



Установки погружных электроприводных лопастных насосов в России: история создания, этапы развития, теория и практика применения

УДК 621.65

Ш.Р. АГЕЕВ,
заведующий отделом
прикладной гидродинамики
ageev@okbnn.ru

Е.Ю. ДРУЖИНИН,
заведующий сектором
гидродинамики
druzhinin@okbnn.ru

М.Д. КРЮЧКОВА,
инженер-конструктор
kruchkova@okbnn.ru

ОП «ОКБ БН Коннас»
г. Москва, 115201, РФ

Sh.R. AGEEV,
E.Yu. DRUZHININ,
M.D. KRYUCHKOVA

«Novomet-Perm» JSC
Moscow, 115201,
Russian Federation

Oil is one of the most important minerals for humanity. Approximately more than 830 thousand wells in the world are operated by mechanized methods of oil production, of which 14% are occupied by electric submersible vane pumps (UELP). The method of oil production by ESVP units for Russia is the predominant method. In the 1980s, Russia produced 600 million tons of oil annually, in the 2010s - 500 million tons of oil. Over the past 5 years, ESVP units have produced 81 % of all oil from all wells operated in Russia.

Keywords: electric driven vane pumps, double-support structures, oil production, OKB BN, A.S. Arutyunov, A.A. Bogdanov

Нефть является одним из важнейших для человечества полезным ископаемым. В мире приблизительно более 830 тыс. скважин эксплуатируются механизированными способами добычи нефти, из них 14 % занимают установки погружных электроприводных лопастных насосов (УЭЛН). Способ добычи нефти установками УЭЛН для России является преобладающим способом. В 80-е годы в России ежегодно добывалось 600 млн т, в 2010-е – 500 млн т нефти. Последние 5 лет установками ЭЛН добывалось 81 % всей нефти из всех эксплуатируемых в России скважин.

Ключевые слова: электроприводные лопастные насосы, двухопорные конструкции, добыча нефти, ОКБ БН, А.С. Арутюнов, А.А. Богданов

Electric submersible vane pumps in Russia. History of creation, stages of development, theory and practice of application

ИЗОБРЕТЕНИЕ И ПЕРВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УЭЛН

История создания УЭЛН имеет прямое отношение к нашей стране [1]. «Отцом» современной УЭЛН является изобретатель Армаис Арутюнов, Родился он 21 июня 1893 г. в Тифлисе (в настоящее время Тбилиси), городе Российской Империи (рис. 1). Учился в Тифлисской русской гимназии.

Отец его, Арутюнов Саркис Казарович, был владельцем завода «Мыловаренный завод Арутюнова», выпускавшего мраморное мыло. На Всемирной Парижской выставке 1900 г. его экспонат в виде тифлисской церкви Святого Георгия был удостоен Золотой медали. Дед торговал мехами.

Высшее образование Армаис Арутюнов получил в Санкт-Петербурге в Лесотехническом институте, окончив его досрочно за три года

С раннего возраста он проявлял живой интерес к технике, демонстрировал недюжинные инновационные способности. Уже в 16 лет начал изобретать свой собственный погружной электродвигатель, вырезая ножницами матери пластины статора из листового металла. По достижении 18 лет организовал фирму под названием «Российское Электрическое Динамо Компании Арутюнова».



Рис. 1. Арутюнов А.С. – изобретатель УЭЛН

Цель молодой изобретатель видел в том, чтобы применить электродвигатель в бурении нефтяных скважин, улучшить устаревшие методы добычи нефти, которые использовались в эксплуатации в начале 1900 гг.

Применение в качестве забойного агрегата электродвигателя, соединенного с долотом, предлагалось различными изобретателями в разных городах мира. Но все изобретения не решали задачу защиты электродвигателя от проникновения промысловой жидкости и выбуренной породы. И впервые эта задача была решена в 1914 г. студентом Петербургского лесотехнического института Армаисом Арутюновым, предложившим наполнять электродвигатель маслом, чтобы при помощи поршня создавать давление внутри

электродвигателя, превышающее давление окружающей среды.

Сначала Армаис завершил свой проект двигателя, который мог бы работать в воде и управлять буровым инструментом.

Для осуществления планов по добыче нефти возникла необходимость в относительно большом по мощности электродвигателе. Ограничения, связанные с размерами скважины, требовали, чтобы двигатель был сравнительно небольшим в диаметре. В те времена считалось, что электродвигатель малого диаметра обязательно будет маломощным и, соответственно, неподходящим для работы в скважинах. В связи с этим изобретателю пришлось детально изучить основные законы электричества. Разработка двигателя была закончена Арутюновым в 1916 г.

В этом же году он переделывает лопастный насос и присоединяет к своему электродвигателю. Целью данного приспособления стало осушение судов и шахт. Испытания первого образца этой установки были проведены на территории сталелитейного завода (ныне Днепропетровский металлургический завод) на Украине, где располагалась мастерская Арутюнова.

Первые промышленные эксперименты с установкой погружного лопастного насоса были проведены в Бакинских нефтяных месторождениях. Арутюнов поставил двигатель ниже насоса для его охлаждения. Вся установка висела на насосно-компрессорных трубах (НКТ).

«АМЕРИКАНСКИЕ ГОРКИ»

В связи с революционными событиями в России Армаис в 1919 г. эмигрировал в Берлин, где поменял название фирмы на «РЭДА», которое являлось акронимом его российской компании.

