

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ**

На правах рукописи

КАРАЖАНОВА МАРАЛ КОЙЛЫБАЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

2525.01 – Разработка и эксплуатация нефтяных и
газовых месторождений

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по техническим наукам

БАКУ – 2014

Работа выполнена в Институте Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана.

Научный руководитель: чл.-корр. НАНА,
д.т.н., проф. **Г.М.Эфендиев**

Официальные оппоненты:
чл.-корр. НАНА, д.т.н., проф.
Г.И.Джалалов

заслуженный деятель науки
Азербайджана, академик РАЕН,
д.т.н., проф. **Т.Ш.Салаватов**

Ведущая организация: НИИ Прикладной математики при БГУ

Защита диссертации состоится 30 сентября 2014 г. в 14³⁰ часов на заседании Диссертационного Совета D 01.081 при Институте Геологии и Геофизики НАН Азербайджана.

Адрес: Az1143, г. Баку, пр. Г.Джавида, 119
Факс: (499412) 537 22 85. E-mail: gia@azdata.net

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Геологии и Геофизики НАНА.

Автореферат разослан 30 июня 2014 г.

**Ученый секретарь
Диссертационного Совета D 01.081,
доктор философии по
техническим наукам**

Д.Р.Мирзоева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Как известно, основной проблемой при работе скважин в осложненных условиях является ухудшение показателей надежности, что в свою очередь сказывается на технико-экономических показателях добычи в целом. На работу насосов оказывают влияние многочисленные факторы, как геологические, так и технические и технологические. Геологические факторы (газ, вода, отложения солей, парафина, мех. примесей и др.) характеризуют в первую очередь пластовые условия. Другая группа факторов - это факторы, связанные с конструкцией скважины или насоса (диаметры эксплуатационных колонн, кривизна скважины, узлы и детали насоса и др.). Для месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, характерна высокая обводненность продукции, содержание в ее составе значительного количества механических примесей, образование в стволе различных органических и неорганических отложений, интенсификация процессов коррозии оборудования и т.д. Эксплуатация скважин в таких условиях сопровождается многочисленными осложнениями.

Создание и внедрение в производство новых технологий воздействия на нефтяной пласт с целью получения высоких технико-экономических показателей разработки месторождений в таких условиях является одной из самых актуальных задач. Для ее успешного решения необходимы широкие целенаправленные исследования по оценке технологической эффективности использования фонда скважин, причин отказов глубиннонасосного оборудования, состава, размеров и свойств мехпримесей. Применяемые в настоящее время традиционные методы анализа информации о работе скважин в ряде случаев, когда приходится принимать решения в условиях неопределённости, не дают желаемого результата, и становятся неприемлемыми. В этой связи проведение исследований в направлении совершенствования методов анализа работы скважин и оценки надёжности глубиннонасосного оборудования приобретает большую актуальность.

Цель работы. Повышение показателей надёжности и эффективности эксплуатации скважин в осложнённых условиях на основе принятия технологических решений с учётом неопределённости.

Основные задачи исследований:

- анализ технологической эффективности эксплуатационных скважин;

- анализ динамики показателей разработки месторождений и надежности глубинных насосов;
- анализ причин отказов различных типов глубинных насосов;
- лабораторные исследования состава мехпримесей в деталях и узлах насосов;
- изучение влияния различных факторов на показатели надежности насосов;
- разработка практических рекомендаций по повышению эффективности работы скважин.

Объекты исследования и фактический материал. Комплексная информация о показателях работы более 200 скважин и характеристиках геологических объектов на месторождениях Каражанбас, Каракудук, Алибекмола, Кумколь (Казахстан) и Балаханы-Сабунчи-Рамана (Азербайджан); технологические процессы, методы и средства, применяемые для исследования динамики показателей работы скважин, характеристик надежности глубинных насосов, а также оказывающие влияние на них факторы.

Методы исследования. В процессе исследований применялись статистические методы обработки данных, корреляционного анализа, методы анализа и принятия решений, метод нечеткого кластер-анализа для классификации объектов.

Научная новизна:

- на основе статистико-нечёткостного анализа показана возможность принятия решения при выборе оптимального количества эксплуатационных скважин по двум критериям: максимума прибыли и степени стабильности использования фондов скважин;
- выполнены исследования по изучению взаимосвязи между причинами отказов и показателями надёжности глубинных насосов с учётом неопределённости;
- построены модели отказов винтовых, штанговых и электроцентробежных насосов при эксплуатации скважин в осложнённых условиях месторождений Казахстана Алибекмола, Каражанбас, Кумколь, Каракудук;
- предложена расчётная схема прогнозирования наработки на отказ насосов на основе анализа динамики.

Основные защищаемые положения:

- методический подход к оценке технологической эффективности и выбора оптимального фонда эксплуатационных скважин;
- расчётная схема прогнозирования наработки на отказ глубинных насосов;
- комплексный анализ состава и размеров мехпримесей, отобранных из скважин месторождений Казахстана; статистические и нечёткие модели соответствия показателей работы глубинных насосов и геолого-технологических факторов.

Практическая ценность и реализация результатов. Предложенные в работе усовершенствованные схемы расчетов и модели позволяют оценить степень стабильности использования и оптимального фонда добывающих скважин, оптимальное количество необходимых для бурения скважин из условия достижения максимальной прибыли и стабильности использования фонда скважин. Результаты исследований позволили рекомендовать мероприятия по повышению показателей эксплуатации и надёжности скважин. Для этого составлены и утверждены в АО "Каражанбасмунай" "Методические рекомендации по оценке и повышению надёжности эксплуатации скважин". Экономический эффект от предложенных мероприятий, обусловленный повышением дебита и межремонтного периода скважин, составил 2,208 млн тенге (200 тенге=1ман), что подтверждается соответствующим документом, прилагаемым к работе.

