

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ И ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НИЗКОАДГЕЗИОННЫХ ЭЦН ПРИ ПОДЪЁМЕ ПЛАСТОВОЙ ЖИДКОСТИ

На конференциях мы докладывали о том, что при сравнительной оценке экономической эффективности УЭЦН на первом месте стоит увеличение наработки на отказ, так как это приводит к сокращению спусков и подъёмов установки, что влечёт за собой сокращения ремонтов и закупа дополнительного оборудования.

На втором месте - энергоэффективность установки.

Что касается первого вопроса, то мы уже много раз докладывали, что низкоадгезионные ЭЦН значительно увеличивают наработку на отказ в среднедебитных и, особенно в малодебитных фондах, осложненных солями, АСПО, неабразивными мехпримесями (глинами), а также в высокообводнённых скважинах с содержанием воды свыше 85 %.

По вопросу энергоэффективности, мы также докладывали, что при прочих равных условиях, низкоадгезионные ЭЦН на реальных пластовых жидкостях потребляют меньше мощности, нежели металлические аналоги, что обусловлено следующими факторами:

1. Меньшей деградацией КПД при подъёме вязкой пластовой жидкости;
2. Меньшей деградацией КПД во времени, обусловленной сужением проточных каналов вследствие засорения солями, АСПО и неабразивными мехпримесями;
3. Созданием эффекта газлифта мультифазными ЭЦН, обеспечивающими эффективную диспергацию газа на приёме насоса (до 55 % по объёму).

Всё это подтверждено проведёнными ОПИ в:

- Лангепасе, где достигнута экономия потребляемой электроэнергии на 14 %;
- Нягани - на 15 %;
- Самаре, где экономия электроэнергии от применения мультифазного модуля составила 22 %.

В настоящее время нефтяные компании для оценки энергоэффективности ЭЦН используют характеристики КПД, предоставляемые заводами-изготовителями, которые получены при стендовых испытаниях на воде.

На практике вязкость воды и перекачиваемой ЭЦН многофазной пластовой жидкости отличаются друг от друга.

Для проверки корректности оценки энергоэффективности ЭЦН по каталожным характеристикам, полученным при испытаниях на воде, а также оценки и улучшения энергоэффективности низкоадгезионных ЭЦН на реальных пластовых жидкостях, мы провели большой объем НИОКР.

I-ый этап НИОКР

В рамках первого этапа НИОКР мы провели сравнительные испытания по влиянию вязкости перетекающей жидкости на расходно-напорные характеристики рабочих органов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и нирезиста. Испытания проводились в РГУ нефти и газа имени Губкина.

Результаты испытаний приведены на рис.1,2:

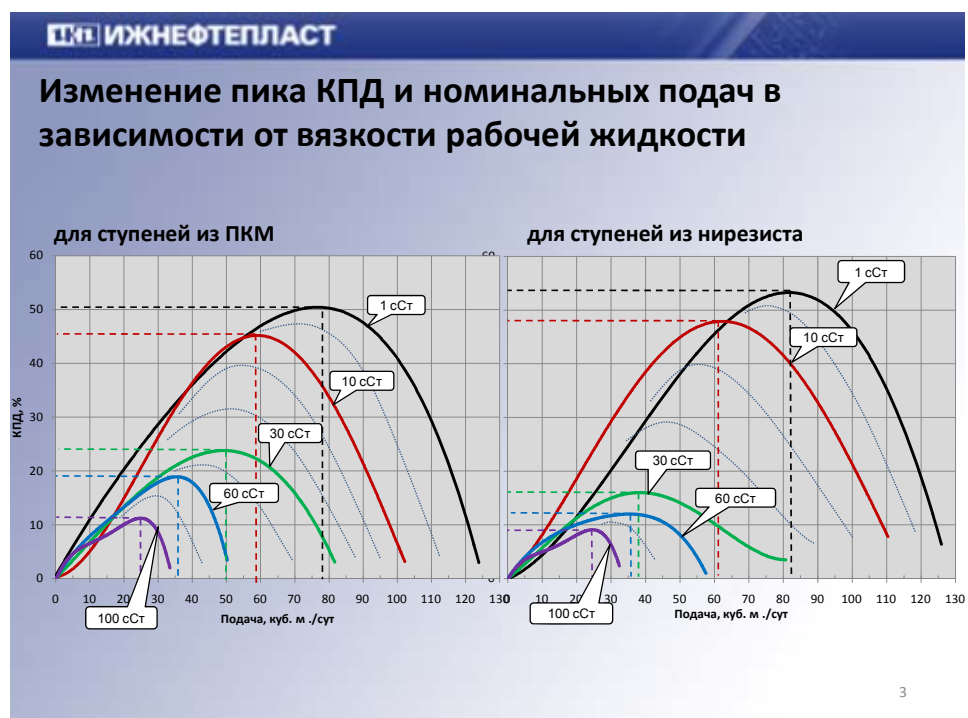


Рис.1

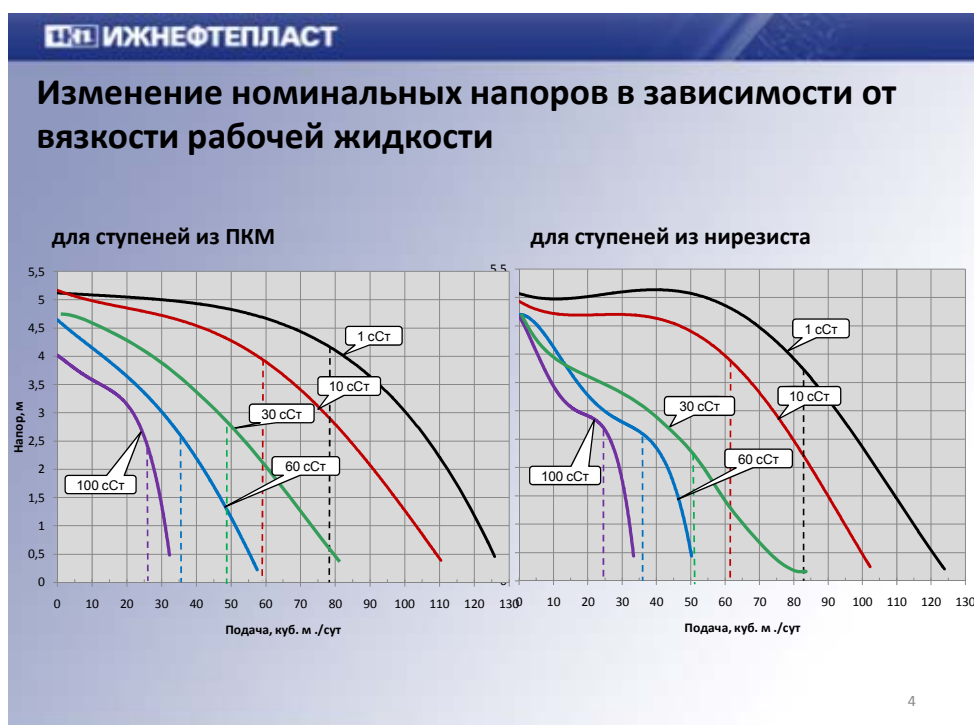


Рис.2

Испытания показали, что для обоих типов ступеней при увеличении вязкости перетекающей жидкости происходит непрерывное изменение характеристик ЭЦН (уменьшение номинальной подачи, напора, пика КПД и ширины рабочей зоны). Но характер изменения данных характеристик различен.

На рис.3 представлены зависимости изменения характеристик номинальных подач в зависимости от вязкости жидкости для обоих типов ступеней. Из них видно, что у рабочих органов из ПКМ снижение номинальных подач от 10 сСт до 100 сСт происходит в меньшей степени, затем они сравниваются.