После эмиграции в Соединенные Штаты, а именно в Лос-Анжелес, в 1923 году, он обратился в «Westinghouse Corporation» с вопросом финансирования, однако получил отказ. Ему заявили, что его перевернутое устройство с двигателем в основании, да еще и погруженное в воду, не будет работать «согласно законам электроники». Последующие несколько лет Арутюнов боролся за признание своего УЭЛНа.

Но случилось так, что некий Александр Клайд, который работал на Франка Филиппа из «Philips Petroleum», нуждался в методе добычи нефти больших объемов из скважин, расположенных в Канзасе, штат Оклахома. Удача распорядилась так, что стороны встретились и подписали контракт на первую коммерческую поставку систем УЭЛНов.

В 1928 г. первый улучшенный УЭЛН удалось запустить на месторождении Эльдorado неподалеку от Бернса, в Канзасе. После нескольких технических проблем была зафиксирована бесперебойная работа в течение 16 дней, что, разумеется, являлось успехом. Новость разлетелась и создала немалый переполох в нефтяном секторе. Именно после этого стартовало промышленное производство установок УЭЛНов.

В 1926 году Арутюнов получил патент США [2] на свою погружную установку, в которой открыл принципиальные особенности нового способа добычи нефти.

Установка УЭЛН внешне выглядела как некоторые фланцевые куски трубы. Ее основная система состояла из многоступенчатого лопастного насоса, секции гидрозащиты (протектор), трехфазного асинхронного двигателя,

силового кабеля и поверхностной электрической панели управления. Двигатель был установлен ниже всех других секций для охлаждения пластовой жидкостью (рис. 2).

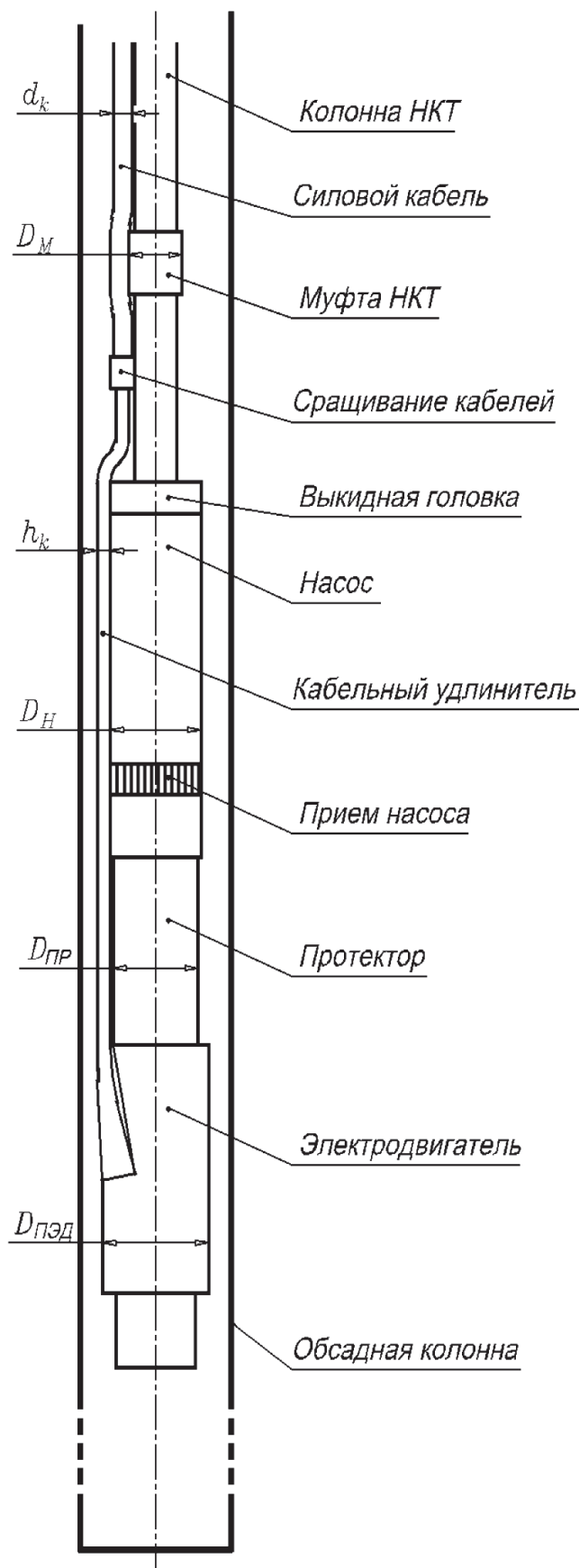


Рис. 2. Схема насосного агрегата

При неизменной типичной системе УЭЛН с внешней точки зрения, эффективность и технологичность конструкции содержались внутри корпусов секций. Например, при ограниченных диаметральных размерах насосов, ограниченных частотах вращения вала и значительных значениях потребных напоров, насосы ЭЛН должны содержать много сотен ступеней. Арутюнов в эти насосы заложил весьма рациональные конструкции ступеней: ступень с осерадиальным направляющим аппаратом и диагональную ступень с относительно малыми монтажными высотами (рис. 3).

