

## Разработка и исследование алгоритма испытания клапанов гидрозащит для установок электроцентробежных насосов

*Д.С. Корнеев, Л.И. Медведева*  
*Волжский политехнический институт, Волжский*

**Аннотация:** Рассмотрены установки электроцентробежных насосов, их сфера применения и особенности, изучены методы тестирования клапанов гидрозащиты, предложен алгоритм тестирования клапанов основанный на дифференциальном методе.

**Ключевые слова:** установка электрических центробежных насосов; гидрозащита; дифференциальный метод измерения; алгоритм тестирования клапанов.

Установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) получили большое распространение в нефтепромышленности. УЭЦН – бесштанговая установка лопастного типа, которая используется на нефтяных скважинах для подъема пластовой жидкости или нефти. Основные преимущества насосных установок данного типа перед штанговыми установками: малые наземные габариты, универсальность применения, возможность работы на больших глубинах и при высоких температурах.

На данный момент УЭЦН все больше вытесняют нефтедобывающие установки штангового типа. Конечно, преимуществ без недостатков не бывает, так что к недостаткам мы вернемся после более детального рассмотрения устройства УЭЦН.

УЭЦН состоит из наземной и погружной частей, соединенных между собой бронированным кабелем. В наземную часть входит повышающий трансформатор и средства управления нефтедобычей. Погружная часть отвечает за подъем нефти и состоит из модулей электроцентробежных насосов (ЭЦН), погружного электродвигателя (ПЭД), а также гидрозащиты. Все модули погружной части УЭЦН имеют цилиндрическую, вытянутую форму, под габарит скважины. [1, 5, 6]

ЭЦН, в общем случае, представляет собой заключенный в корпус вал с рабочими колесами, имеющими кривые лопасти. Электроцентробежные насосы имеют модульную структуру и устанавливаются последовательно

---

друг за другом. ПЭД – это маслonaполненный асинхронный трехфазный электродвигатель, масло в котором, исполняет роль смазки и служит для отвода тепла.

Гидрозащита служит для передачи момента от ПЭД к ЭЦН, по важности она не уступает электродвигателю, а по количеству функций даже превосходит. Кроме передачи момента гидрозащиты служат для защиты двигателя от попадания в него пластовой жидкости, и компенсации температурного расширения масла внутри ПЭД, а так же принимают на себя вес секций ЭЦН.

Гидрозащита представляет собой систему каналов и полостей, разделенных друг от друга клапанами. Ось гидрозащиты представлена валом, передающим момент от ПЭД к ЭЦН. Важно отметить что полости ПЭД и гидрозащиты сообщаются. При повышении температуры масло растягивает полость гидрозащиты, и открывает клапана, выравнивая давления внутри двигателя. В гидрозащите обычно находятся несколько полостей и клапанов. В случае снижения температуры и уменьшения давления масла внутри двигателя, полость сжимается под внешним давлением (Рис.1).

Теперь можно вернуться к недостаткам. Самым серьезным минусом данных установок является то, что погружная часть находится на дне скважины, и в случае какой-либо неисправности, процесс ремонта будет дорогостоящим. Это ведет к высоким требованиям по изготовлению, ремонту и тестированию комплектующих для УЭЦН.

Так как УЭЦН получают в настоящее время большое распространение, а требования к качеству комплектующих находятся на очень высоком уровне, появилась целая отрасль занимающаяся обслуживанием, ремонтом и испытанием этих комплектующих. Наряду с тем, что гидрозащита играет наиболее важную роль в УЭЦН, она также является и самым уязвимым ее

---

местом, и ее поломка или недостаточно хорошая работа губит двигатель. Также, на данный момент, имеются большие трудности при ее испытании. [2]

