хода привода, а также длин ходов скважинных насосов лифтов от передаточного числа преобразователя, характеризующиеся интенсивным изменением при передаточном числе от 0,5 до 3,5 с последующим выполнением при его дальнейшем увеличении.

Теоретическая и практическая значимость

1 Предложено при одновременно-раздельной добыче продукции двух объектов с подъёмом по отдельным параллельным колоннам труб скважинными штанговыми насосами, приводимыми в действие от одного наземного привода, регулировать производительность каждого насоса при помощи установленного в подвеске привода механического преобразователя длины хода. Установлена область применения предложенной технологии.

2 Предложена и реализована схема преобразователя длины хода, основанная на преобразовании возвратно-поступательного движения канатной подвески наземного привода во вращение вала преобразователя за счёт разности веса лифтов

и преобразования вращения вала в регулируемые по длине ходы точек подвеса штанг лифтов путём бесступенчатого изменения диаметра намотки гибкой тяги на барабан преобразователя.

3 Установлены зависимости между параметрами объектов скважины, режимами откачки и параметрами преобразователя длины хода двухлифтовой установки и обоснованы возможности их применения.

4 Разработана, обоснована и апробирована технология и двухлифтовая установка с одним приводом для ОРД скважин многопластовых месторождений. Утверждены технические условия и приняты приёмочной комиссией преобразователь длины хода. Установлена зависимость между соотношением скоростей откачки продукции объектов скважины и длиной хода привода, соответствующая оптимальной области применения технологии эксплуатации двухлифтовыми УСШН с одним приводом.

5 Обеспечено применение длинноходовых режимов работы насосов двухлифтовой установки.

6 Найдено и апробировано решение для минимизации радиальных поворотов подвесок лифтов при работе установки и увеличения ресурса устьевых сальников устьевой арматуры двухлифтовой установки.

7 Предложена и реализована новая схема оборудования устья скважин для ОРЭ с параллельной подвеской колонн насосных труб (патенты РФ № 2485280 и № 2485281), включающая колонный фланец и трубодержатели насосных труб с боковыми каналами для отвода добываемой продукции, при которой колонный фланец выполнен с отводами, сообщенными с внутренней полостью фланца и герметично соединен с трубодержателями, что обеспечивает существенное уменьшение высоты устьевой арматуры и соответственно фундамента (основания) привода.

8 Разработаны и утверждены технические условия, приняты приёмочной комиссией, налажено серийное изготовление и эксплуатируются на скважинах на 2025 г. 216 устьевых арматур двухлифтовых УСШН.

9 Новизна технических решений, созданных при выполнении работы подтверждена девятью патентами на изобретения.

10 Обоснована технико-экономическая эффективность применения разработанной технологии, обусловленная исключением затрат на оснащение скважины вторым приводом, снижением затрат на аренду, снижением потребления электроэнергии установкой (на скважине № 4551г НГДУ «Бавлынефть» в среднем на 35,8 %), исключением необходимости поднятия фундамента на высоту до 800 мм. Экономический эффект от внедрения разработок превышает 161,3 млн. руб.

11 Разработаны практические рекомендации для применения технологии раздельной добычи продукции объектов скважины штанговыми насосами,

приводимыми в действие одним приводом на скважинах многопластовых нефтяных месторождений.

Методология и методы исследования

При проведении исследования поставленные задачи решались путем аналитических, графоаналитических и экспериментальных исследований, анализа и обобщения экспериментальных данных, методами моделирования.

Положения, выносимые на защиту

1 Добыча продукции объектов нефтедобывающих скважин многопластового месторождения будет эффективнее, если использовать двухлифтовую УСШН только с одним приводом, обеспечивающим длинноходовые режимы работы лифтов, в сочетании со специальным устройством, приводящим в действие оба штанговых насоса с возможностью регулирования в определенных пределах скорости откачки.

2 Разная требуемая производительность скважинных насосов при откачке из двух объектов (пластов) в скважине при применении одного привода может обеспечиваться регулируемым механическим преобразователем хода подвесок штанговых колонн.

3 Максимальные величины нагрузок на подвеске штанговых колонн при эксплуатации двух объектов (пластов) в скважине с разными характеристиками при применении одного привода смешены во времени, что приводит к снижению суммарной нагрузки на привод.

4 Область применения предлагаемого технического решения ограничена соотношением скоростей откачки из двух объектов (пластов) в скважине от 0,17 до 1 при длине хода привода 2,5—7,3 м и суммарной нагрузкой от двух насосов не более максимальной грузоподъемности привода при наличии превышения на 221—604 Н мгновенной нагрузки в точке подвеса штанг лифта с большей нагрузкой над мгновенной нагрузкой в точке подвеса штанг другого в зависимости от передаточного числа преобразователя.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов, списка литературы, включающего 111 наименований, и 3 приложений. Работа изложена на 216 листах, содержит 35 рисунков и 7 таблиц.

Степень достоверности результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанной математической модели, её адекватностью, использованием известных положений инженерных наук, сходимостью полученных результатов экспериментов с практическими данными.

Апробация результатов

Основные результаты работы изложены в 14 опубликованных работах, в том числе в девяти патентах на изобретения, пяти статьях, два из которых опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ и обсуждались на:

- молодежной научно-практической конференции ПАО «Татнефть», посвящённой 50-летию института «ТатНИПИнефть» (г. Бугульма, 22-23 сентября 2006 г.);
- научно-технической ярмарке идей и предложений группы компаний «Татнефть», посвященной 60-летию ПАО «Татнефть» (г. Альметьевск, 2010 г.);
- технической отраслевой конференции «Арматура '2022» (г. Уфа, 2022 г.);
- IV Международной научно-практической конференции «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (г. Санкт-Петербург, 2025 г.).

Личный вклад автора состоит в выборе направления исследования, в формулировке целей и задач, их решении, сборе информации, проведении расчётов, анализе материалов и результатов экспериментов, выработке методических подходов исследований, а также участии в организации внедрения технологии в промышленных условиях. Вклад автора является основным во всех разделах работы.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, д.т.н., профессору В.М. Валовскому за оказанную помощь при работе над диссертацией, квалифицированные советы и консультации, начальнику отдела эксплуатации и ремонта скважин, д.т.н., профессору К.М. Гарифову, ведущему специалисту СП «Татнефть-Добыча», д.т.н. К.В. Валовскому, а также сотрудникам лаборатории техники и технологии добычи нефти института «ТатНИПИнефть» за помощь, оказанную при проведении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследований, сформулирована научная новизна, защищаемые положения, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе проведён анализ теории и практики раздельной добычи продукции скважин многопластовых нефтяных месторождений, определены проблемные ситуации, разработана методология исследования. С точки зрения получения наибольшего коэффициента продуктивности скважины наилучший эффект даёт разработка каждого пласта многопластового месторождения в режиме, близком к самостоятельному, при минимально достаточном количестве скважин многолифтовыми, в частности двухлифтовыми, технологиями.

