

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК
НЕФТЯНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ОТ ВЯЗКОСТИ
РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ**

***Аннотация:** В работе представлены результаты по изучению влияния вязкости жидкости и частоты вращения вала на рабочие характеристики нефтяных насосов. Предложен испытательный стенд для получения рабочих характеристик нефтяных насосов при различной вязкости рабочей жидкости и частотах вращения вала от 2000 до 6000 об/мин. Предложена методика обработки результатов испытаний при помощи безразмерных величин с последующим их использованием в программах подбора оборудования.*

***Ключевые слова:** вязкость, частота вращения, безразмерная зависимость.*

***Abstract:** The paper presents the results of studying the influence of liquid viscosity and shaft speed on the performance characteristics of oil pumps. Proposed test bench for obtaining the performance of the oil pump at various viscosity of working fluid and shaft rotational speed from 2000 to 6000 RPM. The proposed method of analysis of test results using dimensionless quantities and their subsequent use in programs of selection of equipment.*

***Keywords:** viscosity, rotation speed, dimensionless dependence.*

В настоящее время в нефтяной промышленности всё больше запасов углеводородов переходят в разряд сложноизвлекаемых, при этом увеличивается вязкость добываемой жидкости, как следствие встаёт выбор способов извлечения таких запасов. С каждым годом увеличивается число скважин, оборудованных электроцентробежными насосами (ЭЦН), как следствие встаёт вопрос о прогнозировании рабочих характеристик ЭЦН при перекачивании вязких жидкостей. Как правило, производители ЭЦН в своих каталогах продукции указывают значения характеристик насосов, полученных при испытаниях на воде с вязкостью 1 сСт. В нефтяной промышленности существуют методики прогнозирования рабочих характеристик ЭЦН при перекачивании вязких жидкостей, такие как методика П.Д. Ляпкина [1], стандарт API, и другие. Использование данных методик при прогнозировании работы характеристик насосов при различных вязкостях может приводить к ошибкам от 30 до 80%, что приведёт к неправильному подбору ЭЦН к скважине, в результате чего произойдёт отказ или аварийная ситуация. В нефтяной отрасли, как и в других отраслях отечественной промышленности, существует тенденция к увеличению энергоэффективности используемого оборудования. Одним из путей увеличения энергоэффективности ЭЦН является повышение рабочей частоты насосов, что приводит к увеличению их напорности, снижению металлоёмкости и применению вентильных приводов с КПД на 5–10% большим, чем у асинхронных приводов. Существующие методики прогнозирования характеристик ЭЦН при работе на вязких жидкостях не предназначены для случаев увеличения рабочей частоты насосов более чем в 2 раза и дают погрешность более чем на 80 %. Наиболее точным способом определения рабочих характеристик насосов при перекачивании вязких жидкостей является метод испытания насосов на специализированных стендах с целью получения рабочих характеристик при различной вязкости и частоте вращения вала.

Для проведения испытаний ЭЦН при перекачивании вязких жидкостей был собран испытательный стенд (рис. 1).

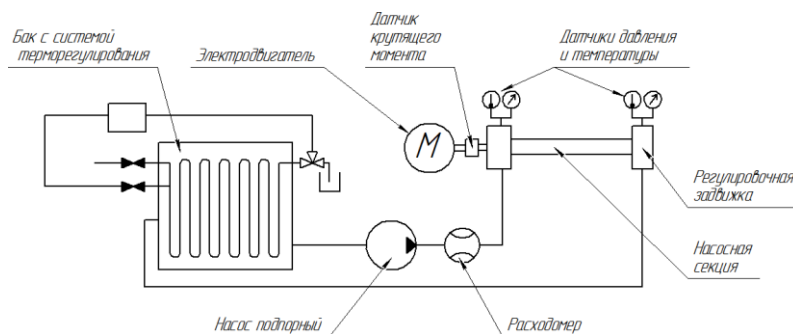


Рисунок 1. Принципиальная схема стенда для испытаний ЭЦН на вязких жидкостях и различных частотах вращения вала

Стенд работает следующим образом. В бак с системой терморегулирования заливается эталонная жидкость, как правило, используется моторное или трансмиссионное масло с известной характеристикой изменения вязкости и плотности жидкости от температуры. Эталонная жидкость поступает из бака в подпорный насос по системе трубопроводов, после чего под избыточным давлением через расходомер жидкость поступает в испытуемый ЭЦН, приводимый в работу при помощи электродвигателя с частотно-регулируемым приводом. На входе в насос и на выходе из него измеряется давление и температура жидкости для получения напорно-расходных характеристик, а при помощи датчика крутящего момента измеряется действующее значение крутящего момента на валу насоса, которое преобразовывается в потребляемую мощность и используется для получения энергетических характеристик ЭЦН. Изменение расхода жидкости осуществляется при помощи регулировочной задвижки, установленной на выходе из испытуемого насоса. При помощи системы терморегулирования происходит измерение рабочей температуры эталонной жидкости и как следствие изменение её вязкости. Использование в испытательном стенде системы терморегулирования и частотно-регулируемого привода позволяет получать данные о работе ЭЦН при различных вязкостях и частотах вращения вала.