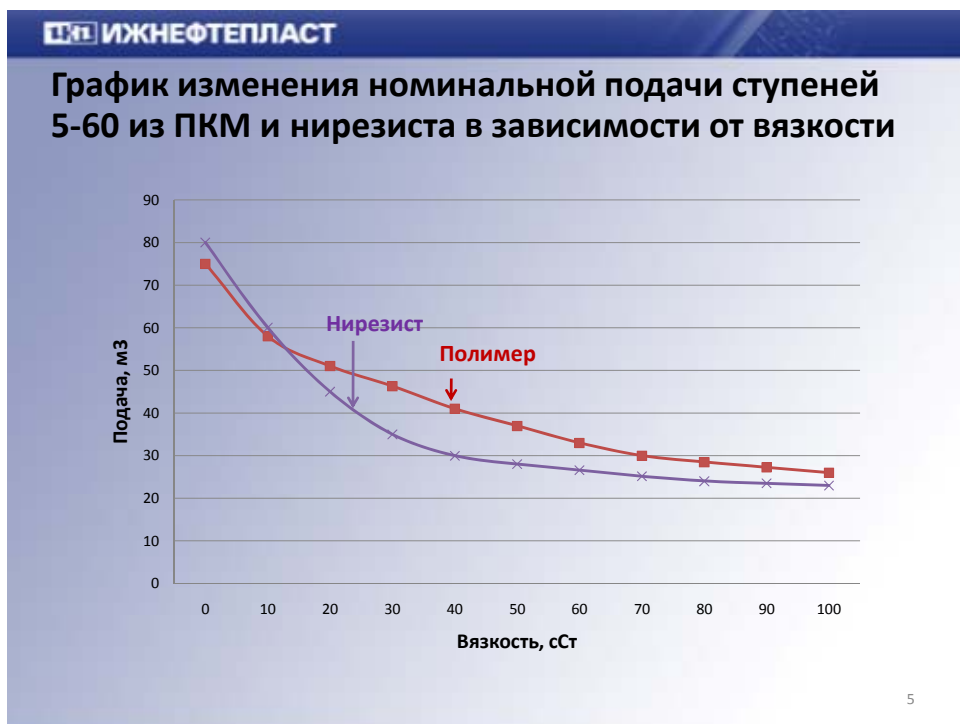


Рис.3

На рис.4 представлены зависимости изменения пиков КПД в зонах номинальных подач от вязкости жидкости для обоих типов ступеней. Из них видно, что КПД ступеней из ПКМ, с ростом вязкости изменяется в меньшей степени, особенно в диапазоне от 10 сСт до 30 сСт, далее процесс замедляется, но тем не менее на 100 сСт разность сохраняется.

График изменения пика КПД ступеней 5-60 из ПКМ и нирезиста в зависимости от вязкости

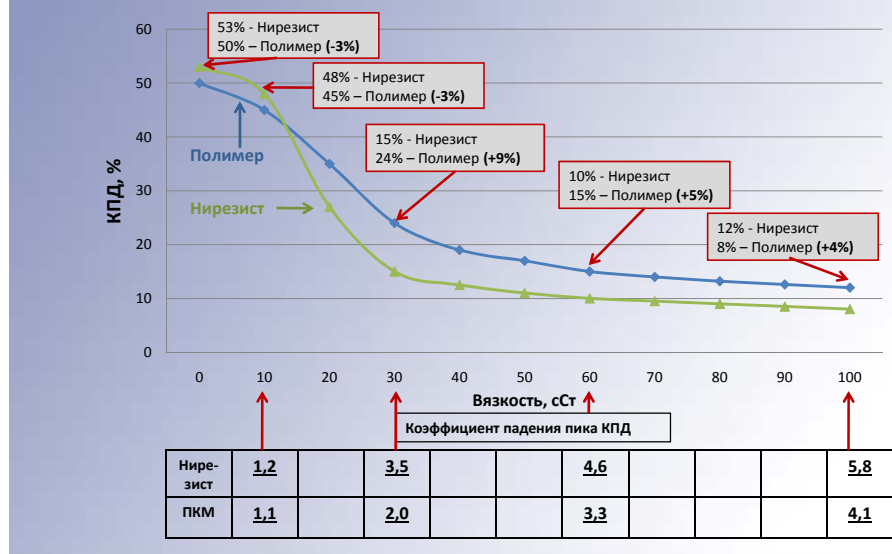


Рис.4

Из представленных зависимостей видно, что характер изменения характеристик рабочих органов из ПКМ и нирезиста при увеличении вязкости перетекающей жидкости различен.

Очевидно, чем более пологие и менее прогнутые данные характеристики, тем менее негативное влияние оказывает вязкость жидкости на гидродинамику рабочих органов. По нашему мнению, чем меньше производительность ступени, тем негативное влияние вязкости более значительно. В этом случае преимущества характеристик низкопроизводительных рабочих органов из ПКМ очевидно. Это связано с меньшим проявлением эффекта торможения поверхностями рабочих органов перетекающего объема жидкости в единицу времени.

Сейчас данное предположение мы проверяем.

Данные зависимости очень важны для дальнейшего понимания оценки энергоэффективности ЭЦН при подъеме вязких жидкостей. Об этом пойдет речь дальше.

ВЫВОДЫ:

1. Характер изменения КПД рабочих органов от вязкости перетекающей жидкости зависит от чистоты и шероховатости проточных каналов, а также от адгезии материала к вязким жидкостям. В свою очередь чистота и шероховатость зависят во времени от коррозионной стойкости материала.
2. Показатели чистоты и шероховатости поверхности, адгезии к жидкостям и коррозионные свойства материалов рабочих органов из ПКМ значительно выше металлических аналогов, изготовленных из любых материалов, по любым технологиям, а, следовательно, при равных условиях на воде, в вязких жидкостях их рабочие характеристики будут всегда более эффективными.

В настоящее время мы проводим сравнительные испытания рабочих органов из ПКМ и металла по влиянию вязкости на характеристики ступеней 5-25, 5-30 на 2910, 3600 и 6000 оборотах в минуту.

При рассмотрении вопроса влияния вязкости жидкости на характеристики насоса, необходимо учитывать, что вязкость перекачиваемой жидкости на протяжении длины насоса непрерывно изменяются, по причине повышения температуры, давления и плотности перетекающей жидкости.

Следовательно, характеристики каждой ступени также изменяются по зависимостям, о которых речь шла выше. В этом случае характеристики насоса, перекачивающего вязкую жидкость, будут определяться трёхмерными интегральными характеристиками, зависящими от распределения вязкости жидкости по длине насоса, и являющимися суммой рабочих характеристик каждой ступени, как показано на рис.5.