В результате анализа двухлифтовой технологии раздельной добычи продукции объектов скважин многопластовых нефтяных месторождений были определены следующие проблемные вопросы в теории и в практике:

- отсутствует теоретическое обоснование возможности добычи двухлифтовой УСШН от одного привода с обеспечением требуемой производительности отбора продукции из каждого объекта (пласта);
- отсутствуют зависимости, устанавливающие связь требуемых параметров и режимов преобразователя хода и свойств эксплуатируемых объектов скважины;
- отсутствует техническое решение, позволяющее обеспечить необходимые разные скорости откачки из объектов скважины при использовании в установке одного привода,
- отсутствуют методики расчета нагрузок в ТПШ и привода установки с одним приводом, потребления установкой электроэнергии, области её эффективного применения;
- невозможность применения в двухлифтовой УСШН приводов, обеспечивающих длинноходовые режимы работы насосов;
- отсутствуют технические решения, исключающие повороты подвесок приводов (соударение траверс), перетирания колонны труб колонной штанг при работе установки и повышенный износ устьевых сальников.

Во второй главе в результате аналитической проработки поставленной в исследовании научной задачи разработана технология раздельной эксплуатации объектов в скважине штанговыми насосами, приводимыми в действие одним приводом, и обоснованы её возможности применения.

Одним из возможных направлений решения основной задачи исследования является раздельная эксплуатация объектов скважины с использованием двухлифтовой УСШН только с одним приводом, в которой для регулирования в определенных пределах скорости откачки применён механический преобразователь длины хода.

Схема предлагаемой двухлифтовой УСШН представлена на рис. 1. В установку входит привод 1, преобразователь длины хода 2, устьевая арматура 3, два лифта 4 и 5, включающих колонны труб, штанг и насосы. Объекты скважины и лифты разобщены внутри эксплуатационной колонны скважины пакером 6.

Преобразователь длины хода представляет собой вал с гибким элементом 7, концы которого присоединены к колоннам штанг лифтов, и барабаном с гибкой тягой 8. Свободный конец гибкого элемента закреплён на механизме крепления 9 на разной высоте. Изменением диаметра намотки гибкой тяги на барабан производится бесступенчатое регулирование длины хода насосов лифтов.

Двухлифтовая УСШН с одним приводом и преобразователем длины хода представляет собой совокупность механизмов, предназначенных для

преобразования возвратно-поступательного движения точки подвеса привода с известными длиной хода и частотой качания в возвратно-поступательные движения ТПШ лифтов с разными длинами хода, отличными от длины хода привода, и частотой качаний, равной частоте качаний привода. В самом преобразователе можно выделить механизмы преобразования возвратно-поступательного движения точки подвеса привода во вращение вала и преобразования вращения вала в возвратно-поступательные движения ТПШ лифтов.

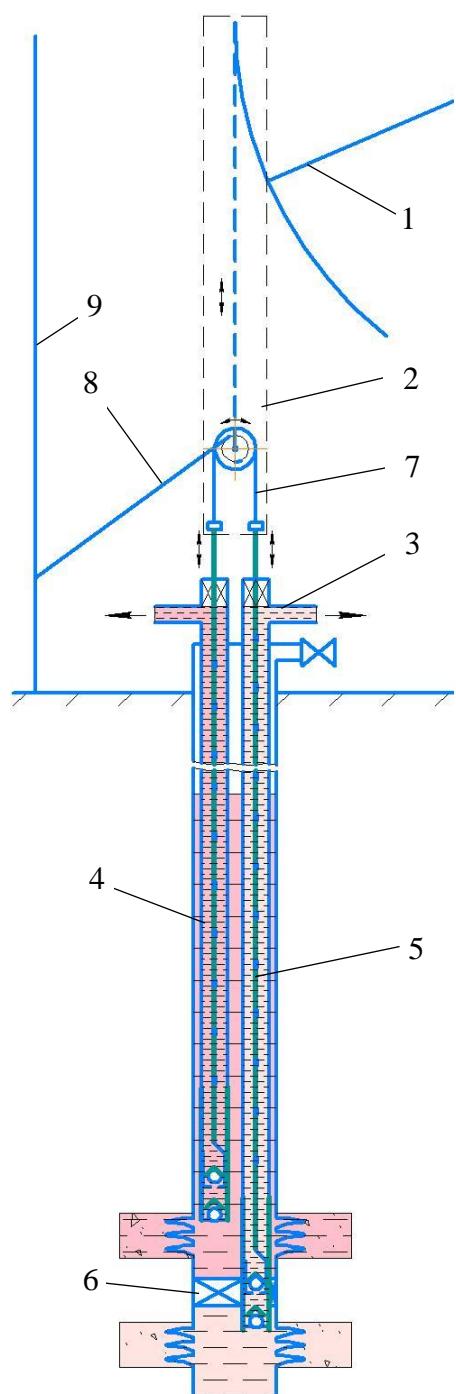
Регулировкой высоты места крепления гибкого элемента изменяются варианты эксплуатации установки:

1 эксплуатация установки с одинаковой скоростью откачки (произведение длины хода и частоты качаний) лифтов, равной скорости откачки привода. Для этого вращение вала преобразователя блокируется. Установка работает аналогично обычной УСШН;

2 эксплуатация установки с большей, чем у привода 1, длиной хода лифта с большей нагрузкой в точке подвеса штанг, например, 5 (рис. 1) при пропорциональном уменьшении длины хода другого лифта, соответственно 4. Это достигается фиксацией свободного конца гибкой тяги на механизме крепления ниже или на уровне крайнего нижнего положения преобразователя;

3 эксплуатация установки с большей, чем у привода, длиной хода лифта с меньшей нагрузкой в точке подвеса штанг, например, 4 (рис. 1) при пропорциональном уменьшении длины хода другого лифта, соответственно 5. Это достигается фиксацией свободного конца гибкой тяги на механизме крепления выше или на уровне крайнего верхнего положения преобразователя.

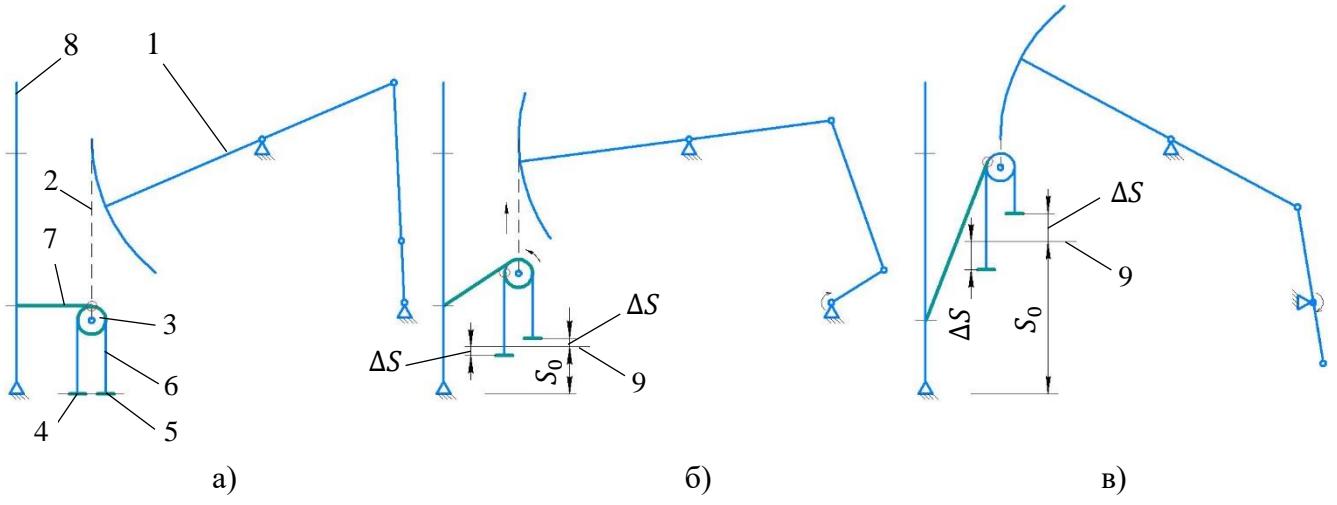
Для определения зависимостей рассмотрим работу установки в варианте эксплуатации 2. Допустим, требуется эксплуатация установки с большей, чем у привода 1 (рис. 1), длиной хода лифта с большей нагрузкой в точке подвеса штанг, например, 5, и меньшей длиной хода другого лифта, соответственно, 4.