Достоверность полученных результатов обосновывается и подтверждается использованием большого фактического материала по скважинам и применением методов математической статистики, соответствующих условий и критериев при обработке данных, анализе, оценке полученных зависимостей, а также результатами промысловых наблюдений.

Апробация работы. Основные материалы по диссертационной работе были доложены и обсуждены на научных семинарах секции "Разработка месторождений нефти и газа" Института Геологии НАН Азербайджана (2013) и кафедры "Нефтегазовое дело" Каспийского Государственного Университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова (2012), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли», г.Актау, 2012; V Международной заочной научно-практической конференции молодых

учёных «Актуальные проблемы науки и техники», г.Уфа, 2012; Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», г.Актау, 2013; Международной научно-технической конференции «Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control ICSCCW-2013», г.Измир, 2013; Международной научной конференции «Неньютоновские системы в нефтегазовой отрасли», посвященной 85-летию юбилею А.Х.Мирзаджанзаде, г. Баку, 2013.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 6 материалов международных научных конференций.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников из 100 наименований, изложена на 178 страницах, включая 36 таблиц и 55 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулированы цель, основные задачи исследований, основные защищаемые положения, показана научная новизна, а также изложена практическая ценность диссертационной работы.

В первом разделе рассматривается современное состояние изученности проблемы анализа и повышения надежности работы скважин, обоснованы основные принципы и задачи исследований. Приведён обзор, в котором проанализированы исследования, выполненные на протяжении последних лет различными отечественными и зарубежными исследователями.

Отмечается, что несмотря на то, что в настоящее время наблюдается рост добычи нефти и газа, в разработку и эксплуатацию вводятся всё новые нефтедобывающие районы, обустраиваются нефтяные месторождения, увеличивается протяженность промысловых и магистральных трубопроводов для транспорта нефти, возникают проблемы, связанные с надёжностью нефтепромыслового оборудования, увеличения их межремонтного периода. На повестке дня стоит также проблема защиты оборудования от мехпримесей, что в свою очередь обуславливает важность и актуальность вопроса изучения их состава и свойств (химический состав, гранулометрия, минеральный состав) и в конечном итоге позволит усовершенствовать мероприятия по защи-

те оборудования. Эффективные средства защиты не только увеличивают срок службы оборудования, но и повышают их эксплуатационную надёжность.

Как показал обзор литературных источников, к настоящему времени накопилось большое количество исследований, посвящённых совершенствованию и развитию теории и практики добычи нефти в осложнённых условиях, а именно повышению эксплуатационной надёжности глубиннонасосных установок, анализу динамики показателей добычи, стабильности использования фондов добывающих скважин и др. Разработке и практическому внедрению новых высокоэффективных методов обеспечения надёжности оборудования, в частности, глубиннонасосных установок, стабильности использования фондов скважин предшествовали анализ причин отказов, анализ и оценка параметров надёжности насосных установок.

Следует отметить, что многие проблемы, имеющие место на практике, даже с применением высокоэффективных насосов, полностью решить не удается, что приводит к значительным материальным затратам. Научные и технические разработки, проводимые в академических, отраслевых институтах, вузах, научно-технических комплексах привели к созданию различных методов и методических подходов, позволяющих оценить надёжность оборудования и скважин в целом. Выполненный краткий обзор научной и периодической литературы свидетельствует о большом внимании исследователей к рассматриваемой проблеме. При этом следует отметить исследования причин отказов, анализ состава и свойств мехпримесей, попытки разработки и совершенствования мероприятий по повышению надёжности глубинных насосов и др. Анализ литературных источников подтверждает сложность процессов глубиннонасосной эксплуатации скважин на поздней стадии разработки месторождений. Это обусловлено наличием большого количества взаимосвязанных факторов, а также не поддающихся контролю довольно большого количества технологических и усложняющих нормальную работу скважин параметров, наличием неопределённости, что существенно затрудняет адекватную оценку их влияния на показатели надёжности и эксплуатации скважин, а также принятие решений. В этих направлениях сформировались различные школы, усилиями которых внесён значительный вклад в развитие исследований по оценке и анализу показателей эксплуатации скважин, надёжности оборудования, анализу информации и принятию решений.

В сложившейся ситуации возникла необходимость совершенствования методов анализа и принятия технологических решений для повышения эффективности эксплуатации скважин в осложнённых условиях. Сравнительный анализ выполненных за последние годы исследований показывает, что существующие методы анализа и оценки технологической эффективности скважин, а также надёжности глубинно-насосного оборудования требуют своего совершенствования с учётом сложности условий, вызванной неоднозначностью, неопределённостью вследствие недостаточности исходной информации, многокритериальности и многофакторности. В связи с этим настоящие исследования требуют соответствующей методологической проработки. С методологической точки зрения исследование процессов эксплуатации скважин, как и любое научное исследование, также начинается с выдвижения проблемы, которая в процессе рассмотрения и анализа приводит к возникновению других, и эти в свою очередь порождают всё новые проблемы. В нашем случае такой проблемой является и по сей день представляющая интерес, находящаяся в центре внимания исследователей, проблема использования фонда скважин, оценки надёжности, исследования причин отказов насосов. Ввиду многообразия геолого-технологических условий эксплуатации скважин, различной степени их осложнённости выбор соответствующего оборудования и режима эксплуатации, позволяющих длительное время извлекать определённое количество нефти, существенно затрудняется. Настоящее позволяет на предварительном этапе сформулировать цель научных исследований, вокруг которой необходимо проводить литературный обзор и критический анализ, позволяющий выявить и сформулировать основные задачи исследований, направленных на достижение цели, необходимые для этого методы и методические подходы. В связи с этим нами на основе анализа и обсуждения результатов и условий эксплуатации скважин на месторождениях Казахстана установлена проблема, на которой необходимо сосредоточить внимание, что и определило цель настоящей работы. Стремление к достижению данной цели представляет собой сложный процесс, который имеет свою логическую последовательность решаемых задач, соответствующие этапы и уровни. Методологически настоящие исследования можно рассмотреть в рамках целостной системы со своими элементами, расположенными на различных уровнях, примерная схема которой приведена на рисунке 1.