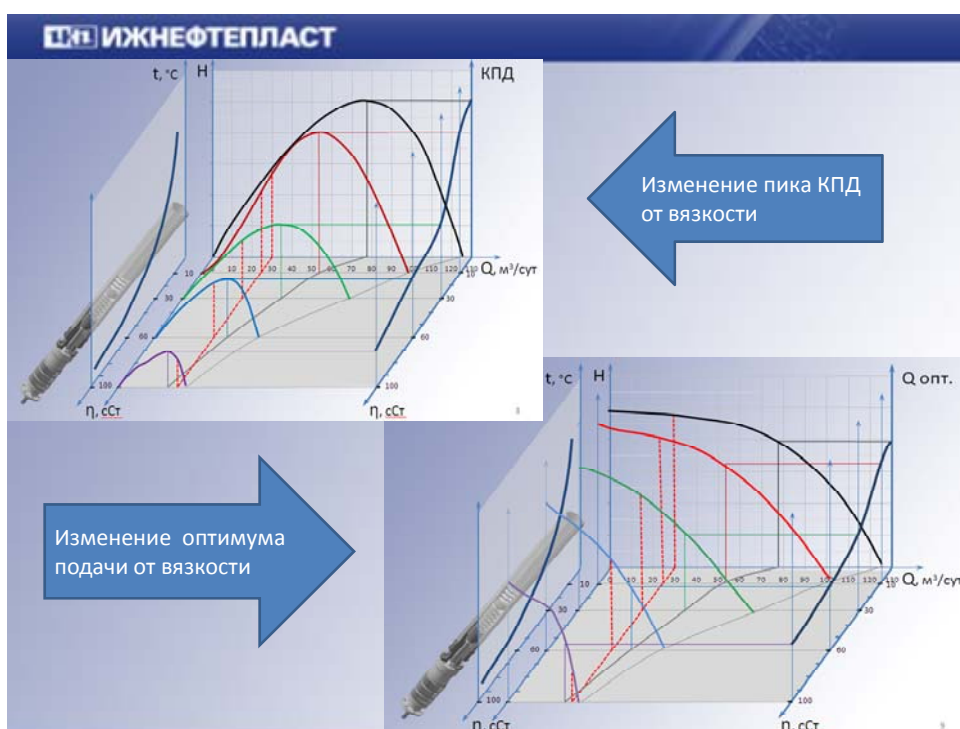


Рис.5

Интегральные характеристики, а также номинальная подача и рабочий диапазон насоса всегда будут различными в зависимости от условий эксплуатации и должны определяться при подборе к скважине на основе изменения вязкости по длине насоса.

В этом случае величина номинальной подачи должна входить в рабочий диапазон максимального количества ступеней и обеспечивать создание максимального напора насоса при минимальной потребной мощности.

Приведем пример определения номинальной подачи ЭЦН 5-80 при различной вязкости по длине насоса. Определение номинальной подачи зависит от месторасположения точки 10 сСт (7 мПа*с) на координате вязкости интегральной характеристики.

(* - величина 10 сСт определяет вязкость, начиная с которой происходит резкая деградация рабочих характеристик ступеней насоса).

Если точка 10 сСт расположена ближе к концу ЭЦН, то большая часть ступеней насоса будут работать в зоне низких КПД, поэтому номинальная подача будет располагаться в зоне ступеней с характеристиками КПД максимальной вязкости (см. рис. 6 Вариант 1).

Если точка 10 сСт расположена ближе к началу ЭЦН, то большая часть ступеней насоса будут работать в зоне высоких КПД, поэтому номинальная подача будет располагаться в зоне ступеней с характеристиками КПД минимальной вязкости (см. рис.6 Вариант 2). В этом случае, ступени на начальном отрезке насоса не будут создавать напор, а работать только как диспергаторы с нагревом жидкости.

Таким образом, в зависимости от величины вязкости на входе ЭЦН и ее распределения по длине насоса, один и тот же насос может быть оптимален с точки зрения энергоэффективности в разных рабочих зонах для разных дебитов скважин, как показано на рис.6.

