

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D070700 – Горное дело

**Токтамисова Салтанат Махмутовна**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТКАЧНЫХ СКВАЖИН УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК**

**Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технической проблемы (задачи).** В Республике Казахстан разработка урановых месторождений ведется преимущественно способом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Это связано с тем, что месторождения сложены пористыми породами с хорошей проницаемостью. Продуктивные горизонты расположены на глубине от нескольких десятков до нескольких сотен метров, что требует использования оборудования с широким диапазоном возможностей. В пласт по закачным скважинам нагнетается раствор серной кислоты, который выщелачивает уран. Продуктивный раствор, обогащенный ураном, откачивается погружными насосами из откачных скважин и отправляется на переработку.

В технологии добычи урана методом ПСВ широкое распространение получили установки электроцентробежных насосов (УЭЦН), которыми оборудованы весь фонд откачных скважин. Это было обусловлено их преимуществами - высокая производительность и напор, удобство автоматизации и управления, компактность и прочее.

Однако, опыт эксплуатации скважин погружными ЭЦН на месторождениях урана в РК выявил ряд проблем, требующих своего решения – высокие энергозатраты на единицу добываемой продукции и недостаточная надежность элементов проточной части насосов.

Так, опыт эксплуатации откачных скважин с погружными ЭЦН на месторождении урана «Хорасан-2» показывает, что эксплуатация погружных электроцентробежных насосов является одним из самых энергоемких производств и вопрос повышения их энергоэффективности является одним из приоритетных задач производства.

Имеются и другие сопутствующие проблемы, в частности - высокий износ деталей проточных частей насоса из-за механических примесей в откачиваемом продуктивном растворе и частые неисправности электропривода насосов. Применение же различных скважинных фильтров не полностью решает проблему износа элементов проточной части насосов.

Недостаточный ресурс работы оборудования приводит к необходимости снижения допустимых нагрузок и частому проведению ремонтных работ. Все это приводит к росту накладных расходов на их эксплуатацию, обслуживание и ремонт, а также росту простоев скважин для

проведения подземного ремонта по замене насоса. В конечном итоге, это сказывается и на себестоимости продукции.

**Основание и исходные данные для разработки темы диссертационной работы.** В современных конструкциях ЭЦН достигнуты максимально возможные показатели, и дальнейшее кардинальное повышение их эффективности в ближайшей перспективе не предвидится.

Тем не менее, исследования последних лет показали, что одним из способов расширения их функциональных возможностей может быть комбинация ЭЦН со струйными аппаратами – так называемые комбинированные насосные установки (КНУ). При этом, струйный насос призван увеличить общий КПД и производительность всей комбинированной системы за счет подкачки дополнительного объема жидкости из затрубного пространства.

В связи с этим в последние годы возрос интерес к разработке новых конструкций струйных насосов и их применению в технологических процессах и практике скважинной добычи жидкостей. К их преимуществам относятся простота конструкции, отсутствие подвижных деталей, высокая надежность, малые габариты, большая производительность. Особенно эти преимущества струйных насосов проявляются в осложненных условиях эксплуатации, например, при добыче пластовой жидкости с большим содержанием механических примесей, коррозионно-активных веществ и из наклонно-направленных скважин.

Другим немаловажным преимуществом является автоматическая подстройка комбинированных насосных установок при изменении условий эксплуатации скважин (изменение пластового давления и динамического уровня в скважине, свойств продукции, продуктивности скважин и др.).

Расчет работы струйного насоса в скважинных условиях достаточно сложен и требует учета множества факторов. Многообразие процессов с использованием эжекционных систем обусловило разработку большого количества методик расчета, требующих численного решения из-за их сложности в условиях отсутствия нормативных документов, регламентирующих типы и параметры струйных аппаратов.

Большинство этих методик рассматривают частные случаи их применения и содержат большое количество эмпирических коэффициентов, ограничивающих их широкое применение.

В качестве исходных данных для проведения настоящих исследований использован опыт применения тандемных насосных установок (ТНУ) в нефтяной промышленности, а также результаты эксплуатации погружных насосов на одном из крупных и перспективных месторождений РК «Хорасан-2», на котором остро стоит вопрос повышения энергоэффективности и надежности электронасосного оборудования скважин.

