

Утверждены на заседании №10
Правления Экспертного совета по
механизированной добыче нефти
14 декабря 2021 г.

Рекомендации

«О порядке испытаний скважинных электроприводных лопастных
насосов на горизонтальных стендах»

Экспертный совет по механизированной добыче нефти

Москва, 2021 г.

Рекомендации Экспертного совета по механизированной добыче нефти

www.pump-sovet.com

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ.....	2
1.1. Общие сведения о документе.....	2
1.2. Назначение документа.....	2
1.3. Область применения.....	2
1.4. Вводимые определения, термины и сокращения.....	2
1.5. Нормативные ссылки.....	3
2. ТРЕБОВАНИЯ К ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ СТЕНДУ.....	3
3. ПРОЦЕДУРА ИСПЫТАНИЯ ЭЛН.....	5
4. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И КРИТЕРИИ ПРИЕМКИ.....	7
5. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ.....	7

1. ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

1.1. Общие сведения о документе.

Настоящий документ рекомендован к применению в нефтегазодобывающей отрасли.

1.2. Назначение документа.

Целью настоящих Рекомендаций является описание порядка проведения испытаний секций скважинных электроприводных лопастных насосов (ЭЛН) на горизонтальных стендах. В данных Рекомендациях по испытаниям содержатся требования к испытательному оборудованию, правила и процедуры, охватывающие испытание рабочих характеристик ЭЛН для обеспечения постоянства, стабильности характеристик и параметров выпускаемой продукции.

1.3. Область применения.

Данные Рекомендации распространяются на приемочные, приемо-сдаточные испытания и испытания при входном контроле секций скважинных электроприводных лопастных насосов (новых и отремонтированных).

1.4. Вводимые определения, термины и сокращения.

В настоящем документе применяются термины и определения по ГОСТ 6134 и ГОСТ Р 56830.

Рекомендации Экспертного совета по механизированной добыче нефти

www.pump-sovet.com

1.4.1 Частота вращения, n , с^{-1} , мин^{-1} : Число оборотов вала в единицу времени.

1.4.2 Угловая скорость, ω , рад/с : Число радиан поворота вала в единицу времени

$$\omega = 2\pi n \quad (1)$$

1.4.3 Плотность, ρ , кг/м^3 : Масса в единице объема.

1.4.4 Давление, P , Па : Сила, приходящаяся на единицу площади

1.4.5 Мощность, N , Вт : Энергия, передаваемая за единицу времени

1.4.6 Подача, Q , $\text{м}^3/\text{сут}$: Объем жидкости, который проходит через насос в единицу времени.

1.4.7 Напор, H , м : Энергия единицы массы жидкости, деленная на гравитационное ускорение свободного падения g .

1.4.8 Лопастной насос: Насос, в котором происходит преобразование механической энергии привода в гидравлическую энергию жидкости на основе силового взаимодействия лопастной системы и перекачиваемой жидкости.

1.4.9 Номинальные параметры: Установленные производителем параметры насоса.

1.4.10 Рабочий диапазон: Часть характеристики, в пределах которой рекомендуется эксплуатировать оборудование.

1.4.11 Режим закрытой задвижки: Режим работы насоса при подаче, равной нулю.

1.4.12 Режим максимальной подачи: Режим работы насоса при напоре, близком к нулю.

1.5. Нормативные ссылки.

ГОСТ 6134–2007 (ИСО 9906:1999) Насосы динамические. Методы испытаний.

ГОСТ Р 56830-2015 Нефтяная и газовая промышленность. Установки скважинных электроприводных лопастных насосов. Общие технические требования.

ГОСТ Р ИСО 7919-1-99 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Общие требования.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ СТЕНДУ

Рекомендации Экспертного совета по механизированной добыче нефти

www.pump-sovet.com

2.1 Направление вращения вала испытываемых ЭЛН: правое или левое в зависимости от конструкции ЭЛН.

2.2 Стенд должен иметь водоподводящую головку с гидравлическим уплотнением и валом с шлицевым концом для соединения с испытываемым ЭЛН при помощи шлицевой муфты.

2.3 Вал водоподводящей головки должен иметь возможность через муфту воспринимать осевую силу от вала испытываемого ЭЛН.

2.4 Конструкция ложементов, на которые устанавливаются испытываемый ЭЛН, должна обеспечивать соосность вала водоподводящей головки и вала ЭЛН.

