

СТАТЬИ

УДК 622.276.53

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРА ИЗНОСА КЛАПАНОВ
БУРОВЫХ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ**

Абдюкова Р.Я.

*Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Октябрьский, e-mail: abd_rima1968@mail.ru*

Надежность работы буровых насосов зависит от срока службы отдельных узлов, в особенности деталей гидравлической части. В результате статических исследований выявлено, что детали гидравлической части, а именно клапана, имеют самые низкие показатели работоспособности. Улучшению конструкции клапанной пары посвящен ряд исследований, но при этом вопрос увеличения срока службы клапанов остаётся нерешенным, так как недостаточно хорошо был изучен механизм действия и виды разрушения отдельных элементов и поверхностей клапанной пары. Для изучения механизма износа были рассмотрены конструкции клапанов зарубежных и отечественных исполнений, с различными посадочными поверхностями и способами закрепления уплотнительного элемента. По результатам анализа износ определялся на опорно-посадочных поверхностях и на уплотнительном элементе, что приводило в целом выходу из строя клапанной пары и нарушению герметичности. Практические исследования посвящены анализу износа, определению видов износа, причин износа клапанов, вышедших из строя. Поэтому увеличение срока службы клапанов остаётся весьма серьёзной и актуальной задачей. Дальнейшие исследования, посвященные решению данного вопроса, остаются весьма перспективными. Проведенные исследования в области нефтепромышленного дела позволяют формировать систему фундаментальных знаний, позволяющую будущему специалисту анализировать, решать проблемы, использовать на практике приобретённые им навыки и знания, самостоятельно использовать современные методы исследований, овладевать новой информацией, с целью решения проблем нефтепромышленного дела. Решение данного вопроса позволит повысить технико-экономические показатели работы буровых поршневых насосов, а также процесса бурения в целом.

Ключевые слова: клапан бурового насоса, уплотнительное устройство, ресурс клапанов, износ клапанов, буровой поршневой насос, детали гидравлической части поршневого насоса

**PRACTICAL RESEARCH ON THE WEAR PATTERN
OF MUD PISTON PUMP VALVES**

Abdyukova R. Ya.

Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrskiy, e-mail: abd_rima1968@mail.ru

The reliability of the mud pumps depends on the service life of the individual components, especially the parts of the hydraulic part. As a result of static studies, it was revealed that the details of the hydraulic part, namely the valve, have the lowest performance indicators. A number of studies have been devoted to improving the design of the valve pair, but at the same time, the question of increasing the service life of valves remains unresolved, because the mechanism of action and the types of destruction of individual elements and surfaces of the valve pair have not been well studied. To study the wear mechanism, valve designs of foreign and domestic versions with various seating surfaces and methods of fixing the sealing element were considered. According to the results of the analysis, wear was determined on the bearing and seating surfaces and on the sealing element, which resulted in the whole failure of the valve pair, and a violation of tightness. Practical research is devoted to the analysis of wear, the determination of the types of wear, the causes of wear of valves that have failed. Therefore, increasing the service life of valves remains a very serious and urgent task. Further studies on the solution of this issue remain very promising. The conducted research in the field of oilfield business allows the formation of a system of fundamental knowledge that allows a future specialist to analyze, solve problems, put into practice the skills and knowledge acquired by him, independently use modern research methods, master new information in order to solve the problems of oilfield business. The solution to this issue will improve the technical and economic performance of boring piston pumps, as well as the drilling process as a whole.