1 – привод; 2 – преобразователь длины хода; 3 – устьевая арматура; 4, 5 – лифты; 6 – пакер; 7 – гибкий элемент; 8 – гибкая тяга; 9 – механизм крепления

Рис. 1 – Схема двухлифтовой УСШН с одним приводом

В крайнем нижнем положении головки балансира СК 1 (рис. 2, *а*) принято, что плунжеры насосов, соответственно, подвески 4 и 5, а также преобразователь 3 находятся в крайних нижних положениях. Свободный конец гибкой тяги 7 закреплён, допустим, на уровне линии намотки гибкой тяги 7 на барабан преобразователя 3 при его крайнем нижнем положении. После включения СК 1 (рис. 2, *б*) канат 2 начинает двигаться вверх, увлекая за собой преобразователь 3, при этом лифт с большей нагрузкой в точке подвеса штанг (ЛБН), например, 5, тянет через гибкий элемент 6 и вращающийся на опорах вал преобразователя 3 лифт 4, но из-за фиксации свободного конца гибкой тяги 7 на механизме крепления 8 вал преобразователя 3 начинает вращаться против часовой стрелки. В результате поднимается подвеска 5 и спускается другая – 4. Для сравнения на рис. 2, *б*, и 2, *в*, прочерчена линия 9, показывающая положение подвесок 4 и 5 при их длине хода одинаковой с длиной хода СК 1 S_0 при заблокированном преобразователе 3. За время прохождения хода S_0 за счёт вращения вала преобразователя 3 подвеска 5 дополнительно проходит расстояние ΔS . В результате подвеска 5 пройдет расстояние $S_0 + \Delta S$, а подвеска 4 – расстояние $S_0 - \Delta S$.



1 – СК; 2 – канат; 3 – преобразователь; 4 – подвеска ЛМН; 5 – подвеска ЛБН; 6 – гибкий элемент; 7 – гибкая тяга; 8 – механизм крепления; 9 – линия расположения подвесок при одинаковой длине хода лифтов и СК

Рис. 2 – Схема работы установки

Дальнейший ход вверх головки балансира СК 1 (рис. 2, *в*) приводит к дальнейшему пропорциональному увеличению длины хода ЛБН 5 до момента достижения крайнего верхнего положения головки балансира СК, при этом происходит максимальное увеличение длины хода лифта 5.

При ходе вниз происходит работа установки в обратной последовательности (рис. 2, *в*—2, *а*).

В итоге за цикл работы установки скорость откачки лифта 5 будет больше, чем скорость откачки СК 1, а скорость откачки лифта 4 будет меньше, чем скорость откачки СК, за счёт изменения длины хода лифтов преобразователем без изменения

частоты качаний. Длина хода лифтов 1 (менее производительного) и 2 (более производительного) выражается формулой (1):

$$S_{1,2} = S_0 \mp \Delta S , \quad (1)$$

где S_1 и S_2 – длина хода лифта 1 и 2 соответственно; S_0 – длина хода привода; ΔS – величина изменения длины хода лифтов; здесь и далее верхний знак в формулах относится к первому значению функции.

Величина изменения длины хода лифтов ΔS определяется по формуле (2).

$$\Delta S = \frac{d_{\text{в}} \cdot S_0}{D} = \frac{S_0}{u} , \quad (2)$$

где $d_{\text{в}}$ – диаметр вала; D – диаметр внешнего ряда намотанной на барабан гибкой тяги; u – передаточное число преобразователя.

В результате для определения длины хода ТПШ менее производительного лифта 1 и более производительного лифта 2 получена формула (3).

$$S_{1,2} = S_0 \cdot \left(1 \mp \frac{1}{u}\right) . \quad (3)$$

Скорости перемещения ТПШ лифтов ϑ_1 и ϑ_2 определяются по формуле (4).

$$\vartheta_{1,2} = \frac{S_{1,2}}{T} = \frac{S_0}{T} \cdot \left(1 \mp \frac{1}{u}\right) = \vartheta \cdot \left(1 \mp \frac{1}{u}\right) , \quad (4)$$

где: ϑ – скорость движения рабочего органа привода при ходе вверх или ходе вниз; T – продолжительность хода вверх или хода вниз одного цикла работы привода.

Ускорения ТПШ лифтов могут быть определены по формуле (5).

$$a_{1,2} = \frac{\vartheta_{1,2}}{T} = \frac{\vartheta}{T} \cdot \left(1 \mp \frac{1}{u}\right) = a \cdot \left(1 \mp \frac{1}{u}\right) , \quad (5)$$

где a – ускорение рабочего органа привода при ходе вверх или ходе вниз.

При ходе рабочего органа привода с ТПШ лифтов вниз лифт 2 с большей нагрузкой в ТПШ за счёт разницы нагрузок возвращает лифты в исходное положение. Далее циклы повторяются. Основным необходимым условием работоспособности установки с преобразователем является наличие разницы нагрузок в ТПШ лифтов, предпосылками образования которой являются разная глубина спуска насосов, соответственно, разная высота подъёма жидкости, а также разная производительность лифтов и др., в любой момент времени цикла работы установки. Эта разница нагрузок является движущей силой, необходимой для создания врачающего момента, приводящего во вращение вал-звездочку преобразователя, поэтому позволяет избежать применения дополнительного привода, такого как электропривод, гидропривод и др.

Из полученных формул следует, что длина хода, скорость и ускорения лифтов зависят от длины хода, скорости и ускорения привода и передаточного числа преобразователя длины хода. Теоретически в формуле (2) значение передаточного числа может быть любым положительным числом, т. е. $u \in (0; \infty)$. В то же время

$D \neq 0$, т. к. при этом нарушается физический смысл параметра. Отсюда $u \neq 0$, но стремится к 0. На рис. 3 представлен график, построенный по формуле (3) при длинах хода привода $S_0 = 3,5$ м и 6 м.