2.5 Стенд должен иметь регулируемый подпорный насос в подающем трубопроводе и обеспечивать возможность поддержания постоянного избыточного давления на входе в испытываемый ЭЛН не менее $1,5 \text{ кгс/см}^2$ и не более давления, ограниченного герметичностью соединений стенда. Данный подпор должен учитываться при определении напорно-расходных характеристик (НРХ) ЭЛН. Производительность подпорного насоса должна быть, как минимум, в 1,2 раза больше максимальной производительности испытываемого ЭЛН.

2.6 Собственная вибрация стенда во всем диапазоне частот вращения без установленного ЭЛН не должна превышать $1,5 \text{ мм/с}$.

2.7 Если измерение расхода на стенде осуществляется после испытываемого ЭЛН, стенд должен обеспечивать возможность визуального наблюдения за отсутствием воздушных пузырей на выкиде испытываемого ЭЛН.

2.8 Программно-технический комплекс (ПТК) стенда должен обеспечивать определение мощности холостого хода водоподводящей головки стенда и ее учет при определении мощности испытываемого ЭЛН.

2.9 ПТК стенда должен обеспечивать введение регулируемой задержки по времени между установкой заданной подачи задвижкой (задвижками) и проведением замера на этой подаче.

2.10 При организации возврата воды после ЭЛН в стенд необходимо, чтобы конец выкидного патрубка в приемной емкости всегда находился под зеркалом воды. Емкость, куда сбрасывается вода из выкидного патрубка, должна иметь конструктивный элемент, играющий роль успокоителя колебаний воды. Например, как показано на рисунке 1.

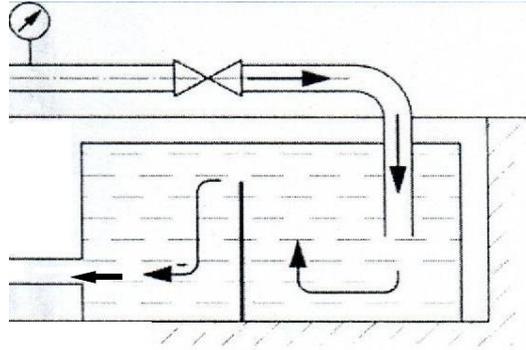


Рисунок 1. Схема возврата воды после ЭЛН в стенд

3. ПРОЦЕДУРА ИСПЫТАНИЯ ЭЛН

3.1. Условие проведения испытаний.

3.1.1 Испытания ЭЛН проводят в соответствии с ГОСТ 6134 на чистой холодной воде. Параметры чистой холодной воды должны соответствовать значениям в таблице 1. Во время испытаний не должно происходить аэрирование воды, увеличение в ней содержания газа.

3.1.2 ЭЛН должен устанавливаться горизонтально на двух или более ложементов. К водоподводящей головке ЭЛН крепится жестко при помощи болтов и фланцевых соединений. Ложементы стенда должны быть равномерно распределены по всей длине испытываемого ЭЛН. В процессе обкатки допускается регулирование положения ложементов в пределах ± 200 мм таким образом, чтобы обеспечить получение минимального значения уровня вибрации.

Таблица 1 – Характеристики чистой холодной воды.

Показатель, ед. измерения	Значение, не более
1. Температура, °С	40
2. Кинематическая вязкость, м ² /с	$1,75 \cdot 10^{-6}$
3. Плотность, кг/м ³	1050
4. Концентрация взвешенных частиц, кг/м ³	2,5
5. Концентрация нефтепродуктов, мг/л	3,2

3.2 Данные и графики.

3.2.1 НРХ и энергетические характеристики (ЭХ) ЭЛН показывают зависимости напора (м), потребляемой мощности (Вт) и КПД (%) от подачи ($\text{м}^3/\text{сут}$). Несмотря на то, что испытания проводятся на многоступенчатых насосах, характеристики приводят к одной ступени каждого типа насоса. Все кривые, полученные на стенде, не включают в себя мощности компонентов самого стенда, например, потери холостого хода электродвигателя, потребляемую мощность водоподводящей головки и т.д.

3.2.2 НРХ и ЭХ, для насосов с номинальной (синхронной) частотой вращения 3000 об/мин, должны быть приведены к частоте вращения 2910 об/мин. Если номинальная частота вращения насоса отлична от 3000 об/мин, то НРХ и ЭХ должны быть приведены к номинальной частоте указанной производителем, а испытание должно проводиться при частоте, указанной в пункте 3.4.4.

3.2.3 Построение НРХ и ЭХ проводят по полиномам, рассчитанным на основе замеренных параметров.

3.3 Этапы испытания ЭЛН.

3.3.1 Испытываемый ЭЛН в начале теста должен быть заполнен водой, с контролем отсутствия в ней воздушных пузырьков. Запуск производят при открытой задвижке и далее проводится обкатка в области левой границы рабочей зоны подачи.