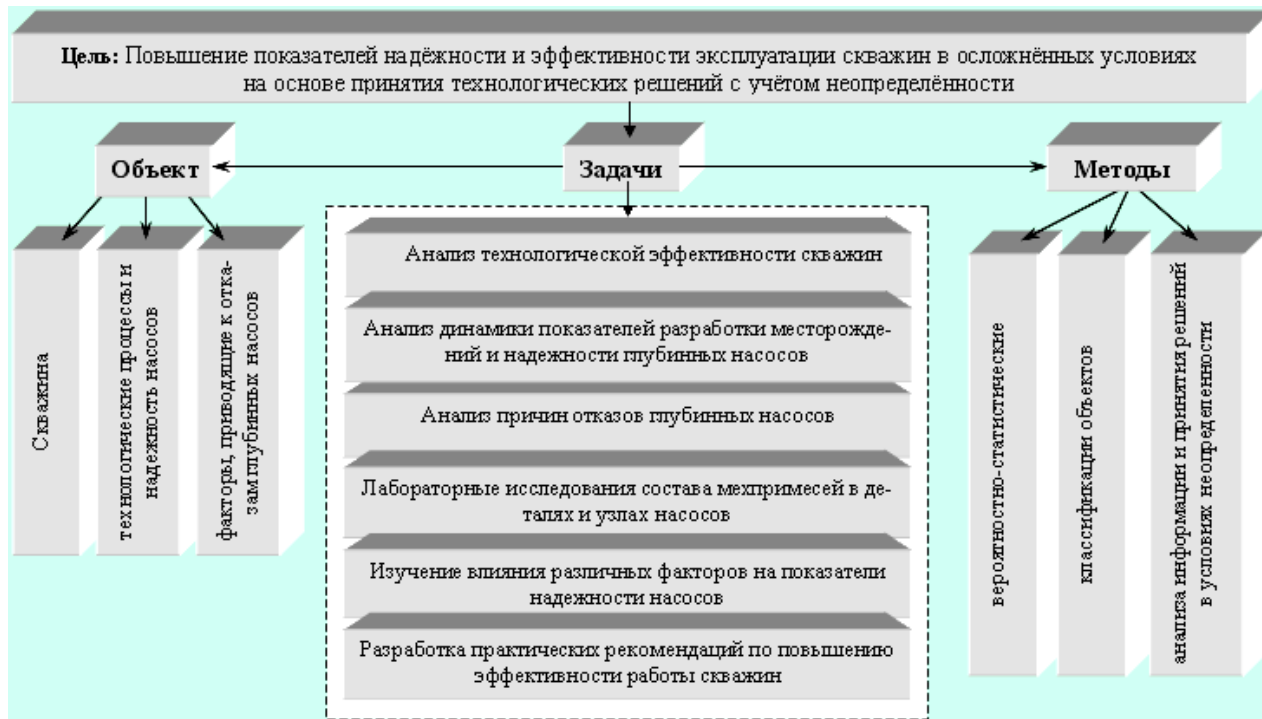


Рис. 1. Структурная схема диссертационной работы.

Как видно из схемы, на каждом уровне применяются различные методы, средства, приемы и принципы. В качестве элементов настоящей системы могут служить: объект исследования; задачи исследований, методы и средства их решения. Исходя из анализа исследований, посвящённых рассматриваемой проблеме, не претендуя на полноту охвата всех имеющихся проблем в нефтедобыче, можно сформулировать основные задачи исследований, на которых необходимо, на наш взгляд, сосредоточить внимание в дальнейших исследованиях.

Во втором разделе приводится краткий анализ текущего состояния разработки месторождений Казахстана. Развитию нефтегазового сектора Казахстана придаётся огромное значение, так как в соответствии с принятой Стратегией развития «Казахстан-2030» нефтегазовый сектор должен стать основой экономического подъёма страны, наиболее активной зоной экономического роста в ближайшей перспективе. Отмеченное обуславливает необходимость проведения глубокого анализа показателей разработки месторождений, существующих техники и технологии.

В связи с этим в настоящем разделе приводятся результаты анализа текущего состояния разработки месторождений, данные по которым отражены в проектах, составленных согласно правилам, приведённым в соответствующих документах (Методические указания по геолого-промысловому анализу разработки нефтяных и газонефтяных месторождений. РД 153-39.0-110-01). Рассмотрение состояния разработки месторождений, обоснование закономерностей извлечения нефти и соответствующих решений по регулированию невозможно без анализа технологических показателей разработки месторождений за предыдущие годы. В связи с этим нами выполнен анализ показателей разработки на примере некоторых месторождений Казахстана, таких, как Каражанбас, Каракудук, Алибекмола, Кумколь.

Наличие различных факторов, их разнообразие и неопределённости разного характера, специфика подземной работы оборудования в переменных условиях продуктивного пласта существенно затрудняют адекватную оценку степени стабильности работы скважин, стабильности использования фонда добывающих скважин. Исходя из этого, в настоящем разделе работы рассматриваются методы, применение которых позволяет производить анализ фонда добывающих скважин и обоснованно оценивать степень стабильности его использования. Реализация комплексного показателя технического состояния

какой-либо совокупности нефтедобывающих скважин, о котором отмечалось выше, основана на использовании коэффициента Джини. Использование такого интегрального параметра, как коэффициент Джини, позволяет количественно охарактеризовать технологическую эффективность фонда добывающих скважин месторождения. Отмеченное многообразие различных факторов, различие в характере и степени их влияния создают трудности, связанные с принятием решений в условиях неопределённости. В связи с этим для оценки оптимального числа скважин решается двухкритериальная задача с применением положений теории нечётких множеств.