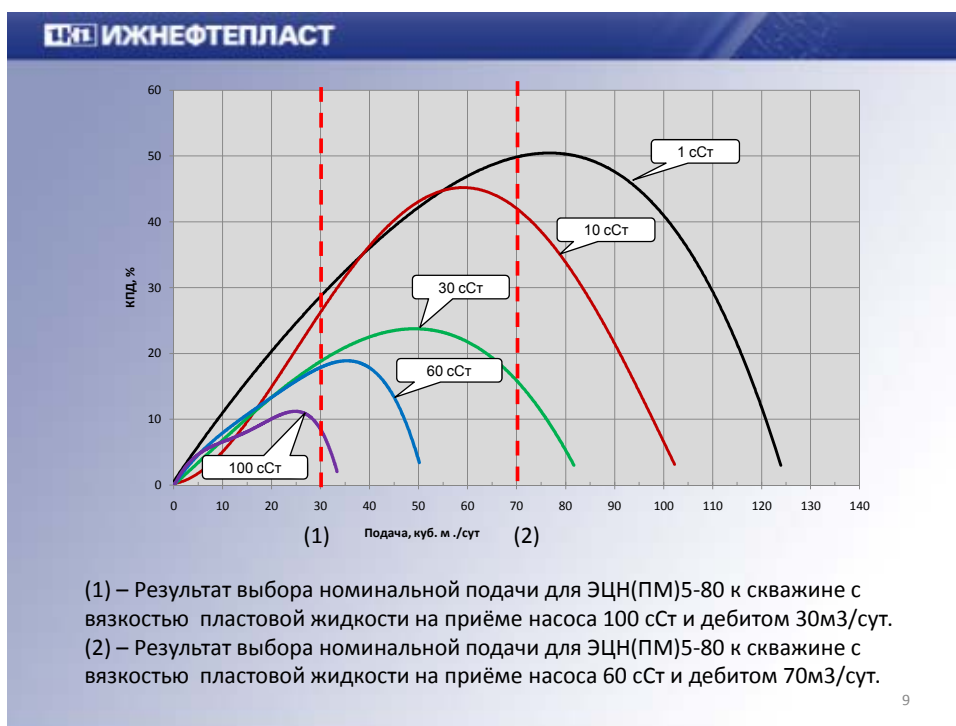


Рис.6

ВЫВОД:

Высокий КПД насосов по каталожным характеристикам не является показателем энергоэффективности.

Визуальную оценку насосов, перекачивающих реальные пластовые жидкости, по энергоэффективности необходимо производить по интегральным характеристикам, полученным на жидкостях разной вязкости.

В этом случае насос, у которого КПД на воде больше, а также характеристики КПД на жидкостях разной вязкости более растянуты и менее смещены влево и вниз, потенциально более энергоэффективен.

Реальный выбор насоса по энергоэффективности необходимо производить на основе трехмерных интегральных характеристик, построенных на основе изменения вязкости по длине насоса при подборе к скважине.

Для создания конкурентных преимуществ по энергоэффективности при работе ЭЦН на реальных пластовых жидкостях, мы провели улучшение рабочих характеристик существующей линейки ЭЦН 5-го габарита. Рис.7-12.

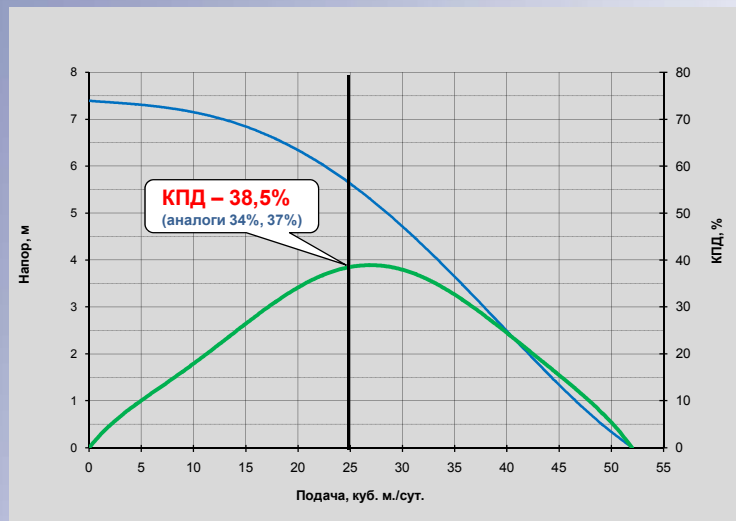
При этом были поставлены следующие цели:

1. Величина напора и КПД в номинальной подаче не должна быть ниже существующих на рынке аналогов.
2. Максимум КПД должен быть близок к номинальной подаче рабочего диапазона.