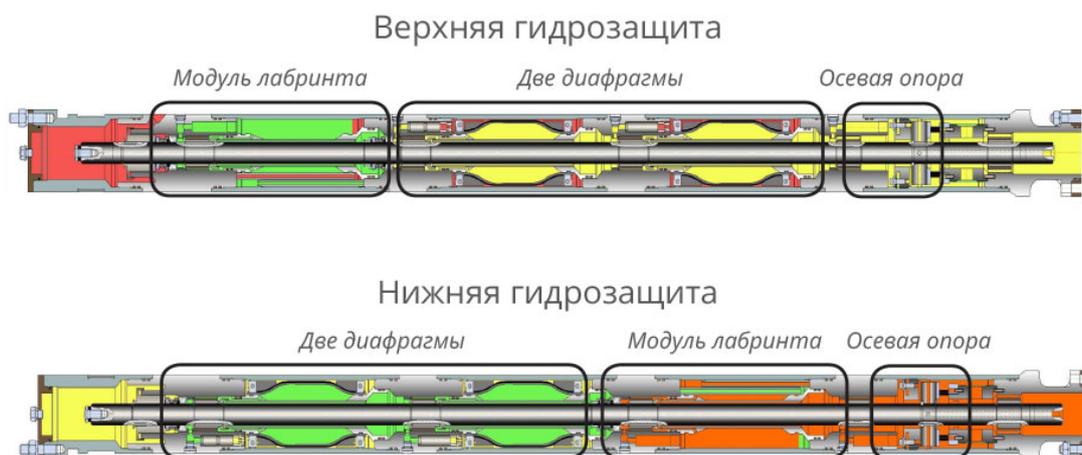


Рис. 1 – Устройство гидрозащиты

Процесс испытания гидрозащит сложнее, чем испытания ЭЦН или ПЭД. Это вызвано большим количеством функций, которые ложатся на гидрозащиту. На данный момент, существует много методов испытания гидрозащит, но отличия между ними так незначительны, что мы рассмотрим все методы как один. [3]

Испытание гидрозащит можно разделить на два этапа, проверка клапанов и обкатка. Проверка клапанов заключается в повышении давления внутри гидрозащиты и определения давления открытия клапанов, давления их закрытия, проверки герметичности клапанов, торцевых уплотнений и гидрозащиты в целом на герметичность. Давление открытия не должно быть выше предельно допустимого, а давление закрытия, не должно быть ниже допустимого.

Обкатка заключается во вращении вала гидрозащиты. При этом снимаются значения вибрации, температуры корпуса, а также момента затрачиваемого на вращение вала. Во время обкатки, на гидрозащиту подают

осевую нагрузку, имитирующую давление модулей ЭЦН. Превышение температуры, вибрации или момента, говорит либо о плохой сборке, либо об износе деталей.

После испытания к гидрозащите прикладывается протокол, исходя из которого, она отправится либо на скважину, либо в ремонт. Протокол испытания является обязательным документом для эксплуатации, и действителен он, до следующего ремонта или обслуживания. [4, 9, 10]

Существующие стенды испытания гидрозащит имеют ряд недостатков, которые касаются как алгоритма программы контроллера, так и организации автоматизированного рабочего места (АРМ). Здесь мы рассмотрим только недостатки, касающиеся алгоритма программы контроллера.

Наиболее остро стоит вопрос с алгоритмом проверки клапанов. На данный момент, давления открытия определяется по одному датчику давления, который устанавливается в отверстие перед клапаном. Алгоритм данного метода заключается в анализе скачков давления при плавной повышении давления внутри предклапанной полости. Подразумевается, что при открытии клапана наблюдается падение давление внутри полости, по которому программа контроллера определяет момент открытия клапана гидрозащиты, и отключает насос, и падение давления действительно есть, но оно настолько мало, что его можно спутать со скачками. Ситуация усложняется при тестировании гидрозащит, у которых предклапанные полости исполнены в виде резиновых диафрагм, в этом случае, дополнительную погрешность дает расширение самой диафрагмы. Эту проблему можно решить лишь частично, используя датчик давления более высокого класса точности, увеличивать плавность повышения давления в полости, или разрабатывать алгоритм анализа скачков давления внутри полости. В моем понимании, такие решения не целесообразны. Датчики высокого класса точности увеличивают стоимость установки, стремление к

---

максимальной плавности повышения давления, увеличивает продолжительность испытания и так же требует более дорогих частотных преобразователей, управляющих насосом, а алгоритм анализа скачков давления будет необходимо корректировать для каждого типа гидрозащит.