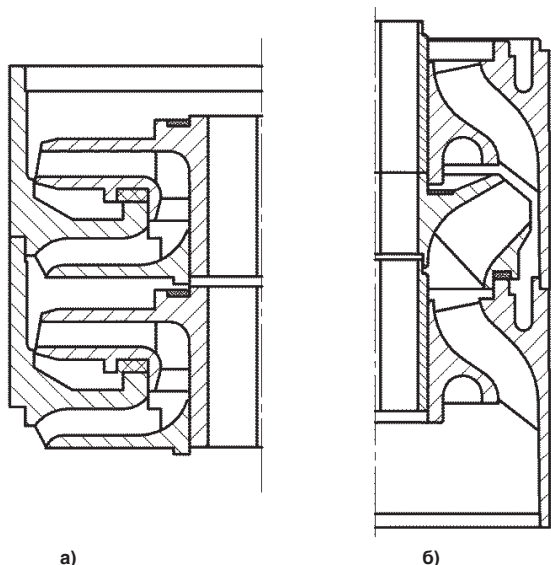


Рис. 3. Конструкции ступеней погружных лопастных насосов:
а) ступень с осерадиальным направляющим аппаратом;
б) диагональная ступень

В осерадиальной ступени для повышения напора был предусмотрен максимально возможный диаметр рабочего колеса, из-за чего меридианный поток после рабочего колеса поворачивается на 180° и попадает на вход направляющего аппарата с сильно неравномерными скоростными эпюрами. Естественно, из-за такого потока происходят существенные гидравлические потери в безлопаточном пространстве между выходом из колеса и входом в направляющий аппарат и в каналах направляющего аппарата. Эти гидравлические потери снижают гидравлический и общий КПД ступени и насоса. Следует отметить, что выбранная изобретателем установок Арутюновым осерадиальная конструкция ступени широко применялась и применяется до сих пор во всем мире в погружных лопастных насосах на малые и средние подачи. В насосах на большие подачи Арутюнов использовал диагональные ступени с уменьшенными монтажными высотами, из-за чего КПД их снижался.

Сведения о конструкции гидрозащиты и о положении электродвигателя установки с целью его охлаждения ранее были приведены.

В дальнейшем конструкция УЭЛН постоянно улучшалась и адаптировалась к усложняющимся условиям эксплуатации установок.

А. Арутюновым было получено 80 патентов, касающихся установки в целом, двигателя, гидрозащиты, насоса, кабеля и т.д.

УЭЛН В СССР И СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

В СССР многие специалисты понимали перспективность использования электродвигателей для бурения нефтяных скважин и для добычи нефти. Одним из таких специалистов был Александр Антонович Богданов, он родился в 1912 году (рис. 4).



Рис. 4. Богданов А.А. – основатель и первый руководитель ОКБ БН

Окончив в 1937 году институт, А.А. Богданов начал свою трудовую деятельность на Харьковском электро-механическом заводе (ХЭМЗ).

Работы по созданию электробуров и погружных электронасосов с погружным электрическим приводом были возобновлены в начале тридцатых годов в формашпроектной группой специалистов (А.П. Островским, Н.Г. Григорьевым, И.В. Александровым, А.А. Богдановым и др.) [3]. Однако Великая Отечественная война не позволила довести работы до промышленного внедрения погружных электронасосов для добычи нефти на наших промыслах.

После окончания войны, в 1948 г., на завод ХЭМЗ, имеющий опыт изготовления нефтяной электротехники, были привезены два из 53-х погружных электродвигателей фирмы «REDA», поступивших в 1943 г. в Советский Союз по ленд-лизу в составе установок погружных лопастных насосов для добычи нефти. Это были первые подобные установки, с которыми наши нефтяники впервые могли ознакомиться практически и которые позволили накопить некоторый опыт их применения.

На ХЭМЗе были проведены комплексные электрические испытания погружных электродвигателей и сняты все характеристики. С этого момента на заводе начались активные работы по разработке конструкторской документации и испытаниям погружных электродвигателей установок для добычи нефти. Вся организационная работа велась под руководством А.А. Богданова.

Он понимал перспективность применения установок погружных лопастных насосов для резкого повышения темпов добычи нефти как главного фактора подъема экономики страны после войны. Это понимание еще более укрепилось в нем после поездки в составе делегации советских специалистов в США, на фирму «REDA».

Александр Антонович четко осознал, что для успешного применения установок электрических лопастных насосов, в СССР необходимо организовать предприятие по разработке, исследованию и внедрению этих установок и насосов. Отправной точкой реализации этой задачи можно считать выступление Александра Антоновича Богданова на техническом совещании в Министерстве нефтяной промышленности СССР 20 декабря 1949 г. с докладом «Электрические многоступенчатые насосы для добычи нефти». В докладе подробно излагались



Рис. 5. Первые сотрудники ОКБ БН

история развития установок погружных насосов в США, их краткая характеристика, эксплуатационные и экономические показатели, область применения и обслуживание. Освещался также опыт применения на промыслах СССР УЭЛН, полученных в 1943 г. по ленд-лизу. Богданов подчеркивал, что наиболее распространенные способы эксплуатации нефтяных скважин – газлифт и глубинно-штанговый насос имеют ряд недостатков.

Прошел почти год после совещания, прежде чем появился приказ министра нефтяной промышленности Н.К. Байбакова за № 1338 от 27 сентября 1950 г. «Об организации производства бесштанговых насосов и о внедрении их в нефтяную промышленность». Речь шла о создании Особого конструкторского бюро по бесштанговым насосам (ОКБ БН). Согласно приказу начальником ОКБ БН был назначен А.А. Богданов.