**Актуальность темы диссертационной работы.** Казахстан является крупнейшим поставщиком уранового сырья на мировые рынки и развитие работ в области интенсификации добычи с одновременным повышением

энергоэффективности процесса является важным и своевременным направлением исследований.

Применяемые на месторождениях погружные ЭЦН, уже не удовлетворяют требованиям энергоэффективности и надежности из-за многообразия внутрискважинных условий эксплуатации (постоянно меняющиеся условия в продуктивном пласте и динамические уровни жидкостей, высокая агрессивность откачиваемой жидкости, высокое содержание механических примесей и пр.). Поэтому, остро назрела необходимость поиска альтернативных способов откачки продуктивных растворов и совершенствования энергоэффективных показателей скважинных насосных установок.

Так как основная доля себестоимости продукции складывается из затрат на электроэнергию и подземный ремонт скважин, весьма важным является оптимальный подбор насосов и технологического режима работы не только отдельной скважины, но и в целом на блоке откачных скважин. Как показывает практика, оптимизация работы насосного фонда является существенным резервом повышения технико-экономических показателей эксплуатации.

Оптимизация подразумевает согласованное сочетание элементов системы «продуктивный пласт – скважина – насосная установка», причем, основным критерием должна быть минимизация себестоимости продукции.

Проведенный анализ по оценке эффективности и надежности глубинно-насосного оборудования (ГНО) на откачных скважинах ряда месторождений урана показал, что дальнейшего повышения эффективности погружных электронасосов можно добиться путем сочленения их со струйными насосами. Это позволит увеличить суммарную подачу насосной установки, существенно расширить диапазон регулирования режима работы ЭЦН или использовать насос с меньшей подачей. Важно и то, что при повышенном содержании механических примесей в скважинной жидкости часть ее будет проходить через струйный насос, минуя ЭЦН, что также будет способствовать повышению его ресурса работы.

Таким образом, тема настоящих диссертационных исследований вызвана актуальностью проблемы повышения энергоэффективности и надежности ГНО в технологии ПСВ и имеет прикладное значение.

**Цель работы** - исследование и совершенствование энергоэффективности процесса откачки продуктивных растворов применением комбинированных насосных установок.

**Объект и предмет исследования.** В качестве объекта исследования выбрана комбинированная насосная установка состоящая из струйного насоса в составе погружного ЭЦН компании «Grundfos», который широко применяется для откачки продуктивных растворов урана в технологии ПСВ.

Предметом исследования является оптимизация конструктивных параметров струйного насоса и режимов его работы совместно с ЭЦН для повышения энергоэффективности процесса откачки продуктивного раствора.

**Задачи исследования.** В соответствии с поставленной целью в данной работе предусмотрено решение следующих задач:

- сбор, анализ и обобщение материалов по практическому применению тандемных насосных установок (ТНУ) в промышленности;
- обоснование модели гидроструйного насоса и режимов работы комбинированной насосной установки (КНУ) в откачных скважинах при ПСВ урана;
- анализ существующих методик расчета и проектирования СНУ;
- выбор и обоснование исходных параметров и разработка методики расчетного моделирования режимов работы СН в комбинации с ЭЦН в системе «продуктивный пласт – скважина – насосная установка», позволяющая установить рациональные конструктивные параметры его элементов для обеспечения оптимального значения коэффициента эжекции и бескавитационной работы;
- проведение расчетно-экспериментальных исследований режимов работы виртуальной модели КНУ с имитацией скважинных условий с применением компьютерного моделирования;
- обоснование и выбор конструкции высоконапорных сопел и элементов СН для КНУ. Оценка его эффективности в стендовых условиях;
- техническая проработка и изготовление действующей модели СН и испытательного стенда с комплектом КИП для испытаний КНУ с имитацией скважинных условий;
- проведение стендовых испытаний СН в составе КНУ с оценкой его эффективности и проверкой адекватности методики имитации скважинных условий;
- анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований с уточнением параметров методики расчетного моделирования режимов работы СН в скважинных условиях и разработкой практических рекомендаций по проектированию и изготовлению промышленных конструкций СН.

