



# РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПОГРУЖНОГО ПЛУНЖЕРНОГО НАСОСА С ЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАЛОДЕБИТНОГО ФОНДА СКВАЖИН



## АЛЕКСАНДР ДРОЗДОВ

Доктор технических наук, профессор РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина

**Н**е секрет, что текущее состояние добычи нефти в России характеризуется значительным ростом доли трудноизвлекаемых запасов, ныне это 60–65%. Фонд малодебитных скважин очень большой. И традиционные способы эксплуатации в этих условиях не всегда являются эффективными. Обычно для эксплуатации таких скважин применяют установки штанговых глубинных насосов. Но вследствие

## Проблема эксплуатации ЭЦН в зоне низких дебитов очень актуальна для ряда ведущих нефтяных компаний

многочисленных недостатков, присущих этим системам, все чаще пытаются применить альтернативы, например, УЭЦН — низкопроизводительные насосы, а также периодическую эксплуатацию скважин.

И проблема эксплуатации ЭЦН в зоне низких дебитов очень актуальна для ряда ведущих нефтяных компаний. Мы в настоящее время начали разработку новой

системы, которая в результате может создать и новую технологию добычи нефти, новый способ эксплуатации, а именно систему, которая бы объединила достоинства погружного центробежного насоса и штангового глубинного насоса, то есть достоинства ЭЦН с высоким коэффициентом полезного действия объемного насоса.

Эта система будет содержать в себе погружной линейный электродвигатель, который будет приводить в действие плунжерный насос. Я передаю слово Евгению Малявко. Он был одним из самых талантливых студентов, именованным стипендиатом, отличником, призером конференций студенческого научного общества.

Функциональная схема установки плунжерного насоса с линейным электродвигателем состоит из наземной части, наземной станции управления, и погружной части в составе погружного инвертора, электродвигателя



## ЕВГЕНИЙ МАЛЯВКО

Аспирант РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина

и непосредственно самого насоса. Общая технологическая схема принципиально ничем не отличается от установки УЭЦН (см. «*Основные элементы установки*»).

### ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ УСТАНОВКИ

**Плунжерный насос** предназначен для непосредственной перекачки пластовой жидкости под определенным напором.

**Линейный электродвигатель** предназначен для создания тягового усилия к штоку плунжерного насоса. Является ключевым агрегатом установки и представляет собой электрическую машину с многофазной обмоткой якоря, фазы которой смещены друг относительно друга не в тангенциальном, а в аксиальном направлении.

**Погружной инвертор** предназначен для преобразования постоянного тока в переменный.

**Гидрозащита двигателя** предназначена для уравнивания давления во внутренней полости двигателя с давлением пластовой жидкости в скважине, компенсации теплового изменения объема масла, защиты внутренней полости двигателя от попадания пластовой жидкости и предотвращения утечки масла.

**Наземная часть установки** (станция управления) предназначена для управления работой погружной части и ее защиты при аномальных режимах. Станция управления содержит коммутационную аппаратуру, выпрямитель и регулятор высокой частоты (РВЧ). Управление ими осуществляет контроллер.

## Сравнение КПД



- КПД плунжерных насосов в УШГН и УЭПН равны;
- В качестве КПД электродвигателя УШГН взят КПД всей наземной части (с учетом КПД клиноременной передачи и КПД механизма станка-началки);
- КПД передачи электроэнергии при равных напряжениях на кабеле по кабелю для УЭПН выше, чем для УЭЦН, за счет наличия однопроводной линии питания;
- Потери на гидравлическое трение в УШГН взяты с учетом дополнительного трения жидкости о тело штанг

## Технологический эффект — КПД=55,9%



Несмотря на то, что в УШГН имеется высокий КПД непосредственно насоса, а в УЭЦН высокий КПД двигателя, общий — расчетный — КПД установок достаточно низкий. КПД же разрабатываемой установки планируется быть выше в 1,5–2 раза по сравнению с действующими аналогами (см. «Сравнение КПД...» и «Преимущества над аналогами»).

Необходимо отметить, что наличие ограничений и особенностей эксплуатации на малодобитном фонде значительно сдерживает применение данных установок и непосредственно влияет на их энергоэффективность на малодобитном фонде и соответственно на технологическую область применения.

Конкурентные преимущества — увеличение КПД; регулирование

подачи в широких пределах; простота эксплуатации; независимость развиваемого напора насоса от подачи; снижение металлоемкости и материалоемкости; снижение потери на передачу электроэнергии; увеличение наработки на отказ и оптимизация массогабаритных, энергетических и технологических показателей.