В связи с тем, что эксплуатация малодобитных скважин приводит к росту общих затрат на добычу нефти, возникает необходимость оценки оптимального фонда добывающих скважин, минимизирующих общие затраты на добычу нефти.

В одной из работ показаны графики изменения удельной прибыли и коэффициента Джини от числа добывающих скважин и ставится задача определения оптимального фонда скважин, исходя из минимума коэффициента Джини и максимума прибыли. При такой же постановке нами сделана попытка решения данной задачи с помощью подхода, известного из теории нечётких множеств. Вначале в результате статистической обработки для каждого случая скважин в отдельности, оборудованных ЭЦН и ШГН, получены аналитические выражения зависимости отмеченных показателей от числа скважин. Для нахождения оптимального числа скважин, соответствующего максимальному значению удельной прибыли и минимальному значению коэффициента Джини, находим значения функций принадлежности целей и ограничений. В данном случае понятия целей и ограничений отличаются условно, и в качестве цели принимается достижение максимума удельной прибыли при минимальном значении коэффициента Джини (ограничение). Далее производится оценка функций принадлежности, находятся соответствующие аппроксимации зависимостей функции принадлежности от удельной прибыли и коэффициента Джини.

По результатам расчётов находилось оптимальное число скважин. Для этого находится функция принадлежности множества решений как минимальное значение из пары значений функций принадлежности удельной прибыли и коэффициента Джини. Оптимальным будет число скважин, соответствующее максимальному среди этих

минимальных значений. В результате отмеченного анализа промыслового материала по месторождениям Каражанбас, Каракудук, Алибекмола и Кумколь дана оценка стабильности использования действующего фонда добывающих скважин.

Для статистического анализа динамики показателей разработки были использованы данные за 14 лет (1996-2009). Данные за два года 2010, 2011 гг оставлены для проверки прогноза. В результате корреляционного анализа данных о динамике добычи нефти за 14 лет найдено аналитическое выражение данной зависимости, которая имеет следующий вид:

$$Q=38860,09\bar{t}^{2,2}e^{-3,08\bar{t}}, \quad (1)$$

где \bar{t} - нормированное безразмерное время.

Причем, если на месторождении Каражанбас до 2009 г прогнозные значения совпадают с фактическими, то в 2010 и 2011 гг. фактические значения превышают прогнозные. Такое различие наряду с другими причинами связано и с применением различных геологических мероприятий (паротепловая обработка скважин, водоизоляционные работы и другие методы увеличения нефтеотдачи пластов). Аналогичный анализ проводился по месторождениям Каракудук, Алибекмола и Кумколь.

Третий раздел посвящён анализу показателей надежности и причин отказов глубинных насосов. Основной характеристикой надежности нефтепромыслового оборудования является закон распределения времени безотказной работы. По данным эксплуатации скважин, оборудованных ЭЦН, ШГН, и винтовыми насосами, выполнен статистический анализ, построены плотности распределения, функции вероятности безотказной работы, вероятности отказов и интенсивности отказов. Анализ показал, что для всех рассмотренных случаев распределения подчиняются закону распределения Вейбулла (табл.1). В таблице приведены модели отказов ЭЦН, ШГН, и винтовых насосов, используемых при эксплуатации скважин на месторождениях Каражанбас, Кумколь, Каракудук и Алибекмола.

Одними из наиболее эффективных путей снижения сокращения себестоимости добываемой нефти являются уменьшение потерь добычи от простоя скважин и сокращение затрат на подземный ремонт за счет увеличения наработки на отказ глубиннонасосного оборудова-

ния, которая, как известно, является одним из основных показателей, характеризующих технологическую и экономическую эффективность, а также техническое совершенство любого оборудования. При этом большое значение имеет анализ и прогнозирование наработки на отказ, что позволяет наиболее правильно планировать необходимое количество нового оборудования, ремонт соответствующего оборудования и скважин, а также связанные с этим расходы. В связи с этим рассмотрены возможности прогнозирования наработки на примере данных об отказах УЭЦН при их использовании на нефтедобывающих предприятиях Казахстана на основе статистического анализа. Для исследования динамики наработки на отказ нами проанализированы данные о средних наработках на отказ УЭЦН за период 2011-2012гг. Как показывает анализ, по данному предприятию за рассматриваемый период (июнь 2011 – май 2012гг) наблюдалось 49 отказов УЭЦН. Прогнозирование наработки на отказ проводилось с помощью статистического анализа. Для этого вначале по данным о наработках проводился корреляционный анализ с установлением аналитической аппроксимации зависимостей количества отказов,

$$N=5,13t^{0,936}, \quad (2)$$

и отработанного времени за скользящий год от количества отработанных месяцев:

$$T =694,6t^{1,06} \quad (3)$$

В процессе анализа данные были разбиты на три группы. По первой группе данных («обучающий массив») строилась зависимость отмеченных показателей надежности от времени. Затем рассчитываются эти же значения на последующие четыре месяца и производится последовательное уточнение параметров зависимости путем повторного корреляционного анализа. С помощью полученной уточненной зависимости снова производятся расчеты и дается “прогноз” на последующий третий период. Поскольку по данному периоду имеются фактические данные, также имеется возможность сравнения, а также оценки погрешностей.