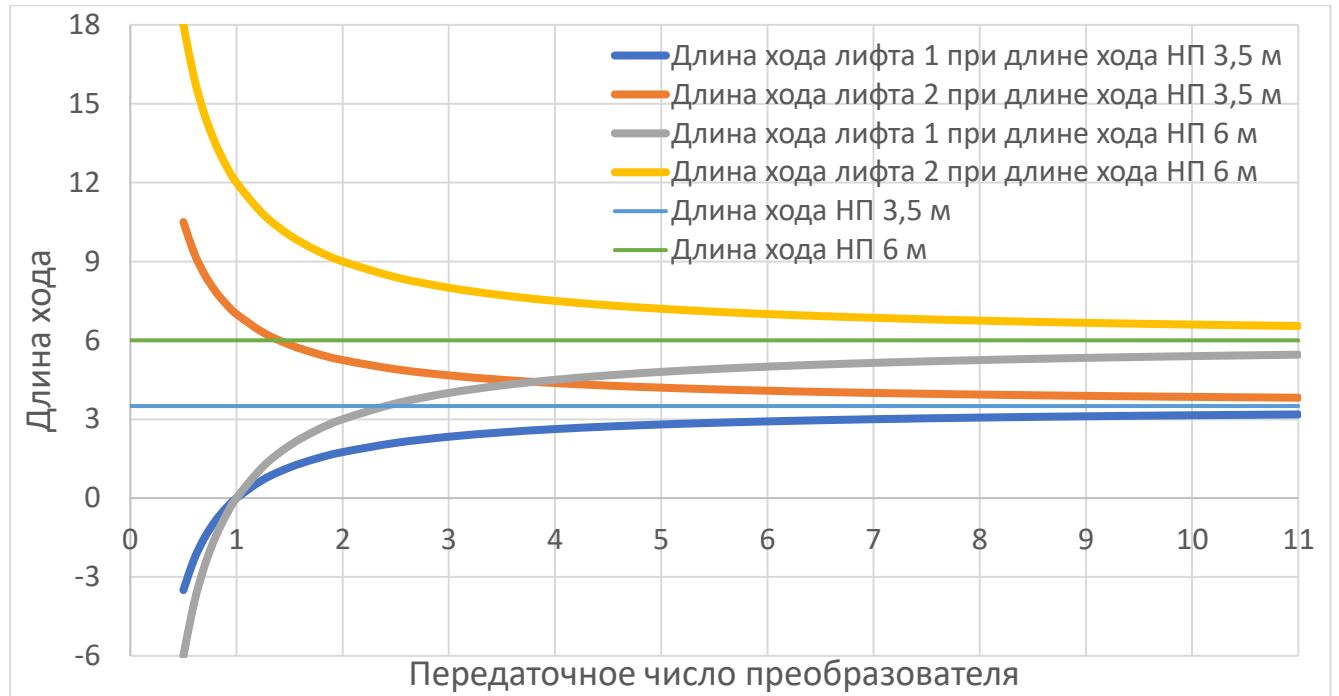


Рис. 3 – График изменения длины хода лифтов S_1 и S_2 в зависимости от изменения передаточного числа преобразователя u

Как видно из графиков длина хода лифтов интенсивно изменяется в пределах передаточного числа преобразователя от 0,5 до 3,5 с последующим вы полаживанием при его дальнейшем увеличении.

Следует отметить, что при значении $u = 1$, т. е. в случае $D = d_{3B}$, ΔS становится равной длине хода привода S_0 , что приводит к удвоению хода более производительного лифта, например, $S_2 = 2S_0$, при этом ход другого лифта S_1 становится равным 0 – в течение всего цикла работы УСШН ТПШ лифта остается неподвижной.

При значениях $u < 1$, т. е. в случае, когда $D < d_B$, происходит дальнейшее увеличение длины хода более производительного лифта и обратный ход (перемещение вниз в скважину) ТПШ менее производительного лифта.

В то же время увеличение передаточного числа преобразователя более 10 из практических соображений представляется нецелесообразным. При этом разница между длиной хода привода и длинами хода лифтов составляет менее 10 %, поэтому лифты целесообразно эксплуатировать с одинаковой длиной хода, равной длине хода привода.

Перемещение, скорость и ускорение преобразователя при варианте эксплуатации установки 2 одинакова с выведенными выше закономерностями с тем отличием, что большая длина хода будет у лифта с меньшей нагрузкой в ТПШ.

Эксплуатация двухлифтовой УСШН в длинноходовых режимах возможна при применении как станков-качалок с максимально возможной длиной хода, так и цепных приводов с длиной хода от 3 м, но предпочтительнее последние по причине очевидных преимуществ редуцирующего преобразующего механизма привода, который обеспечивает равномерное на преобладающей части хода (90 %) движение колонны штанг, и возможности эксплуатации с длиной хода 6 м и более. Построены теоретические динамограммы в ТПШ лифтов установки с цепным приводом (рис. 4).