Рис.7

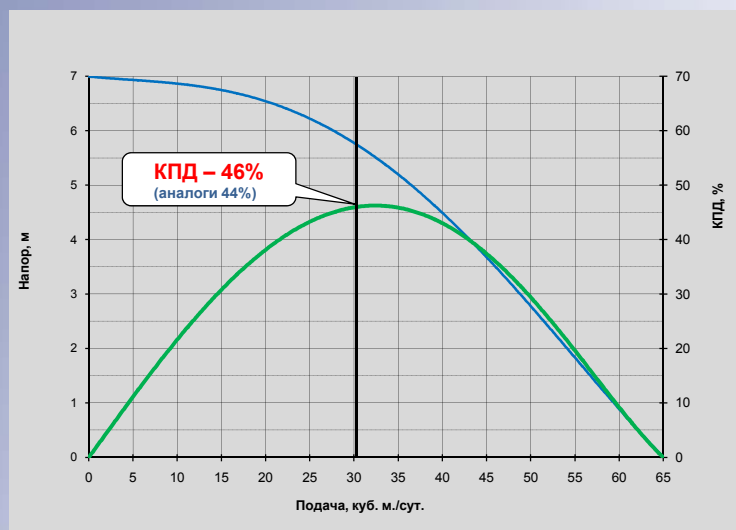
Характеристики новой ступени 5-25



13

Рис.8

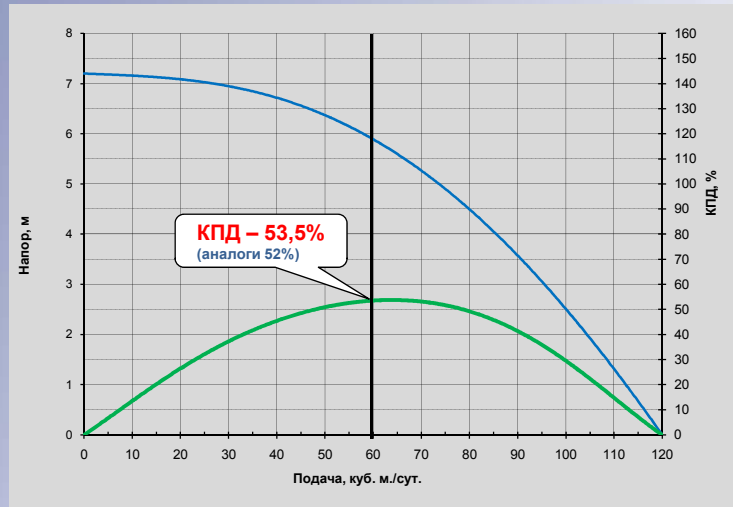
Характеристики новой ступени 5-30



14

Рис.9

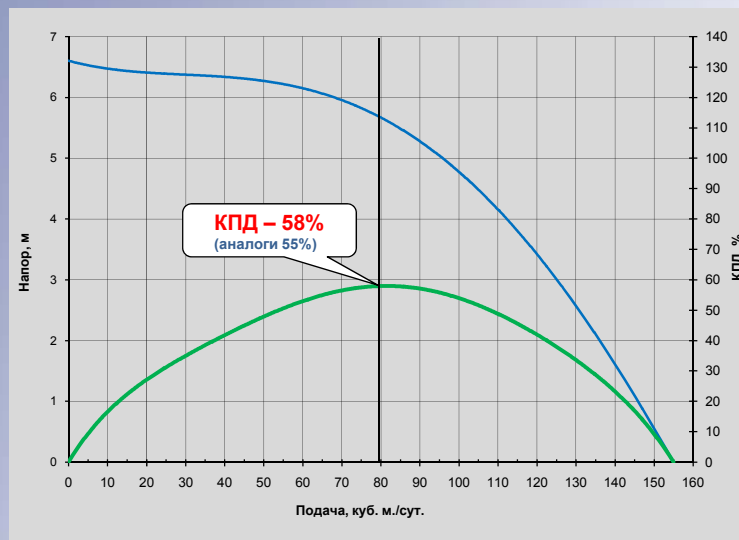
Характеристики новой ступени 5-60



15

Рис.10

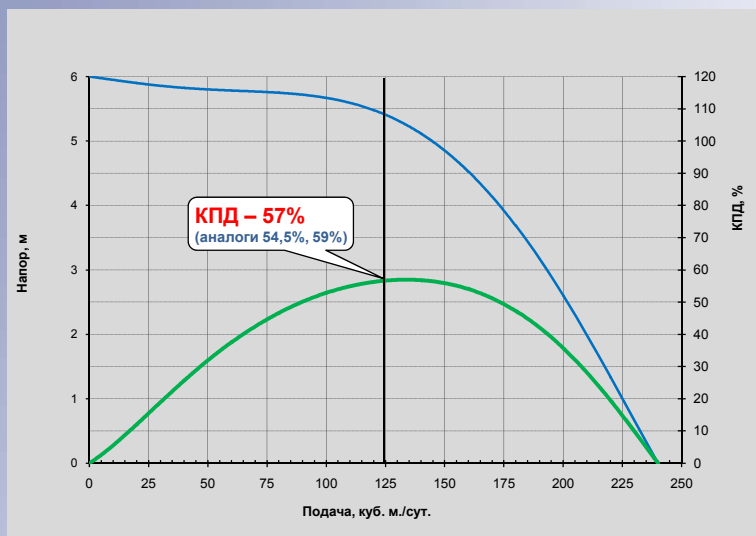
Характеристики новой ступени 5-80



16

Рис.11

Характеристики новой ступени 5-125



17

Рис.12

Помимо конструктивного улучшения характеристик был подобран полимер с более низкой адгезией к вязким жидкостям. Сейчас данный полимер проходит испытания.