В контексте вышеуказанных недостатков, предлагается следующий алгоритм, основанный на анализе показаний двух датчиков давления. При этом второй датчик ставить не пришлось, так как он необходим для контроля подачи масла в полость гидрозащиты.

Суть метода заключается в фиксировании разницы давлений между датчиками, один из которых измеряет давление подачи, а второй непосредственно перед клапаном. При повышении давления в полости, показания датчиков практически не различаются, датчик перед клапаном немного запаздывает. В момент открытия, перед клапаном происходит разряжение масла, и давление на датчике у клапана перестает, в то время как на датчике подачи расти продолжает. В показаниях между датчиками наблюдается разница давлений, которая фиксируется как открытие. Через некоторое, продолжительное время (от 5 до 15 секунд), показания между датчиками выравниваются, но его вполне достаточно. [7, 8]

После открытия клапана гидрозащиты, закрывается клапан подачи масла установки, и происходит анализ закрытия клапана по одному датчику.

Алгоритм представлен на рисунке 2.

Применение нового алгоритма позволит повысить стабильность испытаний, частично решит проблему подтасовок результатов испытания (для случаев, если стенд не может поймать момент открытия), понизит стоимость испытательного стенда, за счет использования более простых средств измерения и исполнительных механизмов.

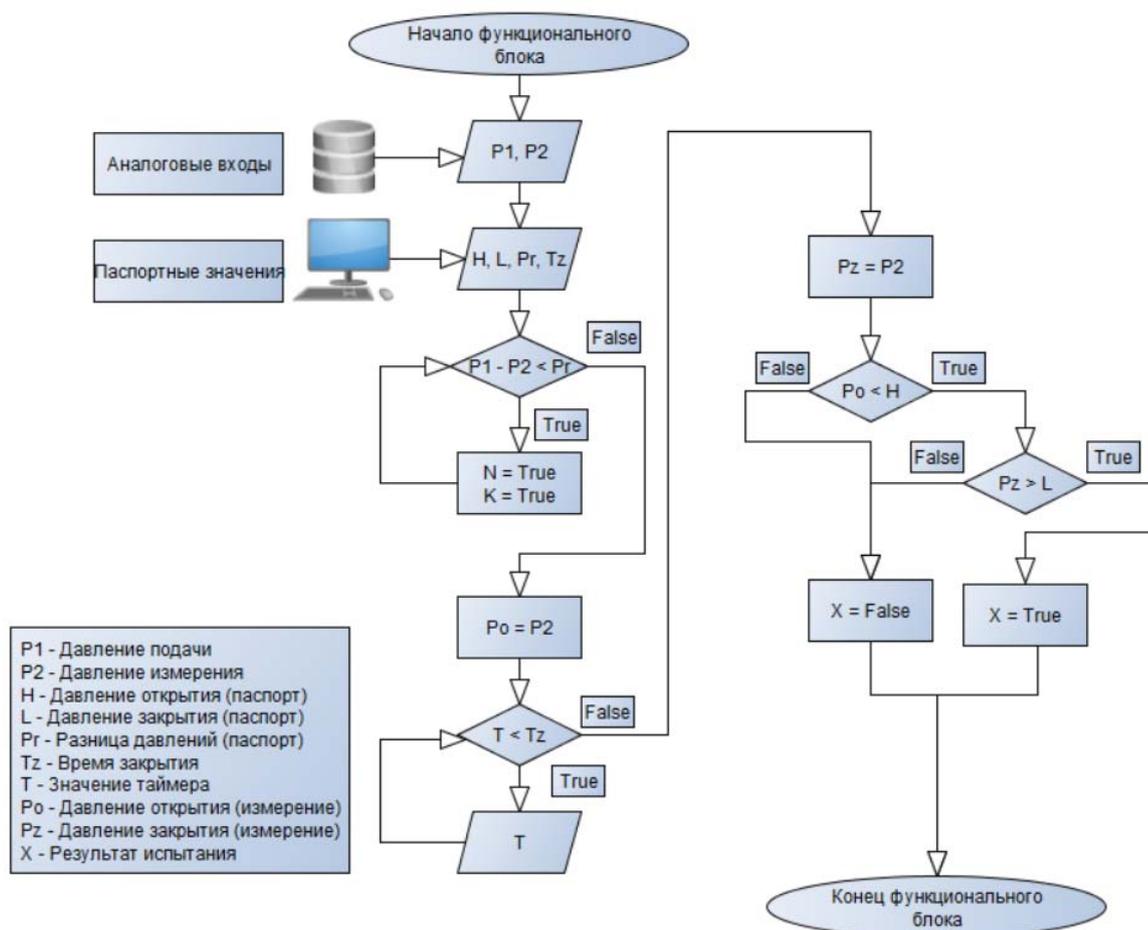


Рис. 2 – Алгоритм тестирования клапанов

Так же данный алгоритм не требует установки дополнительного датчика, так как на подаче масла он обязательно должен быть, для контроля предельно допустимых значений давлений.

### Литература

1. Кагарманов И.И. Особенности эксплуатации УЭЦН. Самара: 2005. 48 с.
2. Ивановский В.Н., Пекин С.С., Сабиров А.А., Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти. М.: Нефть и газ, 2002. 256 с.
3. Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А. Скважинные насосные установки для добычи нефти. М.: Нефть и газ, 2002. 824 с.

4. Кудряшов С.И. Повышение надежности погружных систем УЭЦН на примере опыта эксплуатации в ОАО «Юганскнефтегаз». Нефтяное хозяйство. 2005. №6. С. 126 - 127.
5. Zhao, P. (2011), Study on the vibration fault diagnosis method of centrifugal pump and system implementation, Beijing: North China Electric Power University. pp. 56 - 58.