Keywords: mud pump valve, sealing device, valve service life, valve wear, piston mud pump, piston pump hydraulic parts

Повышение объемов добычи нефти требует повышения затрат на ремонт, техническое обслуживание и эксплуатацию оборудования. Долговечность является одним из основных резервов увеличения производительности и снижения затрат на эксплуатацию, ремонт деталей и узлов насосного оборудования. Дальнейшие проведённые исследования направлены на поиски решений данной задачи, с целью повышения технико-экономических

показателей работы буровых поршневых насосов [1]. Изучению данной проблемы посвящены работы следующих авторов: Г.Г. Аббасова, Л.С. Айрапетова, С.Г. Бабаева, М.З. Валитова, О.И. Верзилина, Р.Е. Газарова, Л.Н. Гороновича, В.М. Литвинова, С.В. Ловчева, Я.С. Мкртычана, А.С. Николаича, В.И. Пындака, В.З. Шаяхметова по усовершенствованию узлов и деталей буровых насосов. Несмотря на проведённые улучшения конструктивных парамет-

тров, в настоящее время их надежность продолжает оставаться низкой.

Клапанный узел является одним из основных элементов бурового насоса. Степень совершенства конструкции поршневого насоса определяет высоту всасывания, величину объемного КПД и коэффициент подачи, динамику работы насосного агрегата. Эффективность эксплуатации буровых насосов определяется ограничением механических и гидравлических потерь в насосе. Поэтому дальнейшие исследования, направленные в поисках практических и теоретических решений, являются весьма перспективными и актуальными.

В результате изучения вопроса износа клапанов одни считают, что ведущим видом изнашивания является ударно-абразивное, другие – гидроабразивное. В трудах например, В.Н. Виноградова, Г.М. Сорокина, Н.А. Прохорова ведущим видом изнашивания является ударно-абразивный. Предложена методика и лабораторная установка, построенная на принципе соударения тел с абразивной жидкостью. Данный принцип утверждает, что в работе клапана имеет место удар. Другие исследователи утверждают, что величина напряжений составляет незначительную величину на границе стука. Это исходит из условия перехода кинетической энергии тарели в энергию деформации седла клапана. Динамическая нагрузка определяется скоростью возрастания перепада давления над клапаном после посадки тарели на седло. Данное предположение о работе клапана свидетельствует о том, что максимальная ударная нагрузка возникает после закрытия седла тарелью, что указывает на неприменимость известных методик, лабораторных установок для исследования износостойкости. Наряду с ведущим ударно-абразивным изнашиванием металлических деталей клапана существует и другая точка зрения. С.Г. Бабаев утверждает, что ведущим видом изнашивания является гидроабразивный. Следовательно, утверждения о том, какой вид изнашивания опорно-посадочных поверхностей клапанного узла является ведущим, остается до сих пор открытым. В результате проведенного анализа по исследованию характера износа можно сформулировать следующие задачи для исследования: 1. Ранее выполненные работы показали, что при различных условиях эксплуатации буровых насосов низкая долговечность определяется нарушением герметичности клапанного узла. Недостаточно изучены виды разрушения отдельных элементов клапана, механизм действия. 2. Состояние уплотнительного элемента клапана определяется напряженно-деформирован-

ным состоянием опорно-посадочных поверхностей. 3. Одной из причин выхода из строя клапанов буровых насосов является вибрация, вызванная динамической нагрузкой, но существующие испытательные стенды изнашивания клапанов не позволяют оценить их вибрацию. Для изучения этого вопроса необходимо соответствующее оснащение и средства измерения. 4. Выявлена неоднозначность и противоречивость рекомендации исследователей по выбору материалов клапанной пары. 5. Несомненный интерес представляет дальнейшее проведение исследований с точки зрения обеспечения оптимальных условий работы клапанной пары за счет выбора рациональной формы уплотнительных поверхностей. Изучению износа клапанов буровых поршневых насосов посвящены многочисленные работы, по результатам которых приняты различные технические решения по усовершенствованию конструкции клапанов. На технический ресурс деталей гидравлической части влияют условия эксплуатации в агрессивных и абразивосодержащих средах и их конструктивные характеристики. В табл. 1 приведены наработки деталей гидравлической части буровых насосов. Самой низкой наработкой обладают клапана, их коэффициент вариации составляет 0,77. Вероятность увеличения коэффициента указывает на внезапный и частый характер проявления отказов этих деталей. Низкий срок службы клапанов не соответствует требованиям бурения, приводит к частым остановкам бурового насоса. Значительные трудовые и материальные затраты требуются на ремонтные работы в неблагоприятных эксплуатационных, климатических условиях. Задача повышения ресурса клапанов в среднем до 300...500 ч остается весьма актуальной. С учетом условий эксплуатации невозможно ответить на многие поставленные вопросы, например как облегчаются или усложняются условия работы клапанного узла по мере углубления бурения, уменьшения подачи насоса, увеличения плотности, вязкости и температуры бурового раствора.