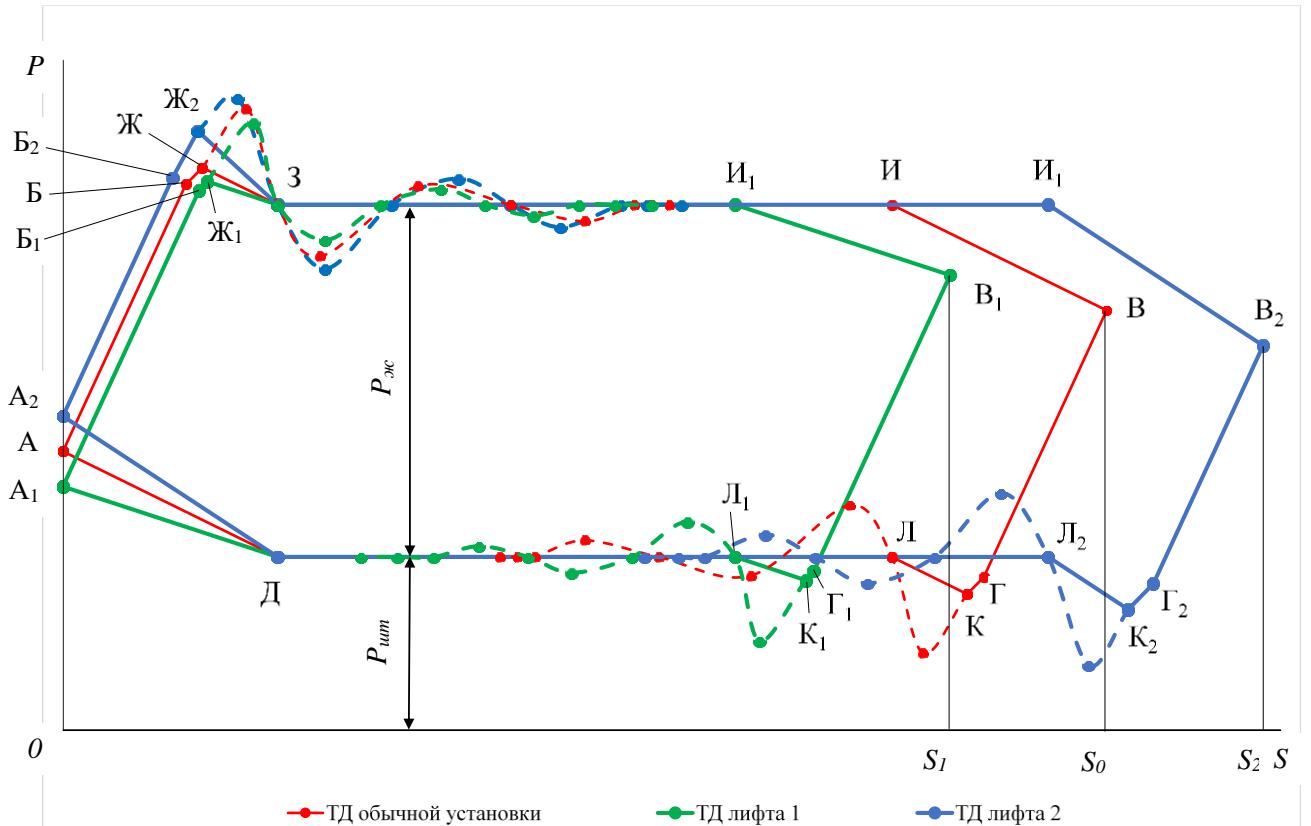


Рис. 4 – Теоретические динамограммы изменения усилия в ТПШ лифтов

Из динамограмм следует, что при одинаковых исходных нагрузках в ТПШ лифтов максимальная нагрузка в ТПШ лифта 1 предлагаемой установки меньше максимальной нагрузки в ТПШ обычной установки, которая, в свою очередь, меньше максимальной нагрузки в ТПШ лифта 2 предлагаемой установки, т. е. $P_{max1} < P_{max} < P_{max2}$, причем полученные значения нагрузок возникают в разное время цикла: сначала в лифте 2, потом в обычной установке и, далее, в лифте 1, т. е. $t_2 < t < t_1$. Отсюда следует, если в обычной установке на привод действовала бы удвоенная максимальная нагрузка в ТПШ лифтов $2P_{max}$, то в предлагаемой – большая из сумм максимальной нагрузки одного из лифтов и соответствующая этому моменту времени нагрузка в ТПШ другого лифта, в данном случае, $P_{max2} + P_1$, поэтому суммарные мгновенные значения усилий на привод должны быть ниже, чем при работе данной установки без преобразователя.

Выведены выражения для определения экстремальных нагрузок, действующих в ТПШ лифтов. Для определения максимальных усилий в ТПШ лифтов 1 и 2 следует применять формулу (6).

$$P_{max1,2} = P_{ж1,2} + P_{шт1,2} + P'_{шт1,2} \frac{4n^2 S_0 (1,14 + k)^2 \varepsilon_{1,2}}{kg} \left(1 - \frac{k\lambda_{1,2}}{S_0}\right) \left(1 - \frac{\psi_{1,2}}{2}\right) + \\ + \frac{P'_{шт1,2}}{3} \frac{D_{1,2}}{d_{шт1,2}} \sqrt{\frac{4n^2 S_0 (1,14 + k)^2 \varepsilon_{1,2}}{kg}} \sqrt{2\psi_{1,2} b_{1,2} \xi_{1,2} \left(1 - \frac{k\lambda_{1,2}}{2S_0}\right)} . \quad (6)$$

где k – кинематический параметр цепного привода; $\lambda_{1,2}$ – потеря хода плунжера насоса лифтов 1 и 2; S_0 – длина хода привода; $D_{1,2}$ – диаметр плунжера насоса лифтов 1 и 2; $d_{шт1,2}$ – диаметр колонны штанг лифтов 1 и 2; $b_{1,2}$ – коэффициент, показывающий во сколько раз инерционные усилия в штангах лифтов 1 и 2 сокращают потерю хода плунжера насоса (7);

$$b_{1,2} = \frac{1 - \frac{P'_{шт1,2}}{P_{ж1,2}} \frac{a_{1,2max}}{g} \frac{\psi_{1,2}}{2}}{1 + \frac{P'_{шт1,2}}{P_{ж1,2}} \frac{a_{1,2max}}{g} \left(1 - \frac{\psi_{1,2}}{2}\right) \frac{\lambda_{ct1,2}}{R}} , \quad (7)$$

где $\lambda_{ct1,2}$ – статическая потеря хода плунжеров насосов лифтов 1 и 2; $H_{ж1,2}$ – высота подъёма жидкости лифтов 1 и 2; $H_{1,2}$ – глубина спуска насосов лифтов 1 и 2.

Минимальные усилия в ТПШ лифтов при принятых допущениях возможно определить по формуле

$$P_{min1,2} = P_{шт1,2} - P'_{шт1,2} \frac{4n^2 S_0 (1,14 + k)^2 \varepsilon_{1,2}}{kg} \left(1 - \frac{k\lambda_{1,2}}{S_0}\right) \left(1 - \frac{\psi_{1,2}}{2}\right) - \\ - \frac{P'_{шт1,2}}{3} \frac{D_{1,2}}{d_{шт1,2}} \sqrt{\frac{4n^2 S_0 (1,14 + k)^2 \varepsilon_{1,2}}{kg}} \sqrt{2\psi_{1,2} b_{1,2} \xi_{1,2} \left(1 - \frac{k\lambda_{1,2}}{2S_0}\right)} . \quad (8)$$

Для случая эксплуатации двухлифтовой УСШН с одним приводом и разной скоростью откачки лифтов, т. е. $n_1 S_1 \neq n_2 S_2 \neq n S_0$, зависимость между технологическими режимами откачки установки и характеристиками пластов (объектов) следующая:

$$\begin{cases} n S_0 \left(1 - \frac{1}{u}\right) = \frac{4K_{пр1} (p_{пл1} - \rho_1 g (H_{скв1} - H_{h1}) - p_{пр1})}{1440 \eta_1 \pi D_{h1}^2} \\ n S_0 \left(1 + \frac{1}{u}\right) = \frac{4K_{пр2} (p_{пл2} - \rho_2 g (H_{скв2} - H_{h2}) - p_{пр2})}{1440 \eta_2 \pi D_{h2}^2} \end{cases} , \quad (9)$$

где n – частота качаний, мин^{-1} ; S – длина хода плунжера насоса, м; $K_{пр}$ – коэффициент продуктивности, $\text{м}^3/(\text{сут} \cdot \text{МПа})$; $p_{пл}$ – пластовое давление, МПа;

$p_{заб}$ – забойное давление, МПа; η – коэффициент подачи насоса; D_h – диаметр насоса, мм; u – передаточное отношение преобразователя; ρ – плотность смеси продукции, кг/м³; $H_{скв}$ – глубина расположения интервала перфорации объекта скважины, м; H_h – глубина спуска насоса, м; $p_{пр}$ – давление на приёме насоса, МПа.

Здесь индексы 1 и 2 обозначают принадлежность параметра соответственно к первому и второму объекту скважины.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям работы технологии раздельной добычи продукции объектов скважины штанговыми насосами, приводимыми в действие одним приводом и разработке практических рекомендаций для её реализации.