Таблица 1

Закономерности показателей надежности глубинных насосов

Насос		Месторождение	Распределение	Плотность распределения	Вероятность безотказной работы	Интенсивность отказов
Вид насоса	марка					
ШГН	ShL-57	Каражанбас	Вейбулла	$f(t) = 0,48t \exp\left[-\left(\frac{t}{205,98}\right)^2\right]$	$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{205,98}\right)^2\right]$	$\lambda(t) = 0,48t$
ВН	BMW	Каражанбас	Вейбулла	$f(t) = 0,0036t^{0,1} \exp\left[-\left(\frac{t}{177,06}\right)^{1,1}\right]$	$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{177,06}\right)^{1,1}\right]$	$\lambda(t) = 0,0036t^{0,1}$
ВН	LB	Кумколь	Вейбулла	$f(t) = 0,002t^{0,4} \exp\left[-\left(\frac{t}{106,49}\right)^{1,4}\right]$	$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{106,49}\right)^{1,4}\right]$	$\lambda(t) = 0,002t^{0,4}$
ЭЦН	ЭЦН59-1200	Кумколь	Вейбулла	$f(t) = 0,0016t^{0,2} \exp\left[-\left(\frac{t}{243,8}\right)^{1,2}\right]$	$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{243,8}\right)^{1,2}\right]$	$\lambda(t) = 0,0016t^{0,2}$
ЭЦН	ЭЦНКИ 5-60-2700	Алибекмола	Вейбулла	$f(t) = 0,0005t^{0,55} \exp\left[-\left(\frac{t}{174,4}\right)^{1,55}\right]$	$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{242,5}\right)^{1,35}\right]$	$\lambda(t) = 0,0005t^{0,55}$
ЭЦН	ЭЦ-НДИК 5-45-1700	Каракудук	Вейбулла	$f(t) = 0,0003t^{0,4} \exp\left[-\left(\frac{t}{404,84}\right)^{1,4}\right]$	$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{404,84}\right)^{1,4}\right]$	$\lambda(t) = 0,0003t^{0,4}$

Важным представляется анализ причин отказов глубиннонасосного оборудования. Причину отказов следует искать в условиях эксплуатации оборудования глубинных насосов и в качестве самого оборудования. В скважине насос находится под воздействием многих факторов, отрицательно влияющих на его работу. Как правило, это такие факторы, как пространственная кривизна ствола скважины; угол наклона участка спуска насоса; высокая концентрация механических примесей; повышенное содержание свободного газа на приеме насоса и еще целый ряд других неблагоприятных факторов. Они объединены в три группы.

Первую составляют геологические факторы - наличие в продукции свободного газа, наличие механических примесей, обводненность продукции скважины и свойства нефти. Во вторую группу вошли факторы, обуславливающие технологический режим эксплуатации скважины: глубина спуска насоса, динамический уровень и погружение под динамический уровень. В третью группу отнесены параметры, характеризующие конструктивные особенности скважины и скважинного оборудования. В процессе глубиннонасосной эксплуатации скважин основные осложняющие факторы действуют на аварийные отказы оборудования порознь и совокупности. В связи с вышесказанным нами проводился анализ результатов работы глубиннонасосного оборудования на месторождениях Каракудук, Кумколь, Каражанбас, Алибекмола с целью установления их причин отказов. На местах эксплуатации проводились наблюдения и регистрировались параметры работы скважин и причины отказов ГНО. Как показали наблюдения, на отмеченных месторождениях эксплуатация производилась электроцентробежными насосами (месторождения Каракудук, Кумколь и Алибекмола), винтовыми глубинными насосами (месторождения Каражанбас и Кумколь), штанговыми глубинными насосами (месторождения Каражанбас и Кумколь). Сравнительный анализ показывает, что преимущества и недостатки винтовых насосов с поверхностным приводом во многом повторяют те, которые имеют место для штанговых и электроцентробежных насосов. Основную часть причин отказов винтовых и трубных насосов на месторождении Каражанбас занимают коррозия-износ – 48%, забивание песком -26%, пропуск клапанов – 24%, соответственно (рис. 2, а). На месторождении Каракудук динамика отказов УЭЦН за текущий год по причине влияния механических примесей положительная, однако составляет практически половину (47%) от общего числа отказов УЭЦН с наработкой до 365 суток. В ос-

новном, к отказам УЭЦН относятся отказы по причине выхода из строя ЭЦН и кабеля вследствие засорения рабочих органов и забивания фильтров механическими примесями.

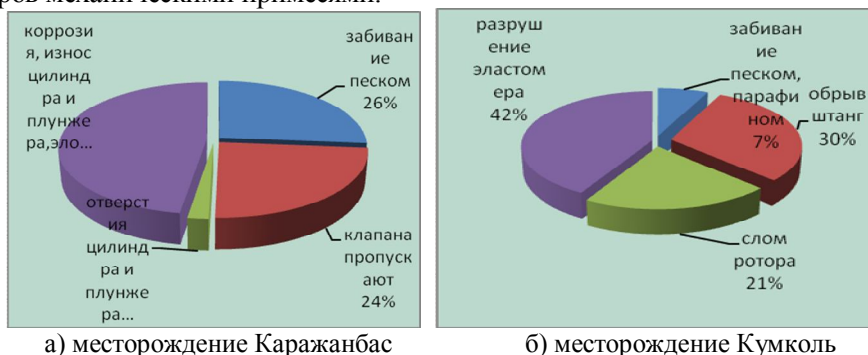


Рис. 2. Распределение отказов винтовых и трубных насосов в процентном соотношении по их причинам

Это связано с тем, что нефтенасыщенные пласты на месторождении Каражанбас отличаются слабосцементированными песчаниками, которые выносятся в большом количестве во время эксплуатации и приводят к забиванию песком подземных насосов и их скоровременному износу (эрозии) клапанов и других частей ШГН. Это явление чаще встречается на скважинах после освоения и на скважинах, расположенных в зонах низкого давления. Местами показатели по выносу песка из скважин доходят до 10% от объема продукции. Аналогичная картина наблюдается и по отказам винтовых насосов на месторождении Кумколь (рис. 2,б), то есть, основная роль отводится механическому разрушению оборудования (разрушение эластомера -42%, обрыв штанг – 30%,слом ротора – 21%, забивание песком, парафином – 7%).