Также одним из ключевых конкурентных преимуществ, необходимо отметить, будет невысокая себестоимость. Планируется, что себестоимость будет, по крайней мере, не выше, чем себестоимость УЭЦН и УШГН.

В процессе разработки экспериментального образца установки будет проведено моделирование электромеханических и тепловых процессов электродвигателя, разработана конструкция электродви-

гателя и погружного инвертора. Для этого потребуются разработка методик расчета погружных вентильных электродвигателей, позволяющих оптимизировать их массогабаритные и энергетические показатели, создание оригинальной

## РГУ: разработка новой системы с достоинствами ЭЦН и высоким коэффициентом полезного действия объемного насоса

активной части электродвигателя, разработка оригинальной гидрозащиты, создание погружного инвертора, надежно работающего при

## Конкурентные преимущества — увеличение КПД, регулирование подачи, увеличение наработки на отказ, невысокая себестоимость...

температуре окружающей среды минимум до 100 градусов, и создание, по сути говоря, оригинальной наземной станции управления.

В результате реализации данного проекта планируется создание, как я уже говорил, экспериментального образца установки и проведение стендовых испытаний с целью достижения следующих характеристик. Частота циклов от 6 до 120, напор насоса до 1500 метров. Соответственно подача, имеется в виду низкодобитный фонд, — до 2–25 кубометров в сутки. Максимальная температура рабочей жидкости планируется не менее 100 градусов и соответственно КПД установки — не менее 55%. 📐

## Преимущества над аналогами

Аналоги	Стадия	Расчетный КПД, %	Особенности эксплуатации	Наличие ограничений
Разрабатываемая установка	НИОКР	55,9	Планируется увеличенный межсервисный интервал	Нет
УШГН	На рынке	36,5	Сильный износ штанг, большие затраты на ремонт	Ограничения по кривизне и глубине скважины
УЭЦН	На рынке	25,7	Недостаточное охлаждение двигателя, пробой изоляции	Значительное снижение эффективности при небольших газосодержаниях и вязкости
УВН	На рынке	40,4	Низкий ресурс эластомера	Отсутствие универсального эластомера — подбор под конкретные условия эксплуатации, ограничение по температуре, содержанию ароматических углеводородов, газовому фактору, ограничение установки по напору

**Р. Камалетдинов:** *Каковы ориентировочные сроки изготовления, проектирования изделия?*

**Е. Малявко:** Стендовые испытания экспериментального образца планируются через два года.

**Р.К.:** *И, Александр Николаевич, взаимоотношения со «Сколково», как бы вы могли охарактеризовать?*

**А. Дроздов:** Это достаточно сложный процесс. Вот раньше я думал, что труднее всего заключить договор с «Газпромом». Моя практика — проще и с ТНК, и с ЛУКОЙЛом, и «Роснефтью» заключать договора. Вот с «Газпромом» годами тянется эта процедура, и все там достаточно сложно. Но со «Сколково» оказалось еще сложнее, чем с «Газпромом».

Вначале был конкурс работ, который был объявлен Фондом «Сколково» совместно с компанией ТНК-ВР по энергоэффективности в 2011 году. Мы вышли в число трех победителей. Затем необходимо было подать заявку в соответствии с требованиями Фонда «Сколково». Ее рассматривала экспертиза первой стадии, и было получено одобрение. После этого необходимо было создать компанию-резидент Фонда, что тоже достаточно много времени заняло.

В результате был получен сертификат за подписью В.Вексельберга, выдан такой стеклянный параллелепипед, который почему-то назывался «кубиком», и мы получили право и статус резидента Фонда «Сколково» со льготным налогообложением. Но для того, чтобы получить финансирование, надо было двигаться дальше.

И дорога до представления на Грантовый комитет заняла еще несколько месяцев, но мы и ее преодолели. Заявка шлифовалась, ее смотрели эксперты. Перед тем, как выйти на Грантовый комитет, уже экспертиза второго уровня дала добро. На Грантовом комитете докладывали, были вопросы. И уже по результатам заседания Грантового комитета было принято решение о выделении финансирования.

Но я хочу сказать, что помимо государственного финансирования Фонд «Сколково» обязательно требует привлечения соинвестора. Привлечение соинвестора оказалось тоже достаточно сложной задачей. Соинвестор, который вначале сказал «да», через некоторое время сказал «нет», и нам пришлось искать другие варианты.

Так что думаю, в течение ближайшего месяца начнется наконец-то старт проекта, хотя сколковцы и говорят, что через три недели все будет ок. И тут нужно иметь выносливость марафонца, чтобы всю эту дорогу пройти. И упрямство — я не знаю, какой степени.