Создание ОКБ БН явилось закономерной необходимостью. К этому времени были открыты новые нефтяные месторождения в Татарии, Башкирии, Поволжье. Для осуществления планов по повышению добычи нефти в стране требовалось адекватное высокопроизводительное погружное оборудование, каковым были установки погружных электролопастных насосов.

А.А. Богданов, хорошо изучивший организацию работ на американских фирмах, применил все положительное, что было на зарубежных предприятиях, при создании отечественного Особого конструкторского бюро. Организованное А.А. Богдановым ОКБ БН состояло из конструкторских отделов по разработке разных типов насосов и погружных электродвигателей, гидрозащиты, а также производственной базы для изготовления опытных образцов насосов и погружных двигателей. Производственная база включала в себя полный цикл производства: механический цех; литейный цех, где отливались детали из чугуна, алюминия, нержавеющей стали; лабораторию для изготовления деталей из пластмасс;

лабораторию резинотехнических изделий. В ОКБ БН были созданы также лаборатории по испытанию рабочих органов лопастных насосов, погружных лопастных насосов, винтовых насосов и электродвигателей. Появились и лаборатории по исследованию узлов трения, резиновых изделий и изоляционных материалов, а также отдел внедрения (прообраз современной сервисной службы), который занимался вопросами обучения персонала на промыслах технологии правильной эксплуатации погружных электронасосов и их ремонту. В составе ОКБ БН имелись: технологический отдел, который разрабатывал технологию изготовления погружных электронасосов; отдел исследования электрооборудования, который занимался наземным электрооборудованием – станциями управления, трансформаторами, кабелем, включая кабельные муфты для разных типов погружных электродвигателей.

В начальный период производственной деятельности ОКБ БН новому разработанному оборудованию УЭЛН требовалось активно завоевывать авторитет у нефтяников. Необходимо было оценить и показать его реальную надежность в сравнении с другими механизированными способами добычи нефти.

Для успешного внедрения новых установок с учетом специфических условий эксплуатации, в разных районах России были созданы службы ОКБ БН непосредственно на промыслах. Были подобраны опытные специалисты для Татарии, Башкирии, Поволжья, Азербайджана и Западной Сибири.

Под руководством А.А. Богданова шла кропотливая трудоемкая работа по выбору необходимого ряда подач насосов, их габаритных размеров, выбор оптимальной геометрии деталей, узлов. Проводились теоретические и экспериментальные исследования, разрабатывались методы гидродинамических, электрических, тепловых, прочностных расчетов всех элементов установки.

Большую работу в создании и развитии погружных электронасосов выполняла первая плеяда работников ОКБ БН. Это С.И. Арсеньев-Образцов, А.А. Богданов, А.С. Бондаревская, А.Н. Воронов, Е.С. Гальберг, В.Н. Ижигов, М.А. Кузнецов, П.Д. Ляпков, Н.Е. Гринштейн, Н.С. Поклонов, П.Н. Лабзенков, Е.П. Никуличев, З.С. Помазкова, А.А. Чудиновский, Л.Г. Чичеров и многие другие (рис. 5), а также коллективы заводов ХЭМЗ, «Борец», нефтедобывающих предприятий.

Следует особо отметить роль А.А. Джавадяна, заместителя начальника Управления по добыче нефти, а впоследствии главного технолога Миннефтепрома СССР, курирующего ОКБ БН в 1970-е – 80-е годы, и много сделавшего как для развития производства погружного оборудования, так и для увеличения добычи нефти в стране.

Благодаря самоотверженной работе первой плеяды работников ОКБ БН первая отечественная установка УЭЛН с насосом ЭН-700-300 (номинальная подача – 700 м³/сут, напор – 300 м), созданная ОКБ БН в рекордно короткие сроки, была спущена 20 марта 1951 г. в скважину № 18/11 треста «Октябрьскнефть» объединения «Грознефть».

Все новшества в установках ЭЛН были созданы специалистами ОКБ БН. Большинство из них были одержимы работой, талантливы, добились серьезных успехов в своей области.

Первые ОКБевцы были настоящими энтузиастами разработки и совершенствования УЭЛН. Первые работы ОКБевцев по усовершенствованию конструкции установок УЭЛН:

- Разработка новых схем гидрозащиты.
- Усовершенствование сальника насоса применением комбинированного сальника, в котором наряду со свинцово-графитовыми кольцами были установлены резиновые манжеты с браслетными пружинами.
- Повышение работоспособности подшипникового узла насоса путем замены подшипников качения подшипниками скольжения.
- Разработка и применение впервые в мире (в 1954 г.) газосепаратора.
- Разработка и адаптация всех узлов установки.
- Решение проблем износостойкости для жидкостей с мехпримесями.
- Первичное решение проблем подбора установок к скважинам.
- Решение проблем периодической эксплуатации.
- Освоение производства и внедрение УЭЛН.