Как известно, основной проблемой при работе скважин в осложненных условиях является ухудшение показателей надежности, что в свою очередь сказывается на технико-экономических показателях в целом. Для оценки изменения параметров работы насоса в литературе предлагается использование коэффициента подачи и межремонтного периода работы. Коэффициент подачи зависит от величины утечек жидкости, возникающих при его работе, таких, как утечки в резьбовых соединениях труб, зазорах между плунжером и цилиндром, клапанах. С целью установления влияния факторов, обу-

словливающих причины отказов насосов, на показатели эффективности их работы, нами выполнен анализ информации о геолого-технологических характеристиках условий эксплуатации, который показал невозможность построения в данном случае статистических зависимостей ввиду ее недостаточности. В последнее время широкое распространение находят методы принятия решений в условиях неопределенности. Одними из таких методов являются методы нечеткой классификации. Для установления взаимосвязи между показателями эффективности насоса и соответствующими факторами, характеризующими условия эксплуатации скважин, нами произведена классификация условий эксплуатации по нескольким признакам с применением программы нечеткого кластер-анализа. В качестве признаков, по которым производилась кластеризация, выбраны: обводненность, дебит жидкости, содержание мехпримесей и коэффициент продуктивности (входные переменные) по месторождению Каражанбас, в качестве выходных переменных приняты межремонтный период и коэффициент подачи. В результате реализации отмеченной программы получены 4 однородных группы данных-кластеров.

Выполненный кластер-анализ позволяет дать качественную оценку влияния отмеченных факторов на показатели эффективности насосов. Для выбора наиболее эффективного способа защиты от механических примесей необходимо иметь представление о структуре и происхождении осадков, количественном составе и размерах составляющих их частиц. В связи с этим нами выполнен анализ механических примесей, отобранных из скважин месторождений Каракудук, Каражанбас и Кумколь. Проведены исследования выделенных из образца твердых включений рентгеноструктурным методом с помощью рентгеновского дифрактометра общего назначения Rigaku Miniflex-600. Данные исследования проводились в аналитическом центре Института геологии НАН Азербайджана. В связи с тем, что образцы отобраны из различных горизонтов, картина на дифрактограмме различная, т.е. по своему составу мехпримеси отличаются. Так, идентификация пиков на дифрактограмме, полученной при исследовании некоторых образцов, отобранных из горизонтов Ю-1 и Ю-1/Ю-2 месторождения Каракудук, с данными из рентгенометрической картотеки позволяет предположить, что исследуемый образец, в основном, представлен по составу таким образом, что невозможно в данном случае указать на преимущественное наличие каких-либо соединений. Отсутствие ярко выраженных пиков, плавный,

монотонный характер дифрактограммы для этих образцов, указывают на наличие в образце, рентгеноаморфного вещества с достаточно большим количеством соединений железа. Однако пики на дифрактограмме, полученной при исследовании других образцов месторождения Каракудук, показали наличие в мехпримесях в большинстве своём хлоридов, в частности, хлористого натрия (NaCl), гидрата хлорида магния ($\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), хлорида кальция ($\text{Ca}(\text{ClO}_2)_2$), а также оксидов кальция, стронция, алюминия. Основной компонент пробы из месторождения Кумколь – магнезиальный кальцит (80%), 3–4% кварца, а также аморфное составляющее (вулканический пепел). Подавляющее большинство исследованного образца из месторождения Каражанбас – хлористый натрий (NaCl), однако здесь замечается небольшое количество такого хлорида, как тахигидрат ($\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), немного глины. С помощью растрового электронного микроскопа JEOL получены изображения поверхности материала образцов с большим разрешением, а также выполнено фрагментарное сканирование выделенных из образцов твёрдых включений. В целом, твёрдые включения в объёме осадка на рабочих органах ГНО характеризуются сложным составом.

Свойства осадка, как известно, определяются совокупностью множества физико-химических факторов, связанных с геологическими условиями залегания нефти, техногенными явлениями и особенностями эксплуатации месторождения. Наличие в пробах карбонатных и сульфатных солей кальция, а также хлоридов обусловлено, главным образом, химическим составом попутной воды и растворённого газа. Главным источником солей является вода, добываемая совместно с нефтью. В этой связи процессу солеотложения подвержены скважины и наземное оборудование, эксплуатирующееся в условиях обводнения добываемой продукции. Отложения хлорида натрия при добыче нефти встречаются на месторождениях, где залежи нефти контактируют с высокоминерализованными рассолами. При выводе скважины на режим после глушения также возможно интенсивное солеобразование. В начальный момент вывода, при преобладании в смеси раствора глушения над пластовой водой, интенсивность осадкообразования небольшая. Увеличение содержания пластовой воды в смеси способствует осадкообразованию.

С целью оценки диаметра частиц мехпримесей нами проводились исследования с использованием прибора «Master Sizer 2000» фирмы Малверн. В результате наблюдений получены распределения

частиц, которые показывают концентрацию фракций различных размеров. А значение размера частиц определялось как средневзвешенное по их процентному содержанию. Таким образом, комплексный анализ состава и размеров частиц мехпримесей показал наличие отложений различной природы и размеров частиц, приводящих к коррозионному и механическому износу деталей глубиннонасосного оборудования.

В четвёртом разделе приводятся результаты анализа комплексной геолого-технологической информации об эксплуатации скважин и принятия решений на примере месторождений Каражанбас (Казахстан) и Балаханы-Сабунчи-Рамана (Азербайджан). Построены модели отказов, показано, что и в данном случае распределения подчиняются закону Вейбулла. В результате статистического анализа для каждого горизонта построены множественные уравнения, выражающие зависимость межремонтного периода и дебита нефти от геологических и технологических факторов. Показаны пути принятия решений по определению оптимальных технологических параметров, исходя из цели обеспечения максимальных значений межремонтного периода и дебита нефти с применением положений теории нечётких множеств. Для этого рассчитывались функции принадлежности множеств значений межремонтного периода, дебита нефти, а также множества решений. Построены зависимости межремонтного периода и интенсивности отказов от факторов, характеризующих геологические условия и технологию, для месторождения в целом. Дана оценка степени влияния каждого фактора и построены трёхмерные модели, выражающие зависимость межремонтного периода и интенсивности отказов от наиболее значимых признаков. По результатам проведённого анализа рассчитаны оптимальные значения технологических параметров.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что показатель стабильности работы скважинного насоса является важным параметром, который позволяет оперативно воздействовать на процесс и принимать оптимальное решение при работе с действующим фондом.
2. Предложена усовершенствованная схема расчёта оптимального количества скважин, обеспечивающего высокие прибыль и степень стабильности использования фондов, основанная на применении положений теории нечетких множеств.