3.3.2 Время обкатки должно быть достаточным для получения стабильных результатов напора, мощности и вибрации.

3.3.3 После окончания времени обкатки проводят испытания ЭЛН с замером параметров от закрытой задвижки к открытой. По полученным результатам замеров строятся аппроксимированные кривые (полиномы) напора, потребляемой мощности и КПД от подачи, с учетом замеренной частоты вращения в каждой точке. Данные кривые являются результатом испытания.

3.4 Контрольные точки испытания при снятии НРХ и ЭХ.

3.4.1 Общее число значений подач при испытании должно быть не менее 10. При этом, обязательно должны быть точки при закрытой задвижке, при открытой задвижке, а число значений подач в рабочем диапазоне должно быть не менее 5. Значение подач в рабочем диапазоне должны отличаться от соседних значений не более чем на 12% номинальной подачи.

3.4.2 Фактические точки замера подачи могут отличаться от заявленных производителем номинальной подачи и подач границ рабочего диапазона не более $\pm 5\%$.

3.4.3 Измерение частоты вращения насоса, его потребляемой мощности и расчет КПД проводят согласно ГОСТ 6134.

3.4.4 Испытания могут проводиться при частоте вращения в диапазоне 80-120% от номинальной. При этом изменением КПД можно пренебречь.

4. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И КРИТЕРИИ ПРИЕМКИ

4.1. Погрешности измерения стенда должны соответствовать классу 2 по ГОСТ 6134.

4.2. В таблице 2 приведены предельные погрешности для измерительных приборов, используемых во время испытания.

4.3. Допустимые отклонения по напору ЭЛН в пределах рабочего диапазона $\pm 5\%$.

4.4. Допустимое снижение КПД ЭЛН в пределах рабочего диапазона не более 5%.

4.5. Виброскорость, измеренная по ГОСТ Р ИСО 7919-1, не должна превышать 4 мм/с.

4.6. Допустимые отклонения мощности в пределах рабочего диапазона не более 8%.

Таблица 2 - Предельные погрешности для измерительных приборов

Параметр	Предельная погрешность (процент от полной шкалы), %
1. Подача	$\pm 3,0$
2. Давление (напор)	$\pm 3,0$
3. Частота вращения (об/мин)	$\pm 1,5$
4. Потребляемая мощность	$\pm 3,0$
5. Вибрация	$\pm 6,5$

5. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

5.1. Результаты измерений должны быть обработаны с целью получения количественных значений работы ЭЛН в условиях проведения испытания на каждом режиме, а затем пересчитаны на номинальные условия для сравнения с номинальными значениями.

5.2. Формула для расчета измеренного напора насоса:

Рекомендации Экспертного совета по механизированной добыче нефти

www.pump-sovet.com

$$H_{и} = 0.102 \frac{P_{M2} - P_{M1}}{\rho}, \text{ м} \quad (2)$$

где: P_{M1} – давление на входе в ЭЛН, Па;

P_{M2} – давление на выходе ЭЛН, Па;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³.

КПД насоса определяется по формуле:

$$\eta = \frac{N_{п}}{N} = 0,981 \frac{\rho Q_{и} H_{и}}{M \omega}, \quad (3)$$

где: $Q_{и}$ – измеренная производительность насоса, м³/сут

$N_{п}$ – полезная мощность ЭЛН, Вт;

N – потребляемая мощность ЭЛН, Вт, вычисленная по формуле:

$$N = M \omega, \quad (4)$$

где: M – крутящий момент на валу насоса, Н·м;

ω – угловая скорость вращения, рад/с.

5.3. В соответствии с ГОСТ 6134 полученные результаты проведенных испытаний должны быть приведены к номинальной частоте вращения (числу оборотов $n_{н}$), при необходимости, к номинальной плотности перекачиваемой жидкости по формулам:

$$Q = Q_{и} \frac{n_{н}}{n_{и}}, \quad (5)$$

$$H = H_{и} \left(\frac{n_{н}}{n_{и}} \right)^2, \quad (6)$$

$$P = P_{и} \left(\frac{n_{н}}{n_{и}} \right)^3 \frac{\rho_{н}}{\rho_{и}}, \quad (7)$$

$$\eta = \eta_{и}, \quad (8)$$

где: параметры с индексом «и» относятся к измеренным значениям, полученным при испытаниях, параметры с индексом «н» - к номинальным значениям.

5.4. Анализ соответствия ЭЛН требованиям осуществляется на основании ГОСТ 6134 и требований п. 4 данных Рекомендаций.

Рекомендации Экспертного совета по механизированной добыче нефти

www.pump-sovet.com