Рис. 6. Ляпков П.Д. – энтузиаст совершенствования УЭЛН

Одним из энтузиастов совершенствования УЭЛН был Ляпков П.Д. (рис. 6), который:

- первый в мире изобрел газосепаратор для УЭЛН (спущен в скважину в 1954 г.);
- исследовал закономерности изменения характеристик ступеней и насосов на вязких жидкостях, газожидкостной смеси (ГЖС), водонефтяных эмульсиях;
- под его руководством были проведены исследования и разработки ступеней насосов;
- под его руководством были созданы методики разработок ступеней;
- им были разработаны основы программы подбора УЭЛН к скважинам;
- заложил научные основы в работу ОКБ БН.

Особенности разработки нефтяных месторождений нашей страны, состоящие в относительно высокой продуктивности скважин, высоких темпах разработки, относительно большой кривизне скважин, наличии мощных систем поддержания пластового давления, требуемых больших напорах и подачах, способствовали быстрому распространению этого вида механизированной нефтедобычи. Вскоре в Советском Союзе была создана самая мощная в мире индустрия производства установок погружных электролопастных насосов. К 1990 г. их выпускали пять заводов, три завода – погружные двигатели и гидрозащиту, пять заводов – погружной кабель, пять заводов – станции управления и трансформаторы. Всего по тематике ОКБ БН к тому времени работало около 30 предприятий. Как в целом установки УЭЛН, так и комплектующие к ним изготавливались отечественными производителями. Работы по конструированию, исследованию и внедрению глубинных бесштанговых насосов осуществлялись ОКБ БН, которое в 1950-1990 гг. являлось головной организацией по этому виду оборудования. С 90-х гг. и в настоящее время основными разработчиками и изготовителями полнокомплектных установок УЭЛН в РФ являются: Альметьевский завод погружных электронасосов АО «АЛНАС»; ООО «ПК «Борец»; ГК «Новомет»; ГК «АЛМАЗ»; ООО «Ижнефтепласт»; ООО «Новые технологии».

На сегодняшний день российские нефтяники применяют и установки УЭЛН американских компаний, и установки, изготавливаемые в Китае. Но количество применяемых зарубежных установок не превышает 15 %.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЭЛН

УЭЛН по мере изменений условий эксплуатации обычно оказываются в сложных скважинных условиях: высокое газосодержание, жидкости с абразивными частицами, вязкие жидкости, агрессивные среды, отложения солей и асфальтенов, высокая температура. При этих условиях возрастают требования к конструкции оборудования, материалам и производственным процессам. Если какие-либо компоненты оборудования не соответствуют этим условиям, надежность установки может резко снизиться.

Надежность УЭЛН зависит от многих факторов, включая износостойкость рабочих органов насоса. Решением задач проблемы износостойкости насоса ЭЛН ОКБевцы начали заниматься практически с первых лет образования ОКБ БН, конкретно для условий скважин объединения «Азнефть».

В 50-е годы в скважинах объединения «Азнефть» количество песка доходило до 1,5 % по весу, обводненность – до 97 %, пластовые воды являлись электролитами, содержание сероводорода – до 250 мг/л, поэтому в скважинах объединения «Азнефть» начали использовать износостойкие ЭЛН (раньше называли

износоустойчивые), которые от обычных ЭЛН имели следующие отличия [4]:

- Специальные промежуточные резинометаллические подшипники с расстоянием между ними 650-800 мм.
- Верхней опорой вала являлся верхний резинометаллический подшипник, совмещенный с резинометаллической пятой (рис. 7).
- Двухопорные ступени (рис. 8).
- Направляющие аппараты изготавливались из чугуна с антикоррозионными покрытиями, впоследствии направляющие аппараты изготавливались из нирезиста.
- Рабочие колеса – из полиамидной смолы 68.
- Пара трения в осевых опорах колес: сталь 40Х, закаленная до твердости HRC=48-56, и нефтестойкая резина 8470.

В установках погружных лопастных насосов для добычи нефти применяются погружные асинхронные двигатели. Электромагнитный расчет наземных асинхронных двигателей обычно выполняется по методике, разработанной Всесоюзным научно-исследовательским институтом электромеханики. Однако погружные электродвигатели имеют конструктивные особенности по сравнению с наземными двигателями; основная особенность заключается в том, что отношение длины активной части к наружному диаметру для погружных и наземных двигателей отличается в 50-70 раз. Это влечет за собой иные потери в стали, механические потери и т.д.

Поэтому на протяжении десятилетий электромагнитный расчет погружных асинхронных двигателей уточнялся, корректировался.

На основе разработок, изготовления макетных образцов, исследования их характеристик, промысловых испытаний были определены рациональные конструкции погружных двигателей, система радиальных и осевых опор, конструкция кабельного ввода и т.д.

В установках погружных лопастных насосов для добычи нефти, в основном для предотвращения проникновения пластовой жидкости в двигатель, служит узел гидрозащиты. В 60-е годы статистически было установлено, что наработки на отказ установок, особенно при повышении обводненности пластовой жидкости существенно снижаются из-за пробоя изоляции электродвигателя, так как применяемая конструкция гидрозащиты была неэффективной. В ОКБ БН были созданы гидрозащиты типа ГД и Г, предназначенные для работы с различными конструкциями насосов, при близкой их принципиальной схеме. Промысловый опыт использования обоих типов гидрозащиты показал высокую их эффективность, и в дальнейшем они получили широкое применение в серийных установках.

По мере эксплуатации в любом нефтяном месторождении условия работы УЭЛН осложняются: повышаются концентрация мехпримесей, обводненность.