II-ой этап НИОКР

Для реального сокращения энергопотребления при подъеме пластовой жидкости с использованием УЭЦН, необходимо выполнение, как минимум трех обязательных условий:

1. Наличие энергоэффективных УЭЦН по интегральным характеристикам КПД.
2. Оптимальный подбор УЭЦН к скважине по критерию энергоэффективности.
3. Обеспечение работы УЭЦН на скважине в соответствии с расчетными параметрами.

На данном этапе нами были рассмотрены вопросы эффективности существующих методик подбора насоса к скважине для подъема пластовых жидкостей по критерию энергоэффективности, а также пути их совершенствования.

К сожалению, мы не смогли рассмотреть существующие подходы в наиболее распространенных автоматизированных системах, таких как «Автотехнолог», в связи с их закрытостью. Поэтому мы ограничились методиками, описанными в методической литературе.

В методиках применяется следующая схема расчета.

При подборе насоса к скважине, по критерию энергоэффективности, рассчитывается усредненная кажущаяся вязкость перекачиваемой жидкости, потребная подача, напор и выбирается габарит насоса, затем по каталожным характеристикам выбирается насос с максимальным КПД, в рабочий диапазон которого входит потребная подача. Далее каталожные характеристики пересчитываются на вязкость жидкости, на основании

которых затем рассчитывается количество ступеней, потребная мощность и выбирается двигатель.

По нашему мнению, при таком подходе существуют две серьезные проблемы, которые не позволяют эффективно подобрать насос с наименьшим потреблением энергии к скважине с вязкой жидкостью.

Первая проблема связана с методами пересчета каталожных характеристик насосов, полученных на воде, на характеристики для перекачиваемой вязкой жидкости. В настоящее время широко используются эмпирические методы, основанные на использовании экспериментально полученных зависимостей для конкретных насосов. Наиболее известный из них и получивший широкое распространение – это метод Ляпкина П. Результаты работ разных авторов, проводивших исследование данных методов на достоверность получаемых расчётов с экспериментальными данными, показывают, что для современных конструктивов ступеней, применяемых материалов и технологий, эти методы дают значительную погрешность – до 25 %.

Вторая проблема связана с пересчетом каталожных характеристик по усредненной вязкости перетекающей жидкости в насосе. При этом не учитывается непрерывное изменение вязкости по длине насоса, а, следовательно, изменение рабочих характеристик каждой ступени и смещения их рабочего диапазона от каталожных значений (о чем шла речь выше).

При неправильном выборе рабочего диапазона, говорить об оценке энергоэффективности насоса представляется некорректным.

С учётом сказанного, предлагается следующая логика автоматизированного подбора насоса к скважине для перекачки вязких жидкостей по критерию энергоэффективности:

1. Рассчитывается потребная подача, напор и выбирается габарит насоса.
2. Рассчитывается вязкость на входе ЭЦН, если она меньше 10 сСт, то применяется обычная методика выбора ЭЦН, если она более 10 сСт, то необходима особая методика выбора ЭЦН, учитывающая все аспекты, перечисленные в данной статье:
 - 2.1. По справочнику ЭЦН выбирается насос, в рабочий диапазон которого входит заданный дебет скважины;
 - 2.2. Для каждой ступени выбранного насоса последовательно от начала производится расчет температуры и вязкости;
 - 2.3. На основании реальных характеристик напора и мощности для выбранного насоса, полученных на жидкостях разных вязкостей, а также рассчитанной вязкости, для каждой ступени определяется напор и потребляемая мощность;
 - 2.4. Напор и потребляемая мощность каждой ступени суммируются, пока напор не достигнет расчетного значения;
 - 2.5. Пункты 2.1-2.4 повторяются для всех ЭЦН данного типоразмера, затем последующих типоразмеров и т.д. При этом каждый раз производится выборка ЭЦН, у которого потребляемая мощность при заданном напоре будет минимальной. Процесс выборки

заканчивается тогда, когда у всех последующих насосов потребляемая мощность будет возрастать;

- 2.6. Насос с потребным напором и наименьшей потребляемой мощностью будет самым энергоэффективным.