По данным исследований, проведённых до перехода на разработанную технологию, лифт 1 эксплуатировался с длиной хода 2,1 м и частотой качаний 2,9 мин⁻¹, а лифт 2 — 2,5 м и 2,9 мин⁻¹ с общим дебитом в среднем с 7,15 м³/сут. Установка на скважине (рис. 6) после перехода испытывалась в двух режимах: с длиной хода 2 м лифта 1 и 3 м – лифта 2 при длине хода СК UP-9Т 2,5 м и частотой качаний 2,9 мин⁻¹ и с одинаковой длиной хода обоих лифтов, равной длине хода UP-9Т с частотой качаний 2,9 мин⁻¹.

Во время эксплуатации по первому режиму общий дебит составил 8,1 м³/сут, но в связи с недостаточным отбором с лифта 1 установка была переведена на второй режим эксплуатации, т. к. разница в скоростях откачки стала менее 10 %. В результате общий дебит скважины увеличился в среднем до 9,5 м³/сут за счёт большего отбора с лифта 1 при сохранении обводнённости в районе 20 % и 8,8 % лифта 2 (рис. 6), тем самым показана возможность, причем более точного, регулирования производительности лифтов разработанной установки в соответствии с притоком объектов. При этом получена экономия электроэнергии в среднем на 35,8 %.

По графикам изменения фактических нагрузок, снятых одновременно двумя межтраверсными динамографами в течение цикла работы установки (рис. 7), видно, что максимальная нагрузка в ТПШ лифта 1 приходится на снижающуюся нагрузку в ТПШ лифта 2.



Рис. 5 – Двухлифтовая УСШН с одним приводом на скважине

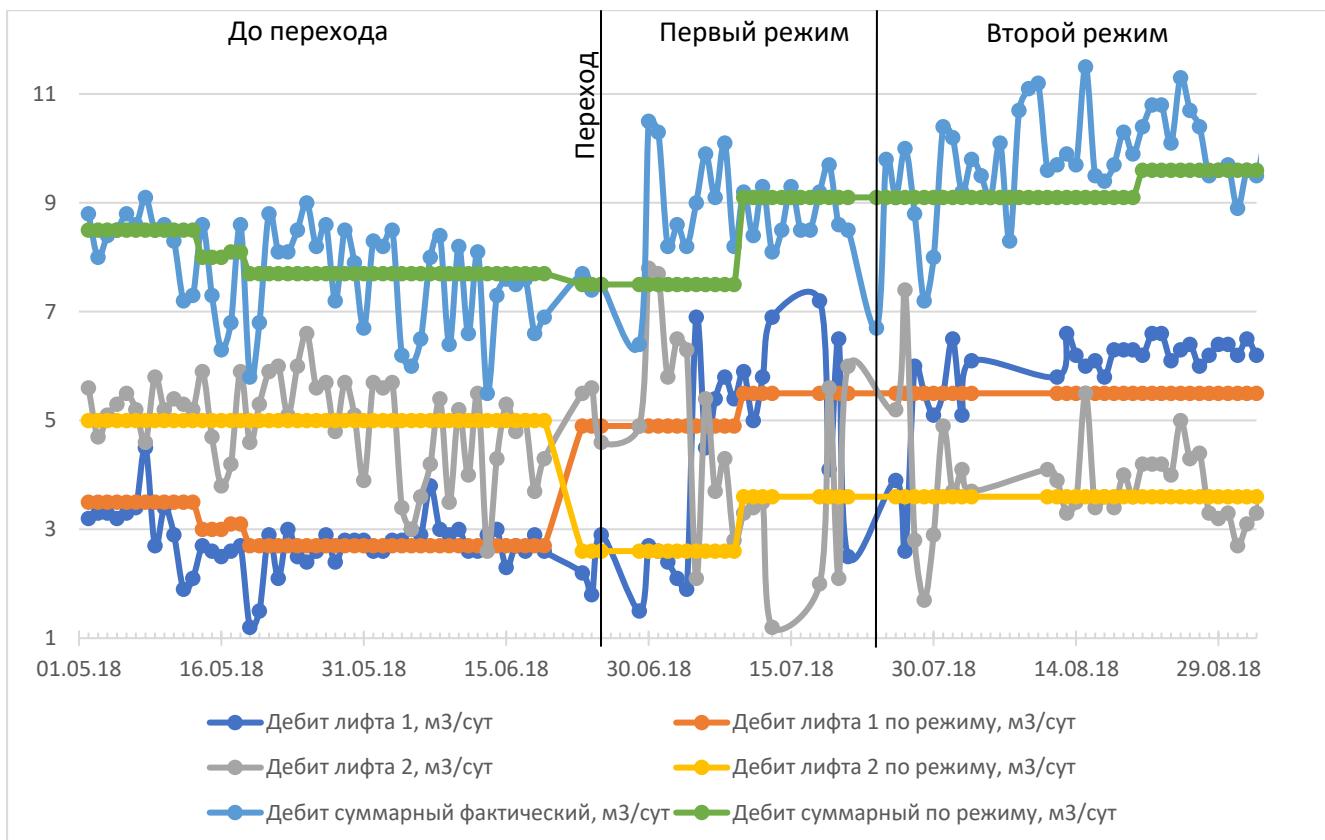


Рис. 6 – Графики фактических замеров дебита лифтов и скважины

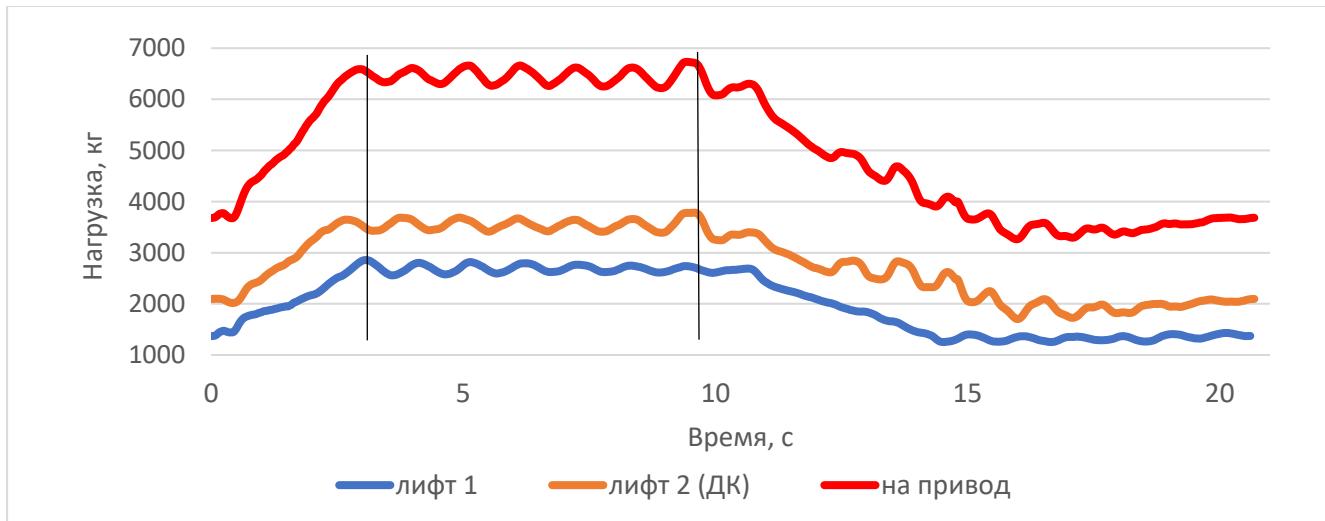


Рис. 7 – Графики изменения фактических нагрузок в течение цикла работы

На основании сравнения нагрузок по динамограммам в ТПШ лифтов двухлифтовой УСШН с двумя приводами и двухлифтовой УСШН с одним приводом экспериментально доказано, что максимальная нагрузка на привод во второй установке снизилась на 7–8 % (рис. 8). Удельные энергозатраты на подъём единицы продукции разработанной установкой по отношению к применяемой снизились в среднем с 44,3 кВт·ч/(м³·км) до 12,37 кВт·ч/(м³·км) на 72 %, что свидетельствует о повышении КПД за счёт исключения элемента (одного привода) из добывающей системы, совершающей полезную работу по подъёму жидкости.