После 90-х годов изменилась стратегия добычи нефти. Раньше придерживались плановой добычи нефти месторождения, чтобы достичь возможно большого коэффициента нефтеотдачи (до 45 %). После 90-х годов преобладала форсированная стратегия добычи нефти, при которой динамический уровень скважины и глубина спуска установки увеличиваются. Из-за этого повышается температура пластовой жидкости, попадающей на вход насоса. Все это приводит еще и к повышению газосодержания, температуры перекачиваемой насосом пластовой жидкости, отложению солей.

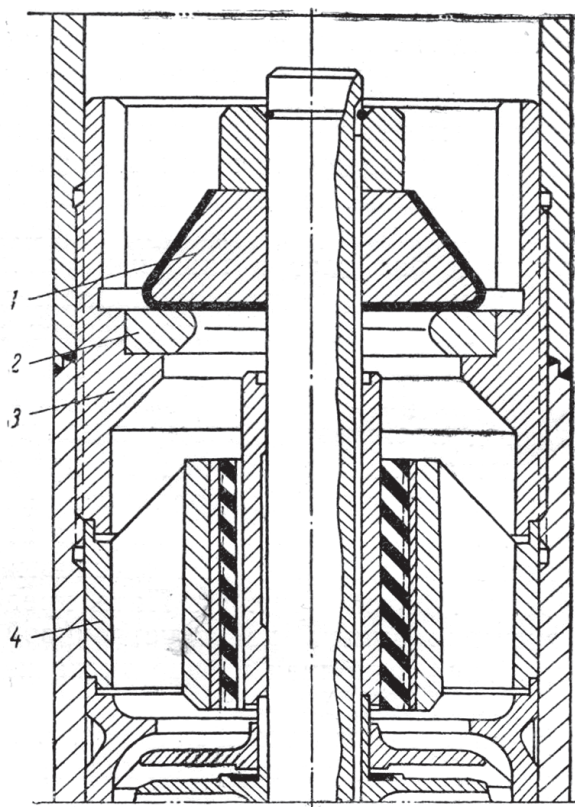


Рис. 7. Гидравлическая пята погружного центробежного насоса: 1 – пята; 2 – подпятник; 3 – ниппель; 4 – подшипник

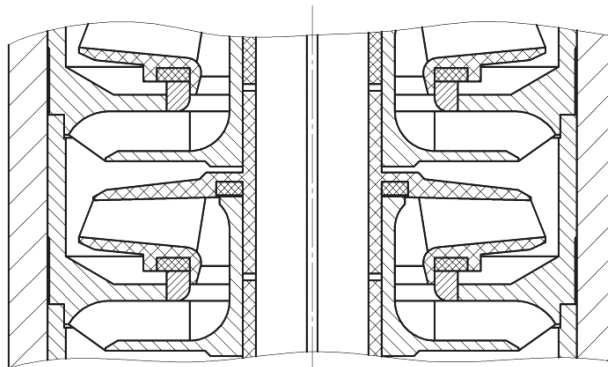


Рис. 8. Ступень износостойкого насоса

В 1957 г. А.С. Арутюновым была запатентована конструкция двухопорной ступени [5], которую в ОКБ БН оценили как существенное средство повышения износоустойчивости, что впоследствии подтвердилось. В ОКБ БН были разработаны ступени двухопорной конструкции на все габариты и подачи выпускаемых ЭЛН (рис. 9).

Но практическое применение ступеней двухопорной конструкции было осуществлено в износоустойчивых лопастных насосах лишь в конце 80-х и начале 90-х гг.

Под руководством главного конструктора проекта Гринштейн Н.Е. были исследованы, разработаны ступени с открытым рабочим колесом (ОРК) [6]. Была создана методика разработки таких ступеней, исследовано влияние вязкости и ГЖС на характеристики ступеней с ОРК. Министерством нефтяной промышленности было принято решение о серийном изготовлении насосов с этими ступенями.

Преимущества ступеней с ОРК (рис. 10):

- Не засоряются механическими примесями при КВЧ до 1000 мг/л.
- Меньшая вероятность отложения солей.
- Устойчивая работа с газом – до 40 %.
- Стабильная работа на малодебитном фонде – от 10 м³/сут.

В России по ступеням с различными конструкциями открытых рабочих колес было подано 7 изобретений. Первое было заявлено в декабре 1951 г. [7], последнее – в 2017 г. [8].

В настоящее время большинство насосных ступеней в мире отливаются из одного из нескольких типов материала Ni-Resist с высоким содержанием серы. Этот материал начал использоваться американскими компаниями с конца 60-х годов. По характеристикам он является отличным для использования в УЭЛН: обладает хорошей коррозионной стойкостью, высокой износостойкостью и обрабатываемостью. За прошедшие годы американскими компаниями были использованы и другие материалы, но ни один из них не вытеснил Ni-Resist.

Для повышения эффективности коррозионностойких и износостойких погружных лопастных насосов для добычи нефти в нашей стране в 80-х годах была проведена работа по созданию отечественного модифицированного чугуна. Работа выполнялась специалистами ОКБ БН (Златкис А.Д., Бочаров Б.А., Дроздов Н.А.) и Института проблем литья Академии Наук СССР (Шейко А.А.). В результате проведенной работы был получен чугун типа нирезист, который используется в отечественных износостойких насосах и в настоящее время.