3. Выполнен анализ параметров надежности насосов по закону распределения Вейбулла, рассчитаны его параметры, выполнена оценка теоретической плотности вероятностей отказа и безотказной работы, а также интенсивности отказов.
4. Предложена расчетная схема и последовательность ее выполнения, на основе чего разработан новый подход к прогнозированию наработки на отказ.
5. С использованием нечеткого кластер-анализа рассмотрены основные причины отказов скважинных насосов, установлены факторы, оказывающие влияние на эффективность их работы в условиях неопределенности.
6. Выполнен комплексный анализ химического состава и размеров частиц мехпримесей из продукции добывающих скважин, который показал наличие отложений различной природы и размеров частиц. Эти сведения могут быть полезными при разработке соответствующих мероприятий в борьбе с изнашиванием рабочих органов насосов.
7. Выполнены анализ распределения времени безотказной работы и оценка параметров надежности скважин, эксплуатируемых в различных условиях. Получены множественные корреляционные уравнения зависимости интенсивности отказов и межремонтного периода скважин от различных технико-технологических и геологических факторов. Построены трёхмерные модели, показывающие изменение параметров надёжности под влиянием наиболее значимых факторов.

Показаны пути принятия технологических решений по двум критериям для отдельных рассматриваемых геологических условий, выданы рекомендации, которые приняты нефтегазодобывающими организациями для внедрения. Экономический эффект от внедрения предложений в АО "Каражанбасмунай", обусловленный повышением межремонтного периода и увеличением дебита нефти, составил около 2,2 млн тенге (1 ман=200 тенге).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Анализ и оценка технологической эффективности фонда добывающих скважин месторождения Жетыбай. Журнал «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса», ВНИИОЭНГ, Москва, №1, 2013, с. 59-62.
2. Оценка влияния условий эксплуатации на параметры надежности работы скважин. Журнал «Нефтепромысловое дело», г. Москва, №5, 2013, с. 29-33. (в соавторстве с А.С.Стрековым, Г.М.Эфендиевым).
3. Прогнозирование наработки на основе статистического анализа данных об отказах УЭЦН. Журнал “Управление качеством в нефтегазовом комплексе”, Москва, №1, 2013, с. 38-40. (в соавторстве с Г.М.Эфендиевым).
4. Оценка эффективности работы добывающих скважин и принятие решений в условиях неопределённости. Известия НАН Азербайджана, Науки о земле, №4, 2012, (в соавторстве с А.С.Стрековым, Г.М.Эфендиевым).
5. Анализ технологических показателей и оценка технического состояния скважин месторождения Каракудук. Журнал «Азербайджанское нефтяное хозяйство», №7-8, 2013 г., г.Баку (в соавторстве с Л.К.Нуршахановой, А.Т.Алимбетовой).
6. Анализ динамики технологических показателей разработки месторождения Каражанбас. Журнал «Азербайджанское нефтяное хозяйство», № 9, 2013, г. Баку, (в соавторстве с А.С.Стрековым, Л.К.Нуршахановой).
7. Комплексная оценка состояния фонда скважин месторождения Жетыбай. Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли» Алматы, ТОО“АкШагыл”, 2012, (в соавторстве с Г.М.Эфендиевым).
8. Анализ и оценка технологической эффективности фонда добывающих скважин на некоторых месторождениях Казахстана. Сборник трудов V Международной заочной научно-практической конференции молодых учёных – «Актуальные проблемы науки и техники» - Уфа, 2012, (в соавторстве с Л.К.Нуршахановой, Г.К.Садуевой).
9. Анализ характеристик надежности и прогнозирование наработки на отказ установок электроцентробежных насосов. Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», 2013, с. 258-261. (в соавторстве с Г.С.Сабырбаевой, Г.М.Эфендиевым).
10. Application of the fuzzy set theory in analyzing and selection of optimum number of producing wells. Материалы Международной научно-технической конференции «Seventh International Conference on Soft Compu-

ting, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control ICSCCW-2013», г.Измир.

11. Исследование условий эксплуатации и оценка влияния их на параметры надежности работы скважин. Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», 2013, с. 226-232. (в соавторстве с А.С.Стрековым, Г.М.Эфендиевым, Г.С.Сабырбаевой).
12. Анализ состава и структуры неорганических отложений в рабочих органах электроцентробежных насосов. Материалы Международной научной конференции «Неньютоновские системы в нефтегазовой отрасли», посвященной 85-летию юбилею А.Х.Мирзаджанзаде, (в соавторстве с Г.М.Эфендиевым).
13. Метод кратковременной эксплуатации (КЭС) скважин, оборудованных УЭЦН. Журнал «Поиск», №3, 2011, Алматы.
14. Об осложнениях, возникающих при кратковременной эксплуатации скважин, оборудованных УЭЦН. Журнал «Поиск», Алматы, №2, 2012, с. 174-178. (в соавторстве с А.А.Бекбаулиевой).
15. Защитные свойства пленок, образующихся на поверхности катодно-защищенных трубопроводов. Журнал «Поиск», Алматы, №2, 2012, с. 178-184. (в соавторстве с А.А.Бекбаулиевой).
16. Взаимосвязь между составом и условиями образования механических примесей, приводящих к отказам электроцентробежных насосов. Известия НАНА, №1-2, 2014, с. 72-76. (в соавторстве с Г.М.Эфендиевым, А.С.Амировым, Т.М.Кадыровой).