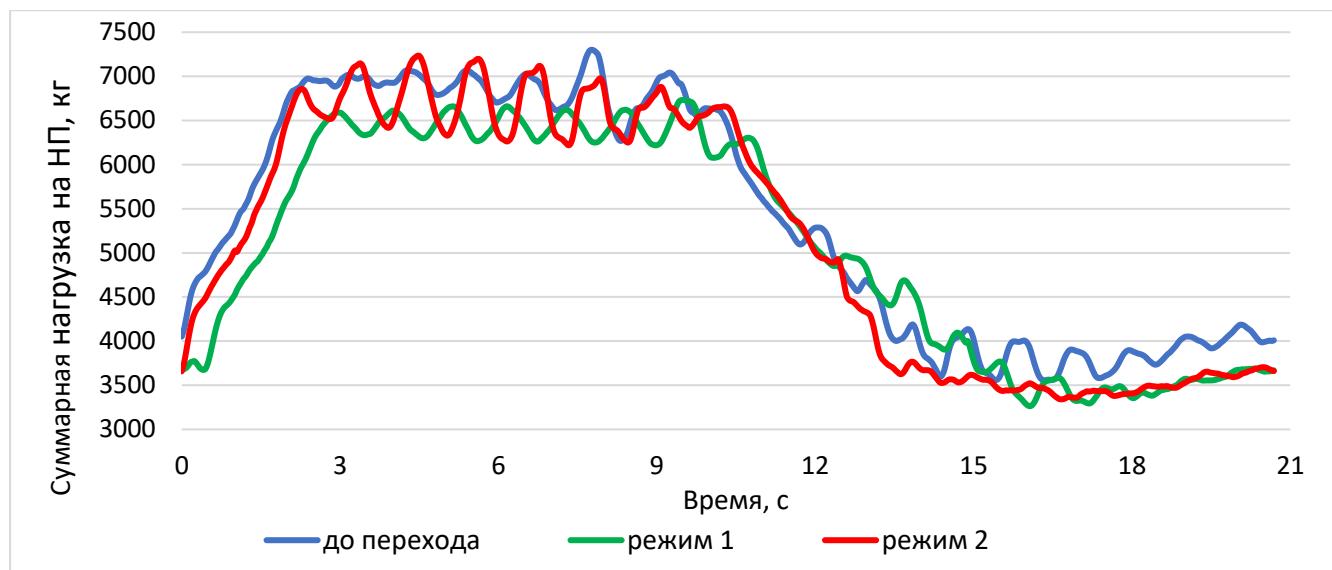


Рис. 8 – Сравнение графиков изменения нагрузок на НП в течение цикла

По результатам анализа полученных результатов проведённых исследований, в частности: производительности лифтов и установки в целом, потребляемой электроэнергии и возможности эксплуатации установки и лифтов в различных режимах работы подтверждена работоспособность технологии раздельной добычи продукции объектов скважины штанговыми насосами, приводимыми в действие одним приводом. Приемочной комиссией рекомендованы расширенные испытания установочной серии преобразователей.

Для реализации разработанной технологии раздельной добычи продукции объектов скважины штанговыми насосами, приводимыми в действие одним приводом, разработаны следующие рекомендации:

- с целью выполнения условия работоспособности установки необходимо обеспечить наличие превышения на 221—604 Н мгновенной нагрузки в ТПШ лифта с большей нагрузкой в точке подвеса штанг над мгновенной нагрузкой в ТПШ другого в любой момент цикла работы установки или применение технических решений (патенты РФ №№ 2 721 067, 2 721 068 и 2 727 833), обеспечивающих работоспособность установки при меньших значениях превышения;

- при монтаже привода необходима более точная его центровка относительно существующих требований, а именно попадание отвеса с центра головки балансира СК или подвески ПЦ в верхнем положении в пределы окружности диаметром 15 мм с центром, совпадающим с осью эксплуатационной колонны скважины на уровне колонного фланца устьевой арматуры в сочетании с применением преобразователя с узлом компенсации угловых перемещений;

- соотношение скоростей откачки из двух объектов (пластов) в скважине от 0,17 до 1 при длине хода привода 2,5—7,3 м. Для реализации технологии разработаны двухствольные устьевые арматуры, выпускаемые по техническим условиям ТУ 3665-127-00147588-2006, ТУ 3665-001-00147588-2011 и ТУ 3665-011-

00147588-2012, в которых реализовано снижение высоты на 580—983 мм по сравнению с применявшимися ранее.

Перспективами дальнейшей разработки темы являются исследование работы предложенной двухлифтовой установки с одним приводом при работе в режимах работы преобразователя с кратным удлинением длины хода привода, противоходе лифтов и др., проработка возможностей доработки преобразователя для достижения требуемой надёжности его работы, что позволит реализовать технологию раздельной эксплуатации объектов скважины многопластового нефтяного месторождения и создаст предпосылки для создания многолифтовых установок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования можно сделать следующие выводы:

1 В результате проведенного анализа двухлифтовой технологии раздельной добычи продукции объектов скважин многопластовых нефтяных месторождений были определены следующие проблемные вопросы: отсутствует теоретическое обоснование целесообразности добычи двухлифтовой УСШН от одного привода, отсутствует решение, позволяющее обеспечить необходимые скорости откачки при использовании в установке только одного привода, отсутствуют методики расчета нагрузок в точках подвеса лифтов и привода установки, потребления установкой электроэнергии, области его эффективного применения, невозможность применения приводов для обеспечения длинноходовых режимов работы насосов с центровкой по оси устьевых сальников, отсутствуют решения, исключающие повороты подвесок приводов (соударение траверс) и перетирания колонны труб колонной штанг при работе установки.

2 Предложена реализация способа одновременной и раздельной добычи продукции двух объектов (пластов) скважины с подъемом продукции по отдельным колоннам труб скважинными штанговыми насосами, приводимыми в действие от одного привода, при котором производительность каждого насоса в соответствие с продуктивностью эксплуатируемых пластов достигается применением в подвеске штанговых колонн механического регулируемого преобразователя хода, обеспечивающего разную скорость откачки насосов при одинаковой скорости подвески привода, причем преобразователь хода выполнен в виде барабана с намотанной гибкой тягой, установленного на общем валу со шкивами, через которые перекинуты гибкие элементы, присоединенные концами к колоннам штанг скважинных насосов, а установление требуемого соотношения скоростей откачки насосов достигается изменением высоты закрепления свободного конца гибкой тяги барабана относительно устья скважины и изменением диаметра его намотки на барабан.