Материалы и методы исследования

В настоящее время применяются самые различные конструкции тарельчатых клапанов буровых поршневых насосов: с конической формой металлической и резинометаллической опорной поверхностей, с плоской формой металлических и резинометаллических опорных поверхностей, с плоской резинометаллической и конической металлической опорой, с плоской конической металлической и конической резинометаллической опорой (рис. 1, 2). Исходя из условий износостойкости, не выявлено преимущество той или иной конструкции клапанного узла.

Таблица 1

Статистический параметр распределения наработки деталей гидравлической части

Деталь	Закон распределения	Статистический параметр распределения		
		t_{cp}^* , час	σ^* , час	$v^* = \sigma^* / t_{cp}^*$
Цилиндровые втулки	Вейбулла	204,1	106,1	0,51
Штоки	Логарифмически-нормальный	106,0	51,0	0,48
Поршни	Экспоненциальный	97,3	80,7	0,83
Клапаны	Экспоненциальный	72,5	55,9	0,77

Конструкции клапанов отличаются друг от друга элементами сопряжения тарели и седла, т.е. геометрическими характеристиками опор и направляющих. Тарель с седлом клапана является запорным гидравлическим механизмом одностороннего действия, пропускает жидкость в заданном направлении и перекрывающий ей проход в противоположном направлении. В результате чего обеспечивается разобщение и соединение рабочей камеры цилиндра насоса с подводящим и напорным трубопроводами. Отличительной особенностью в работе клапанов является возникновение больших ударных сил и вибрации [2, 3]. Можно отметить, что ресурс клапанов зависит не только от режима работы насосов, но и от конструктивных особенностей клапанной пары и уплотнительного элемента. Несомненный интерес представляет дальнейшее решение задачи за счет выбора рациональной формы посадочных поверхностей и уплотнительного элемента.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные исследования посвящены изучению износа клапанных узлов, поступавших на капитальный ремонт. С целью изучения характера износа был проведен соответствующий анализ. По результатам характеристики износа наблюдается механический износ эластичного элемента. Механический износ определяется в независимости от крепления и распределения наибольших предельных напряжений. Наибольшее предельное напряжение определяется в местах сопряжения уплотнительного элемента с элементами клапана. При посадке тарели на седло заостренная часть уплотнительного элемента, выдавливается и защемляется в уплотняемом зазоре. При этом защемленный объем отрывается и приводит к потере герметичности клапанной пары. Во всех исследуемых клапанах наблюдался износ уплотнительного элемента, ввиду контакта с абразивными частицами нарушалась точность посадки тарели на седло. В результате циклического воздействия давления в зависимости от скорости жидкости, уплотнительный элемент разрушался и клапан выходил из строя. Выявлено, что направляющие посадочные поверхности клапанов подвергались большому износу в ре-

зультате соударения двух тел. В процессе работы клапана, при перемещении тарели уменьшаются диаметры направляющих втулок и седла, вследствие чего можно наблюдать на посадочной поверхности седла вмятины, прямолинейные трещины, направленные вдоль образующей. В результате для тарели клапана перемещающего относительно седла при высоких переменных давлениях, с большими скоростями скольжения, характерен интенсивный износ и разрушение, вследствие ударных нагрузок [4–6]. Анализ исследований показал, что на напряженно-деформированное состояние уплотнительного элемента оказывают опорно-посадочные поверхности тарели и седла клапана, ввиду действия ударных нагрузок. Авторами, еще в XVII в. в области исследований ударных явлений, были Ньютон, Гюйгенс, Виллис и др. Постановка задачи о продольном ударе двух стержней с учетом деформирования тел связана с использованием модели Кокса. Модель Кокса основывается на применении теоремы об изменении кинетической энергии механической системы и гипотез о характере распределения энергии деформаций при ударе и при статическом взаимодействии тел. Модель позволяет рассчитывать коэффициент динамичности с максимальным значением ударной силы. Задача о прямом центральном соударении двух тел по стержню сформулирована в XIX в. в работах Навье и Сен-Венана. В модели удара Герца доказывалось, что динамическое, контактное взаимодействие тел такое же, как и статическое.