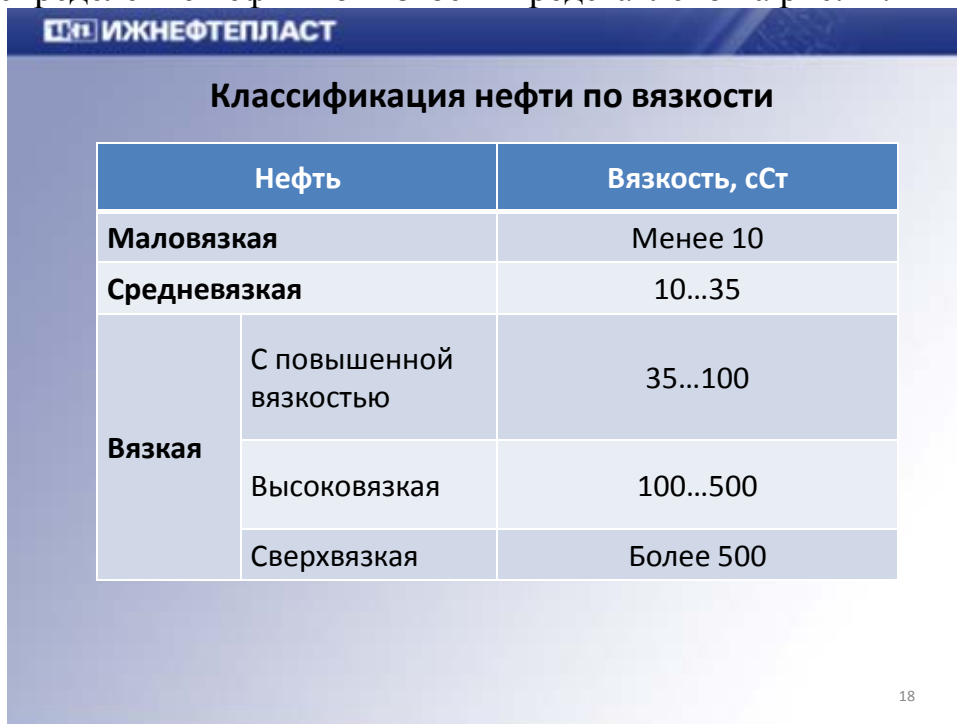
III^{ий} этап НИОКР

В рамках третьего этапа НИОКР, в соответствии с существующей классификацией нефти по вязкости, мы провели анализ объемов и распределения её по регионам и месторождениям.

По данным исследований Института химии нефти Российской академии наук, в монографиях Ю.М. Полищук и И.Г. Яценко, показано, что в России большую часть запасов составляют трудноизвлекаемые нефти, в частности, вязкие нефти (ВН), к которым принято относить нефти с вязкостью 30 мПа*с или 35 сСт и выше. Такие запасы сосредоточены в основном в Западно-Сибирском (37,3 %), в Волго-Уральском (34,1 %), Тиманопечорском (22,4 %) бассейнах. В совокупности эти три региона обладают более 93 % запасов ВН России.

Классификация нефти по вязкости представлена на рис.13.

Распределение нефти по вязкости представлено на рис.14.



ИЖНЕФТЕПЛАСТ

Классификация нефти по вязкости

Нефть		Вязкость, сСт
Маловязкая		Менее 10
Средневязкая		10...35
Вязкая	С повышенной вязкостью	35...100
	Высоковязкая	100...500
	Сверхвязкая	Более 500

18

Рис.13



Рис.14

Несмотря на то, что в приведенной диаграмме процент вязких нефтей составляет 47,5 %, а средневязких – 27,7 %, реальная вязкость пластовой жидкости может быть во много раз меньше вязкости сепарированной жидкости на поверхности, вследствие большого количества растворённого газа, содержащегося в ней и пластовых температур.

По данным Г.Ф. Требина вязкость пластовых жидкостей в условиях различных месторождений изменяется:

- от сотых до десятых долей мПа*с – таких залежей около 25 %;
- от 1 до 7 мПа*с – таких залежей около 50 %;
- от 7 до 30 мПа*с – таких залежей около 25 %.

Однако, есть месторождения, вязкость пластовых жидкостей в которых может достигать значительных величин 700 мПа*с и более.

Из приведенных данных видно, что около 25% процентов залежей имеют вязкость пластовой жидкости от 7 до 30 мПа*с, поэтому проблема правильного выбора и расчёта энергоэффективности ЭЦН при подборе к скважине с учётом вязкости пластовой жидкости, в рамках вышесказанного, очень актуальна.

ВЫВОДЫ:

1. С учетом того, что реальные пластовые жидкости на приеме ЭЦН могут иметь вязкость более 7 мПа*с (10 сСт), энергоэффективность насоса необходимо оценивать не по каталожным характеристикам, а по интегральным характеристикам КПД, полученным на жидкостях разной степени вязкости.
2. Подбор ЭЦН к скважинам по критерию энергоэффективности необходимо производить на основе трехмерных моделей интегральных

рабочих характеристик, рассчитанных для конкретных условий эксплуатации.

- 3. Низкоадгезионные ЭЦН с рабочими органами из ПКМ при подъёме пластовых жидкостей вязкостью более 7 мПа*с по критерию энергоэффективности, потенциально превосходят ЭЦН с металлическими рабочими органами, выполненными по всем известным технологиям.**