Личный вклад соискателя

[1], [10], [13]-выполнены самостоятельно; [2]-участие в обсуждении и постановке задачи, проведение расчётов; [3], [4], [5], [6]-участие в обсуждении и постановке задачи, составлении расчётной схемы, выполнение расчётов; [7], [8], [9]- участие в обсуждении и постановке задачи, проведение расчётов; [11]-статистическая обработка данных; [12]-анализ результатов лабораторных исследований; [14]-постановка задачи и участие в обсуждении результатов; [15]-участие в постановке задачи и обсуждении результатов.



Karajanova Maral Koylibayevna

NASOS AVADANLIQLARININ ETİBARLILIĞININ TƏHLİLİ VƏ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ƏSASINDA QUYULARIN İŞİNİN TEXNİKİ-İQTİSADİ GÖSTƏRİCİLƏRİNİN ARTIRILMASI

XÜLASƏ

Məlum olduğu kimi, quyuların mürəkkəbləşmiş istismarı zamanı əsas problemlərdən biri onların etibarlılıq göstəricilərinin pisləşməsidir ki, bu da öz növbəsində texniki-iqtisadi göstəricilərə təsir edir. Nasosun işinə bir neçə amil təsir edir, belə ki, bunlar geoloji, texniki, texnoloji amillərdir. Son işlənmə mərhələsində olan yataqlara yüksək sulaşma xas olur və bu zaman məhsulun tərkibində çoxlu mexaniki qarışıqlar əmələ gəlir, müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi çöküntülər yaranır avadanlıqda korroziya baş verir. Həmin şəraitdə quyuların istismarı çətinləşir. Hal-hazırda tətbiq olunan ənənəvi üsullar bir sıra hallarda, xüsusən, qeyri-müəyyənlik şəraitində qərar qəbul etmək zərurəti ilə qarşılaşdıqda, lazımı nəticə vermir. Bununla əlaqədar quyuların işinin təhlili və avadanlığın etibarlılığının qiymətləndirilməsi üsullarının təkmilləşdirilməsi aktual məsələ kimi əhəmiyyət kəsb edir.

"Qeyri-müəyyənlik nəzərə alınmaqla texnoloji qərarların qəbulu əsasında mürəkkəbləşmiş şəraitdə quyuların istismarının etibarlılıq və effektivlik göstəricilərinin artırılması" məqsədini nəzərdə tutan dissertasiya işi giriş hissəsi, dörd fəsil, nənbəcələr, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı, əlavələrdən ibarətdir.

Birinci fəsildə baxılan problemə həsr olunmuş işlərin icmalı əsasında işin məqsədi, qarşıya çıxan məsələlər əsaslandırılır.

İkinci fəsildə Qazaxıstanın bir neçə yataqları timsalında işlənmənin cari vəziyyəti, quyu fondundan istifadə olunma stabilliyi, göstəricilərin dinamikası təhlil olunur.

Üçüncü fəsil dərinlik nasos avadanlığının etibarlılıq göstəricilərinin və nasoslarda toplanan mexaniki qarışıqların xüsusiyyətlərinin təhlilinə həsr olunmuşdur. Müxtəlif nasosların, müxtəlif şəraitdə işlədikdə etibarlılıq göstəriciləri hesablanmışdır.

Dördüncü fəsildə quyuların istismar göstəricilərinin statistik təhlili əsasında qeyri səlis yanaşmadan istifadə olunmaqla qərarların qəbul edilməsi yolları və onların tətbiqi üçün təkliflər göstərilir.

Karazhanova Maral Koilybaevna

**INCREASE OF TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE
OF THE WELLS BASED ON THE ANALYSIS AND EVALUATION
OF THE RELIABILITY OF PUMPING EQUIPMENT**

SUMMARY

As it is known, the main problem of working wells is deteriorating reliability in the complicated conditions, which in its turn, generally, affects on the technical and economic indicators of production. Numerous factors, such as geological as well as technical and technological factors have an impact on the pumps. Oilfields in the late stage of production are characterized by a high water cut, considerable amount of mechanical impurities in it, formation of various organic and inorganic sediments in the borehole, intensification of corrosion of equipment, etc. Operation of well is accompanied by many complications in such conditions.

Currently used traditional methods of information analysis on the operation of well in the case of decision-making under uncertainty do not give the desired result, and becomes unacceptable. In this regard, conducting research towards improving the methods of analysis of the wells and assessing the reliability of downhole equipment becomes increasingly important. Dissertation work, which aims to increase reliability and efficiency of well operation in the complicated conditions based on technological solutions taking into account the uncertainty, consists of an introduction, four chapters, conclusion and recommendations, bibliography and appendices. The first chapter is devoted to analysis of the research, with the result that substantiates the urgency of the problem, are formulated goal and the main research problems. The second chapter presents an analysis of the current state of field development. The analysis of the development parameters for an example of some fields in Kazakhstan, such as Karajanbas, Karakuduk, Alibekmola have been completed. The third chapter presents the results of analysis and evaluation of the reliability of pumping equipment that use in the well operation. The reliability indicators of various pumps have been calculated in different conditions. The fourth chapter is devoted to the statistical analysis of the influence of various factors on the indexes of well operation and decision-making.

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
GEOLOGİYA VƏ GEOFİZİKA İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

KARAJANOVA MARAL KOYLIBAYEVNA

**NASOS AVADANLIQLARININ ETİBARLILIĞININ TƏHLİLİ VƏ
QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ƏSASINDA QUYULARIN İŞİNİN
TEXNİKİ-İQTİSADI GÖSTƏRİCİLƏRİNİN ARTIRILMASI**

İxtisas: 2525.01 – Neft və qaz yataqlarının işlənməsi

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKI – 2014