В результате задача о прямом ударе двух тел сводится к задаче о соударении двух абсолютно твердых тел при нелинейной упругой характеристике эластичного элемента. Исследования центрального удара двух стержней получили широкое применение в области ударных технологий в строительстве, горнодобывающей промышленности, машиностроении и приборостроении. Однако этот вопрос требует аналитических и экспериментальных исследований [7, 8].

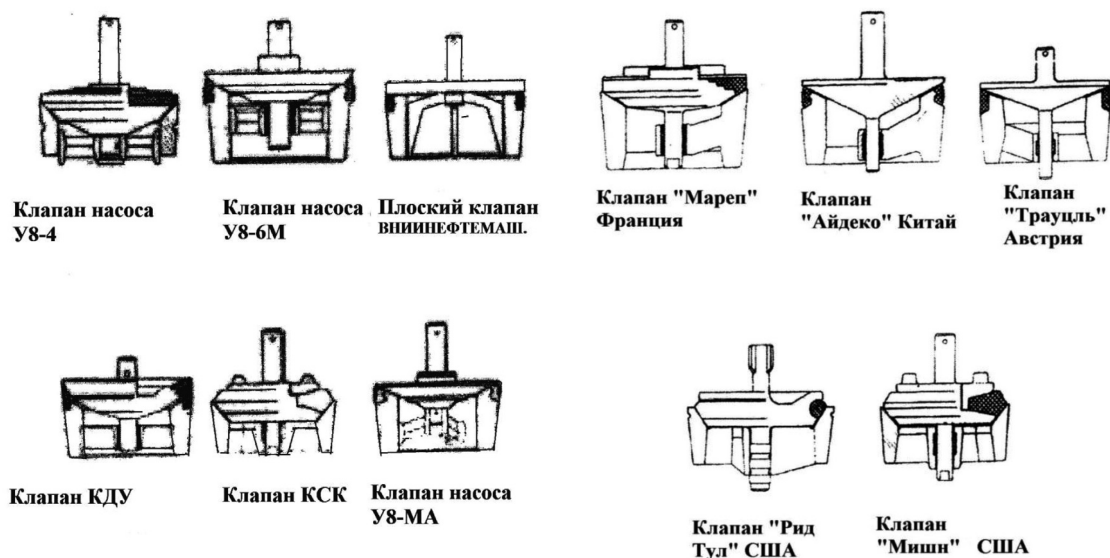


Рис. 1. Конструкции клапанов отечественных производителей

Рис. 2. Конструкции клапанов зарубежных производителей

Таблица 2

Характер износа клапанов буровых поршневых насосов

Тип бур. насоса	Диаметр клапана	Марка клапана	Износ посадочной поверхности и уплотнительного элемента	Характер износа	Район эксплуатации
НБТ-600	160,9	НБТ600	Царапины и риски на поверхностях трения, изменение размеров и формы уплотнительного элемента	Абразивное	Республика Татарстан, Азнакаевский УБР
НБ-375	163	НБ375	Лунки, вмятины, трещины на рабочих поверхностях, изменение размеров и формы уплотнительного элемента	Ударно-абразивное	Республика Башкортостан Туймазинский УБР
БрН-1	163	НБ125	Отколы и выбоины на рабочих поверхностях, изменение размеров и формы уплотнительного элемента	Ударно-абразивное	Республика Башкортостан Туймазинский УБР
9Т	111	НБ125	Следы коррозии на рабочих поверхностях, изменение размеров и формы уплотнительного элемента	Ударно-абразивное	Республика Башкортостан Туймазинский УБР
9МГр	111	НБ125	Выбоины, отколы, изменение размеров и формы уплотнительного элемента	Коррозионно-механическое	Республика Татарстан, Азнакаевский УБР