В осевых опорах плавающих рабочих колес, в осевых и радиальных подшипниках секций насоса была применена пара трения силицированный графит – маслостойкая резина.

Из-за хрупкости силицированного графита в ОКБ БН велись поиски других износостойких материалов, обладающих высокой твердостью.

В 1990-91 гг. благодаря усилиям Э.С. Протаса и А.А. Зимина для изготовления соответствующих подшипниковых деталей был привлечен НИИ двигателей, где были изготовлены опытные образцы этих деталей из карбида кремния, который и в настоящее время широко используется в износостойких отечественных насосах.

Использование УЭЛН и других установок при добыче нефти убедили российских нефтяников в преимуществах УЭЛН и в необходимости дальнейшего ее усовершенствования применительно к усложненным условиям. Можно вспомнить одну из первых конференций по механизированной добыче нефти, она называлась «Повышение надежности ЭЛН в условиях интенсификации добычи нефти» (проведена нефтяной компанией «ЮКОС» в 2001 г.). В конференции участвовали пользователи УЭЛН – нефтяники, изготовители из АО «Алнас», ОАО «Борец», завода «Алмаз» и др., исследователи и разработчики из РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. На конференции в том числе обсуждался вопрос о целесообразности разработки российской концепции влияния механических примесей на наработку насоса с учетом абразивности и определения областей применения различных исполнений ЭЛН [9].

Решение проблем надежности, особенно вследствие изменения стратегии добычи нефти, повлекшей изменение условий эксплуатации, было весьма важным.

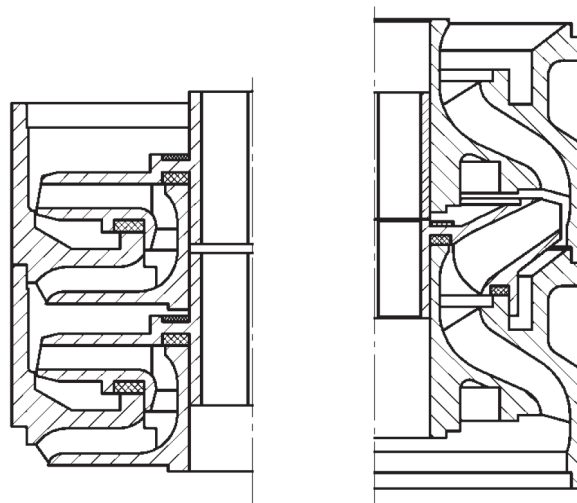


Рис. 9. Конструкции ступеней погружных лопастных насосов:
а) ступень с осерасиальным направляющим аппаратом;
б) диагональная ступень

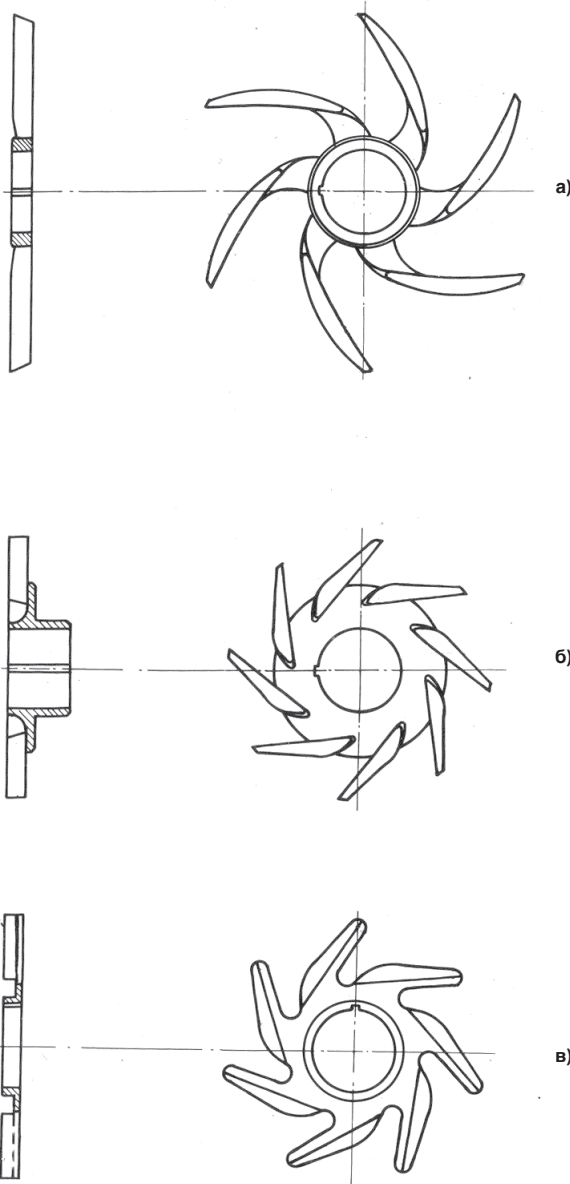


Рис. 10. Различные конструкции открытых рабочих колес



Изготовители в этой связи занимались совершенствованием отдельных узлов в установке, разработкой гаммы материалов для создания УЭЛН, состоящей из абразивно-коррозионностойкого погружного насоса, электродвигателя с гидрозащитой на повышенную температуру эксплуатации, термостойкого кабельного удлинителя, различных предвключенных устройств. Естественно, все изготовители начали изготавливать насосы с применением двухопорных ступеней.