Испытания проводят следующим образом. После монтажа испытуемого насоса на стенд при помощи системы терморегулирования в баке подготавливают эталонную жидкость определённой температуры, после чего рабочая жидкость поступает в подпорный насос, который создаёт избыточное давление на входе в испытуемый насос, приводимый в работу при помощи электродвигателя. Получение напорно-расходных и энергетических характеристик осуществляется от полностью закрытой задвижки на выходе из насоса, что соответствует нулевому расходу до полностью открытой задвижки и нулевому давлению на выходе из насоса, что соответствует его максимальной подаче. Во время испытания частота вращения вала и вязкость рабочей жидкости поддерживаются постоянными. После завершения испытания производится изменение вязкости эталонной жидкости и повторение действий по получению характеристики насоса на другой вязкости и частоте вращения вала.

Обработка результатов испытаний. Результатом испытаний является набор параметров напора, расхода, мощности, частоты вращения вала, вязкости, КПД, что сложно представить в виде таблиц, которые будут большими и сложными для восприятия, а также, невозможно построить графическую зависимость от всех этих величин одновременно. Цель же использования полученных данных состоит в использовании их для подбора нефтяных насосов к скважинам. Для упрощения обработки получаемых данных и применению их в программах подбора был применен способ обезразмеривания характеристик по принципу теории подобия лопастных насосов [2]. В результате были получены зависимости безразмерного напора h , безразмерной подачи q , безразмерной мощности n , безразмерной вязкости ν .

$$h = \frac{g \cdot H}{f^2 \cdot D^2} ;$$
$$q = \frac{Q}{f \cdot D^3} ;$$

$$n = \frac{N}{\rho \cdot \nu \cdot f^2 \cdot D^3};$$

$$nu = \frac{\nu}{f \cdot D^2},$$

где H – напор создаваемый одной ступенью (м), g – ускорение свободного падения (м/с^2), f – частота вращения вала (об/мин), D – гидравлический диаметр насоса (м), Q – подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$), ρ – плотность жидкости (кг/м^3), ν – кинематическая вязкость жидкости ($\text{м}^2/\text{с}$), N – мощность потребляемая, ($\text{кгс}\cdot\text{м/с}$).

В результате обработки экспериментальных данных безразмерными величинами их можно привести к виду $h(q, nu)$ и $n(q, nu)$. Нанесем полученные значения на трёхмерный график и аппроксимируем точки при помощи сглаживающих сплайнов (рис.2).

В результате аппроксимации точек (на рисунке 2 не указаны) сглаживающими сплайнами можно получить коэффициенты, описывающие поверхность, которые можно использовать в программе подбора оборудования.

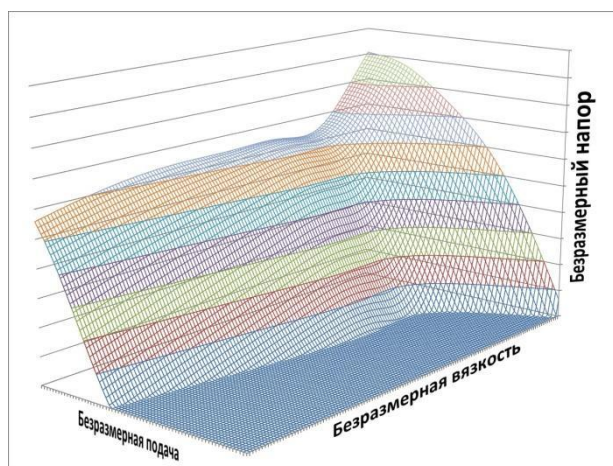


Рисунок 2. Общий вид получаемой зависимости $h(q, nu)$

Библиографический список

1. Ляпков П.Д. О влиянии вязкости жидкости на характеристику погружных центробежных насосов // Труды ВНИИ, вып. ХLI Техника добычи нефти. – М.: Недра, 1964. – С.151-166.

2. Степанов Л.И. Центробежные и осевые насосы/Л.И. Степанов; пер. с англ. М.Я. Лейферова, М.В. Поликовского; под ред. В.И. Поликовского.–М.: Машиностроение, 1960. – 463с.