**В. Кибирев (Baker Hughes):** *Евгений Александрович, вот у вас на схеме находится инвертор, однофазный кабель. Зачем так усложнять установку, когда можно все расположить на поверхности и использовать обыкновенный трехжильный кабель погружной, который сейчас прекрасно применяется? Зачем так усложнять конструкцию?*

**Е.М.:** Во-первых, однофазный кабель позволяет снизить потери электроэнергии по кабельной линии, а во-вторых, это снижение, прежде всего, материалоемкости кабеля и, следовательно, стоимости.

**В.К.:** *А финансовые затраты на разработку инвертора погружного, который не факт, что еще сразу заработает, особенно в скважине? А плюс на поверхности у вас выпрямитель какой-то еще будет стоять, да? То есть сейчас на данный момент все оборудование питается от стандартной сети?*

**Е.М.:** Да, но необходимо отметить, что это одна из инновационных разработок. В принципе, ничто не мешает использовать в другой технологии трехфазный кабель.

**Р. Хайбуллин (Baker Hughes):** *Насос плунжерный — если произойдет, допустим, клин данной установки, какие технические мероприятия можно провести для расклинивания?*

**Е.М.:** Необходимо отметить, что плунжерный насос будет абсолютно такой же, как и для ШГН, то есть никаких принципиальных отличий не будет. Соответственно, те же самые, наверно, и способы. Предполагается, конечно, не допускать клина. Клин — это штука весьма суровая. Для того чтобы расклинить установку, можно рекомендовать промывку в сочетании со снижением числа ходов, со снижением частоты частотником и плавного запуска. Если уж это не поможет, то тогда придется поднимать установку.

**Р. Ахмадиев («Татнефть»):** *Каким образом диагностировать эту установку? По ЭЦН у нас культура есть, по ШГН — то же самое, вроде все понятно. А вот плунжерный насос? Утечки в клапанах, утечки в плунжерной паре как проверить?*

**А.Д.:** Следующему аспиранту, наверно, это придется исследовать. Тема очень интересная. В данном случае вы правильно говорите, динамограмму мы не снимаем, но вся суть этой установки — в отказе от колонны штанг и, соответственно, от динамограммы. Как можно диагностировать утечки? По снижению подачи. По негерметичности клапанов здесь, конечно, вопрос открытый. Пока мы его не прорабатывали.

А контроль параметров работы установки будет осуществляться с помощью систем ТМС, аналогичных для электроцентробежных насосов — то есть давление, температура. Ну, и возможно, что в некоторых интеллектуальных вариантах выполнения будет стоять и расходомер на выходе, и влагомер. Но это дело будущего.

Поскольку разработка сейчас находится на самом старте, мы постараемся все ваши замечания и пожелания учесть. И то, что мы не продумали, например, как диагностировать отказ клапанов, и что с этим делать, мы постараемся это предусмотреть.

**И. Пятов (РЕАМ-РТИ):** *Я всегда с большим пиететом отношусь к тому, что занимаются линейными электродвигателями, но есть вопросы. 120 ходов — не понятно — в минуту. Они вызывают у меня, как у специалиста по объемным машинам, некое удивление, потому что коэффициент подачи или коэффициент наполнения, особенно в присутствии газа, это проблема. И когда я вдруг вижу КПД в 60%, больше 50, то это потребует, наверно, специального исполнения вашего двигателя — с клапанами и т.д.*

*Хочу обратить внимание, что такие цифры — 120 качаний в минуту для плунжерных насосов — надо заявлять очень осторожно. Это просто для того, чтобы потом в таком окружении это не вызывало некоего удивления, тем более, что вы еще не работали над данным насосом. Он инновационный у вас. Ведь вопросы были, но это всегда напрягает. Будьте, пожалуйста, осторожнее.*

**Е.М.:** Необходимо отметить, что выбор частоты ходов — это достаточно сложная задача, исследовательская. И 120 — это, в принципе, такое, больше исследовательское направление, нежели...

**А.Д.:** Иван Соломонович, ему поставлена задача — это исследовать. Поэтому мы и 120 заявили, хотя понятно, что, чем больше число ходов, тем меньше будет коэффициент наполнения.

**А.Артюхов («Татнефть»):** У меня одно предложение и один вопрос. Предложение — то, что в докладе прозвучало, что для этого насоса будет разработана отдельная станция управления. У меня все-таки как, скажем так, потребителя этого оборудования будет желание, чтобы оборудование станции управления было унифицировано с другим — там для диафрагменных насосов, ЭЦН или еще что-то.