Литература

1. John L. Bearden, SPE, Earl B. Brookbank, SPE and Brown L. Wilson, SPE, Baker Hughes Inc. How We Did It Then: The Evolutionary Growth of ESPs. Houston, 2009.
2. United states Patent № 1610726. Driven Pump / Arutunoff. Filed 28Feb, 1925.
3. Фоменко Ф.Н., Электробуры для бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Гостоптехиздат, 1958. 242 с.
4. Кузнецов М.А., Ивановский Н.Ф., Золотухин Б.К. Опыт применения износостойчивых погружных центробежных электронасосов. [Сборник статей] Погружные насосы для народного хозяйства. М.: Центральное бюро технической информации. 1962.
5. United States Patent № 2,775,945. Sand Resistant Pump / A. Arutunoff. Filed Aug. 27, 1953.
6. Гринштейн Н.Е. Центробежные насосы с открытыми рабочими колесами для эксплуатации нефтяных скважин: дис. ... канд. техн. наук. М., 1965. 155 с.
7. Авторское свидетельство № 106135. Рабочее колесо для многоступенчатого центробежного насоса / Богданов А.А., Ляпков П.Д., Кузнецов М.А., заявлено 03.12.1951.
8. Открытое рабочее колесо ступени электроцентробежного насоса: пат. 2626266. Рос. Федерация. / Авт. Блинов А.В., Пещеренко М.П., Пещеренко С.Н., опубл. 25.07.2017, Б И 21.

9. Животовский Л.С., Смойловская Л.И. Техническая механика гидромесей и грунтовые насосы. М.: «Машиностроение», 1986.

References:

1. John L. Bearden, SPE, Earl B. Brookbank, SPE and Brown L. Wilson, SPE, Baker Hughes Inc. How We Did It Then. The Evolutionary Growth of ESPs. Houston, 2009. (In English).
2. United states Patent № 1610726. Driven Pump. Arutunoff. Filed 28 Feb., 1925. (In English).
3. Fomenko F.N., *Elektrobury dlya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin* [Electric drills for drilling oil and gas wells]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1958. 242 p. (In Russian).
4. Kuznetsov M.A., Ivanovskiy N.F., Zolotukhin B.K. Opyt primeneniya iznosoustoychivyykh pogruzhnykh tsentrobezhnykh elektронасосов. V knige Pogruzhnyye nasosy dlya narodnogo khozyaystva [Experience in the use of wear-resistant submersible centrifugal electric pumps. In the book Submersible pumps for the national economy]. Moscow, Tsentral'noye byuro tekhnicheskoy informatsii Publ., 1962. (In Russian).
5. United States Patent № 2.775,945. Sand Resistant Pump. A. Arutunoff. Filed Aug. 27, 1953. (In English).
6. Grinshteyn N.E. *Tsentrobezhnyye nasosy s otkrytymi rabochimi kolesami dlya ekspluatatsii neftyanykh skvazhin* [Centrifugal pumps with open impellers for the exploitation of oil wells] cand. of eng. sci. diss. Moscow, 1965. 155 p. (In Russian).
7. Bogdanov A.A., Lyapkov P.D., Kuznetsov M.A. *Rabocheye koleso dlya mnogostupenchatogo tsentrobezhnogo nasosa* [Impeller for a multistage centrifugal pump]. Avtorskoye svidetel'stvo no. 106135., zayavleno 03.12.1951. (In Russian).
8. Blinov A.V., Peshcherenko M.P., Peshcherenko S.N. *Otkrytoye rabocheye koleso stupeni elektrotsentrobezhnogo nasosa* [Open impeller of the electric centrifugal pump stage]. Pat. no. 2626266 RF, publ. 25.07.2017, B I 21. (In Russian).
9. Zhivotovskiy L.S., Smojlovskaya L.I. *Tekhnicheskaya mexanika gidromesey i gruntovy'e nasosy* [Technical mechanics of hydraulic mixtures and ground pumps]. M.: «Mashinostroyeniye», 1986

Журнал «Бурение и нефть» можно перелистать прямо на сайте

Все номера журнала «Бурение и нефть» с 2012 года в оригинале только для посетителей нашего сайта!
Листайте на персональном компьютере, как будто вы держите журнал в руках!

Во всем мире привыкли к цифровому формату популярных печатных изданий. А как «скрестить» цифровой формат с привычной бумажной версией? Очень просто. Уже сегодня вы имеете уникальную возможность совместить все преимущества интернет-коммуникаций с привычным «перелистыванием» страниц на сайте www.burneft.ru

The screenshot displays the website <http://burneft.ru/> with a digital representation of a magazine page. The page features an article titled "Анализ усталостного излома в буровых трубах" (Fatigue fracture analysis in drilling pipes) by V. Pashchynskiy, S. Brestovskiy, and V. Zhukovskiy. The article includes a table with data on fatigue life and a graph showing the relationship between stress and fatigue life. The website interface includes a search bar, navigation links, and a sidebar with additional content.

Параметры	Значения	Единицы
Диаметр трубы	127,3	мм
Длина трубы	127,3	мм
Толщина стенки	127,3	мм
Материал	127,3	мм
Свойства	127,3	мм
Условия	127,3	мм
Результаты	127,3	мм
Выводы	127,3	мм
Рекомендации	127,3	мм
Заключение	127,3	мм