3 Установлены зависимости между параметрами объектов скважины, свойствами продукции, режимами откачки, параметрами преобразователя длины хода и нагрузками на привод двухлифтовой установки. Установлен сдвиг во времени

действия максимальных величин нагрузок на подвеске штанговых колонн при эксплуатации пластов с разными характеристиками.

4 На основе анализа полученных результатов проведённых исследований, в частности: производительности лифтов и установки в целом, потребляемой электроэнергии и возможности эксплуатации установки и лифтов в различных режимах работы обоснована работоспособность технологии раздельной добычи продукции объектов скважины штанговыми насосами, приводимыми в действие одним приводом. В частности, для скважины № 4551г НГДУ «Бавлынефть» на основании сравнения нагрузок по динамограммам в точках подвеса штанг лифтов двухлифтовой УСШН с двумя приводами и двухлифтовой УСШН с одним приводом экспериментально показано, что максимальная нагрузка на привод разработанной установки снижается на 7—8 %. Удельные энергозатраты на подъём единицы продукции разработанной установкой в сравнении с применяемой снижаются в среднем на 72 %.

5 Для реализации предложенной технологии разработаны следующие рекомендации:

- необходимо превышение на 221—604 Н мгновенной нагрузки в точке подвеса штанг лифта с большей нагрузкой над мгновенной нагрузкой в точке подвеса штанг другого в любой момент цикла работы установки;
- при отсутствии указанного превышения предложены технические решения (патенты РФ №№ 2 721 067, 2 721 068 и 2 727 833), обеспечивающие работоспособность установки при меньших значениях превышения;
- при монтаже привода необходима более точная его центровка относительно существующих требований, а именно попадание отвеса с центра головки балансира станка-качалки или подвески цепного привода в верхнем положении в пределы окружности диаметром 15 мм с центром, совпадающим с осью эксплуатационной колонны скважины на уровне колоннного фланца устьевой арматуры в сочетании с применением преобразователя с узлом компенсации угловых перемещений;
- соотношение скоростей откачки из двух объектов (пластов) в скважине от 0,17 до 1 при длине хода привода 2,5—7,3 м. Для реализации технологии разработаны двухствольные устьевые арматуры, выпускаемые по техническим условиям ТУ 3665-127-00147588-2006, ТУ 3665-001-00147588-2011 и ТУ 3665-011-00147588-2012, в которых реализовано снижение высоты на 580—983 мм по сравнению с применявшимися ранее.

6 Девять технических решений, созданных в ходе работы, выполнены на уровне изобретений. Разработаны и утверждены три технических условия на устьевые арматуры и преобразователь длины хода для реализации предложенной технологии. В ПАО «Татнефть» на 2025 г. находится в эксплуатации более

200 разработанных устьевых арматур. Экономический эффект от внедрения разработок превышает 161,3 млн. руб.

7 Перспективами дальнейшей разработки темы являются исследование работы предложенной двухлифтовой установки с одним приводом при работе в режимах работы преобразователя с кратным удлинением длины хода привода, противоходе лифтов и др., проработка возможностей доработки преобразователя для достижения требуемой надёжности его работы, что позволит реализовать технологию раздельной эксплуатации объектов скважины многопластового нефтяного месторождения и создаст предпосылки для создания многолифтовых установок.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для размещения материалов диссертации:

1 Сайтов, А. А. Предпосылки снижения затрат на добычу нефти двухлифтовой установкой скважинных штанговых насосов / А. А. Сайтов. // Нефтепромысловое дело, 2025. — № 4. — С. 57–63.

2 Сайтов, А. А. О возможности эксплуатации двух объектов (продуктивных пластов) нефтяного месторождения двухлифтовой установкой скважинных штанговых насосов с одним наземным приводом / А. А. Сайтов, В. М. Валовский. // Нефтепромысловое дело, 2025. — № 5. — С. 46–53.

Патенты:

3 Пат. 2 485 280 Российская Федерация, МПК E21B 33/03. Оборудование устья скважины с параллельной подвеской труб [Текст] / Сайтов А.А., Валовский В.М., Шамсутдинов И.Г. (RU); заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина (RU). – № 2012100267/03; заявл. 10.01.2012; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17. – 10 с.: ил.

4 Пат. 2 485 281 Российская Федерация, МПК E21B 33/03. Оборудование устья скважины с параллельной подвеской труб [Текст] / Сайтов А.А., Валовский В.М., Шамсутдинов И.Г. (RU); заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина (RU). – № 2012100820/03; заявл. 11.01.2012; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17. – 10 с.: ил.

5 Пат. 2 594 038 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А., Шамсутдинов И.Г., Федосеенко Н.В., Валовский В.М.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2015134152/06; заявл. 13.08.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22. – 16 с.: ил.

6 Пат. 2 613 477 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А., Шамсутдинов И.Г., Федосеенко Н.В.,

Валовский В.М.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2016101725; заявл. 20.01.2016; опубл. 16.03.2017 Бюл. № 8. – 20 с.: ил.

7 Пат. 2 614 296 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А., Шамсутдинов И.Г., Федосеенко Н.В., Валовский В.М.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2016102865; заявл. 28.01.2016; опубл. 24.03.2017 Бюл. № 9. – 19 с.: ил.

8 Пат. 2 715 120 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2019130818; заявл. 30.09.2019; опубл. 25.02.2020 Бюл. № 6. – 17 с.: ил.

9 Пат. 2 721 067 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2019133374; заявл. 22.10.2019; опубл. 15.05.2020 Бюл. № 14. – 21 с.: ил.

10 Пат. 2 721 068 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2019124321; заявл. 31.07.2019; опубл. 15.05.2020 Бюл. № 14. – 16 с.: ил.

11 Пат. 2 727 833 Российская Федерация, МПК F 04 B 47/02. Скважинная штанговая насосная установка / Сайтов А.А.; заявитель и патентообладатель ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. - № 2020104959; заявл. 04.02.2020; опубл. 24.07.2020 Бюл. № 21. – 19 с.: ил.

Другие печатные труды:

12 Сайтов, А.А. О необходимости плавного изменения параметров установок для добычи жидкости / А.А. Сайтов // Сборник тезисов докладов молодежной научно-практической конференции ОАО «Татнефть», посвященной 50-летию института «ТатНИПИнефть». – 2006.

13 Сайтов, А. А. Разработка и испытание импортозамещающего устьевого оборудования ОРЭ нескольких пластов одной скважиной / А. А. Сайтов, В. М. Валовский, К. В. Валовский, И. Г. Шамсутдинов, Н. В. Федосеенко. Сборник научных трудов ТатНИПИнефть, вып. LXXXII. — Москва : Нефтяное хозяйство, 2014. — С. 271–289.

14 Сайтов, А.А. Совершенствование устьевого оборудования для ОРЭ нескольких объектов одной скважиной / А.А. Сайтов // Инженерная практика, 2022. — № 10. — С. 48–55.