6. Behzad, M., Bastami, A.R., Maassoumian, M. (2004), Fault diagnosis of centrifugal pump by vibration analysis, Proceedings of 7th Biennial Conference on Engineering System Design and analysis. Vol. 3, pp.221-226
7. Жолобов И.А., Казакова Л.Г., Корзин В.В. Программная реализация вычислительного блока струйной системы измерения температуры потока газа // Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2329](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2329)
8. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Лебедева Е.О. Роевой алгоритм планирования работы многопроцессорных вычислительных систем // Инженерный вестник Дона. 2017. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4362](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4362)
9. Дроздов А.Н., Мохов М.А., Алияров Э.Г. Освоение бездействующих скважин на Покамасовском месторождении. Нефтяное хозяйство, 1997. №8. С.44-47.
10. Дроздов А.Н. Перспективы применения погружных насосно-эжекторных систем для добычи нефти. Нефтепромысловое дело. 2000. №5. С.14-17.

### References

1. Kagarmanov I.I. Osobennosti jekspluatacii UJeCN. [Features of ESP operation] Samara: 2005. 48 p.
  2. Ivanovskij V.N., Pekin S.S., Sabirov A.A., Ustanovki pogruzhnyh centrobezhnyh nasosov dlja dobychi nefiti. [Installation of submersible centrifugal pumps for oil production] M.: Neft' i gaz, 2002. 56 p.
-



3. Ivanovskij V.N., Darishhev V.I., Sabirov A.A. Skvazhinnye nasosnye ustanovki dlja dobychi nefi. [Downhole pumping installations for oil production] M.: Neft' i gaz, 2002. 824 p.
4. Kudrjashov S.I. Neftjanoe hozjajstvo. 2005. №6. pp. 126 - 127.
5. Zhao, P. (2011), Study on the vibration fault diagnosis method of centrifugal pump and system implementation, Beijing: North China Electric Power University. pp. 56 -58.
6. Behzad, M., Bastami, A.R., Maassoumian, M. (2004), Fault diagnosis of centrifugal pump by vibration analysis, Proceedings of 7th Biennial Conference on Engineering System Design and analysis. Vol. 3, pp.221-226
7. Zholobov I.A., Kazakova L.G., Korzin V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2329](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2329).
8. Lebedev B.K., Lebedev O.B., Lebedeva E.O. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4362](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4362).
9. Drozdov A.N., Mohov M.A., Alijarov Je.G. Neftjanoe hozjajstvo, 1997. №8. pp.44-47.
10. Drozdov A.H. Neftepromyslovoe delo. 2000. №5. pp.14-17.