*И еще. Вот в дополнение к коэффициенту подачи вы позиционируете насос как малodeбитный. Соответственно, скорее всего, большинство скважин с этим насосом будет эксплуатироваться с динамическим на приеме. Все-таки, мне кажется, действительно над этим узлом надо поработать, над приемом, чтобы повысить эффективность и КПД насоса 80%, мне кажется, это все-таки немножко завышено.*

**А.Д.:** Спасибо за предложение. Мы согласны с тем, что узел приема требует специальных исследований. Что же касается станции управления, то тут тоже есть инновация. Эта станция объединяет в себе и станцию управления, и трансформатор в одном флаконе, поэтому она будет дешевле. У нее здесь есть преимущества.

**С.Якимов (ТНК-ВР):** Я солидарен с вопросом насчет 120 качаний в минуту. И вот я хотел вам сказать, что насос, который будет способен работать с частотой, допустим, выше 10, это надо будет уже клапана из карбида вольфрама особой конструкции и т.д. и т.д., включая особое покрытие плунжерного цилиндра. Он у вас обойдется, я вам как специалист говорю, на уровне 300–400 тысяч рублей такой насос будет стоить. Я сравниваю с импортными аналогами. То есть, цена установки у вас будет сопоставима уже изначально с низкодебитными ЭЦН. Это надо учесть. И вообще, увеличение частоты очень сильно повлияет на ресурс клапанов. Вот этот вопрос тоже надо прорабатывать.

**А.Д.:** Мы как раз и будем исследовать влияние частоты и работоспособность клапанов в процессе экспериментов с тем, чтобы найти какой-то диапазон. Никто не говорит о том, что в скважине будет 120 ходов. Наверно, эта цифра будет существенно меньше. Но в научном плане мы такие эксперименты будем ставить для того, чтобы разобраться и ответить на вопрос, до какой же частоты ходов целесообразно ее увеличивать и где остановиться, чтобы не повышать чрезмерно стоимость насоса.

**Н.Смирнов (ИМАШресурс):** Евгений Александрович, вообще в науке принято перед созданием какой-то техники исследовать опыт предшественников. Мы хорошо знаем, при создании вентильных двигателей в АЛНАСе основной патент как раз касался однопроводной системы. Это их основной патент. И однопроводные системы были реализованы и поставлены, эксплуатировались в ОПИ. Вы изучали этот опыт?

**Е.М.:** Естественно, мы изучали опыт АЛНАСа. Насколько мы знаем, опыт был успешный. Но, скажем так, по нетехнологическим причинам данная установка почему-то не пошла в дальнейшее массовое производство.

**В.Зеленцов («Газпромнефть-Муравленко»):** Не работаете ли вы над тем, чтобы увеличить напорность данной установки? Потому что в средней полосе полторы тысячи — это нормально. Для Западной Сибири нужно гораздо больше. Второе — это габарит данной установки максимальный для эксплуатации в хвостовиках скважин, и как поведет себя уплотнение гидрозащиты, направленность скважин?

**Е.М.:** Отвечая на первый вопрос, необходимо сказать, что для создания экспериментального образца нет необходимости в создании высоких напоров. Но опять же, плунжерные насосы выпускаются сейчас серийно напором до 3 тыс. метров. Поэтому ничто не мешает использовать и здесь плунжерные насосы напором до 3 тыс. метров.

Отвечая на второй вопрос — габариты — мы планируем, что габариты будут не больше, чем габариты УЭЦН, но опять же здесь во многом будут влиять габариты двигателя на общие габариты установки. А габариты двигателя соответственно являются следствием выбора частоты ходов. Потому что, чем больше частота ходов, тем естественно будет выше КПД двигателя и меньше его габаритные размеры.

**Н.Пекарников (Почетный член ЭС):** Тема крайне интересная. Еще один вопрос из области предостережений. Здесь вот прозвучало выражение «культура». Так вот ваша установка несколько выходит за рамки традиционной культуры производства подземных ремонтов. Ни слова не было сказано пока о кабеле.

*В процессе спуска — вы знаете, что фонд у нас наклонно направленный очень большой, — повреждение кабеля это одно из самых главных. Кстати, и при опыте эксплуатации «алнасовской» установки проблемы по повреждению этого кабеля и сохранение его целостности до спуска тоже существовали. И, кстати, это одна из проблем, почему эти установки не заработали. Вот здесь про кабель поясните: что это за кабель, где его взять и как он будет эксплуатироваться. И в отношении унификации с существующими станциями, потому что это как раз касается культуры. Новое оборудование всегда встречается в стыки. То есть вам предстоит достаточно большой путь для того, чтобы внедрить подобное оборудование...*

**Е.М.:** Кабель в самом деле стандартный однопроводный. Планируется, что его сечение будет меньше, чем у трехпроводного. Но проблемы повреждения кабеля, естественно, будут стоять аналогично, как и для УЭЦН.