Исследованию, направленному на улучшение конструкции клапанной пары, посвящена работа Э.Г. Бурсунзовой. Показано, что при определённых углах наклона опорно-посадочных поверхностей удаётся существенно уменьшить металлоёмкость и сохранить при этом необходимую прочность и жесткость тарели клапана, но кри-

терий износа, предложенный А.С. Николичем не учитывался, это является основным недостатком данной работы.

Выводы

На эффективность работы клапанов буровых поршневых насосов несомненное влияние оказывают формы посадочных

поверхностей и напряженно-деформированное состояние уплотнительного элемента, материалы элементов клапанной пары, способы упрочнения рабочих поверхностей и конструктивные особенности элементов клапанов. С этой целью предлагается принять новое техническое решение по усовершенствованию конструкции клапанов буровых поршневых насосов [9, 10] и проведение аналитических исследований по уменьшению величины максимальных усилий, приводящей к ударным нагрузкам и износу элементов клапанной пары.

Список литературы

1. Тимеркаев А.А., Габидуллин Р.А., Абдюкова Р.Я. Изучение уплотнительных устройств деталей гидравлической части буровых поршневых насосов: материалы Всероссийской 40-й научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в 3-х томах. Ответственный ред. К.Т. Тынчеров; Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2013. С. 166–168.
2. Шакуров Н.Г., Гарипова И.И. Формирование характеристик качества деталей: материалы 45-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в 2-х томах. 2018. С. 95–99.
3. Миннивалеев Т.Н. Современное состояние оборудования, применяемого для выравнивания неравномерности давления и защиты оборудования от гидравлических ударов // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2011: сб. науч. тр. Уфа: УГНТУ, 2011. С. 51–54.
4. Габдрахимов М.С., Сулейманов Р.И., Зарипова Л.М., Хабибуллина Р.Г., Миннивалеев Т.Н. Условия, необходимые для формирования компетенции: умение моделировать

технические объекты и технологические процессы // Актуальные вопросы инженерного образования – 2015: сборник научных трудов международной научно-методической конференции. 2016. С. 88–92.

5. Сулейманов Р.И., Хабибуллин М.Я., Давыдов А.Ю., Сидоркин Д.И., Давыдова О.В. Система технического обслуживания и ремонта нефтепромыслового оборудования // Опыт, проблемы и перспективы развития неразрушающих методов контроля и диагностики машин и агрегатов: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию юбилею филиала УГНТУ в г. Октябрьском и 20-летию лаборатории «Вибродиагностика машин и агрегатов нефтяной промышленности». 2017. С. 150–158.
6. Abdyukova R.Ya. Studies on operation and types of drilling pump valves. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (13th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2018). 2019. Vol. 560. № 1. Номер статьи 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012050.
7. Abdyukova R.Ya. Improving the design of poppet valve in piston mud pump. Advances in Engineering Research (AER) (International conference «Actual issues of mechanical engineering» (AIME 2018)). 2018. Vol. 157. P. 1–4.
8. Габдрахимов М.С., Миннивалеев Т.Н., Галимов Р.М. Анализ бурения нефтяных скважин в Азнакаевском ПБР ООО «Бурение» // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2013. № 5. С. 8–11.
9. Валиев А.В., Сулейманов Р.И. Насос НСН2-44 с оптимизированной конструкцией узла ловителя всасывающего клапана: материалы 45-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в 2-х томах. 2018. С. 247–250.
10. Шакуров Н.Г. Формирование комплекса анализа структур и испытаний для оценки надежности конструкционных материалов // Актуальные вопросы высшего образования – 2018: материалы Международной научно-методической конференции. 2018. С. 138–143.