**Методы исследования.** Методологической основой диссертации являются аналитические и расчетно-экспериментальные исследования на основе фундаментальных законов гидравлики и гидромеханики жидкостей, базирующихся на основе уравнения Бернулли.

В качестве основных методов использовались: математическое моделирование с применением прикладных компьютерных программ и сравнение их результатов с результатами стендовых экспериментальных исследований на натурной установке.

**Основные научные положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения:

1. Повышение энергоэффективности погружных насосов на откачных скважинах возможно достичь применением комбинированных насосных установок (ЭЦН+струйный насос), что позволяет добиться рационального режима откачки продуктивного раствора при повышении в среднем подачи на 25% и повышении общего КПД на 8-10%.

2. Методика расчетного моделирования режимов работы КНУ в скважинных условиях в системе «продуктивный пласт – скважина - насос» и результаты комплексных теоретических и экспериментальных исследований по проверке его достоверности.

3. Рекомендации по практическому применению методики расчетного моделирования и проектированию скважинных струйных насосов для повышения энергоэффективности глубинно-насосного оборудования скважин в технологии добычи урана.

#### **Научная новизна работы:**

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что применение комбинированной насосной установки в откачных скважинах для добычи урана методом ПСВ позволяет добиться рационального режима откачки продуктивного раствора с повышением подачи в среднем на 25% и повышением общего КПД на 8-10%.

2. Разработана оригинальная методика расчетного моделирования режимов работы тандемной насосной установки в скважинных условиях в системе «продуктивный пласт – скважина – насос», позволяющая с достаточной для практического применения точностью определять рациональную глубину его погружения под динамический уровень жидкости в скважине и конструктивные параметры основных элементов струйного насоса для обеспечения оптимальных режимов работы КНУ.

3. Расчетно-экспериментальными исследованиями установлено существенное влияние профиля и чистоты рабочей поверхности высоконапорного сопла на формирование профиля струи и потери энергии рабочей жидкости и его взаимное положение относительно камеры смешения.

#### **Практическая значимость исследования:**

1. Теоретически и экспериментально подтверждена практическая возможность применения КНУ (ЭЦН+СН) для откачки продуктивных растворов урана из скважин в технологии ПСВ.

2. Для практического применения разработана математическая модель работы СН в составе ЭЦН, позволяющая на практике определять рациональные конструктивные параметры СН для состыковки с ЭЦН, глубину погружения КНУ под динамический уровень жидкости в скважине и оценить его эксплуатационно-технические показатели для конкретных скважинных условий эксплуатации.

3. Разработан и создан оригинальный экспериментальный стенд с интеллектуальной станцией управления (SCADA) для испытаний КНУ с имитацией реальных скважинных условий.

4. Разработаны практические рекомендации по проектированию промышленных конструкций скважинных вариантов струйного насоса для работы в тандеме с ЭЦН.

**Апробация работы.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались на международных научно-практических конференциях (в том числе, и дальнем зарубежье) и семинарах кафедры.

К результатам проведенных исследований проявили интерес подразделения НАК «Казатомпром» (АО «Волковгеология») и они могут служить заделом для проведения совместных НИР на договорной основе.

Результаты работ доложены и обсуждены на НТС компании НАК «Казатомпром» и опубликованы в совместном с ними научном докладе на IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» в ноябре 2019 в г. Алматы.

**Публикации.** За период выполнения работы опубликовано 10 научных статей и докладов, в том числе: 2 статьи - в рецензируемых изданиях, рекомендованных ККСОН; 4 статьи - в международных научных журналах с квартилем Q2 и Q3, входящие в базу данных Scopus; 4 доклада - на международных конференциях, в т.ч. 1 доклад в зарубежной международной конференции.

Также, получено 2 патента РК на полезную модель и 1 патент РК на изобретение; издано учебное пособие «Струйные и тандемные насосные установки» объемом 9 п.л. для использования в учебном процессе при подготовке магистрантов и докторантов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и приложений.

Объем диссертации составляет 126 страниц машинопечатного текста, 16 таблиц, 67 рисунков, 57 списка литературы.