

АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ ОБОЙМ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ

Тимашев Э.О., Ямалиев В.У.

Винтовые насосы с поверхностным приводом получают все большее распространение на нефтяных месторождениях России, так как они позволяют обеспечить возможность добычи пластовой жидкости повышенной вязкости с большим содержанием механических примесей и газа, а также снизить себестоимость добычи нефти за счет их низкой стоимости и высокой надежности. На показатели надежности основных узлов винтовой насосной установки (поверхностный привод, вращательная и лифтовая колонны, винтовой насос) оказывают влияние эксплуатационные факторы.

С целью выявления частоты и влияния удельного веса отказов на надежность винтовой насосной установки с поверхностным приводом (УНВП) были использованы методы статистического анализа. Для этого по исходным данным, приведенным в таблице 1, была построена диаграмма Парето (рисунок 1).

Таблица 1 – Исходные данные по отказам УНВП в ОАО «Татнефть»,
используемые для построения диаграммы Парето

Вид отказа	Количество отказов	Доля отказов в общем объеме, %	Накопленные потери, %
Отказы насоса	54	30,4	30,4
Слом и отворот штанг	53	29,8	60,2
Поломка переводника	25	14	74,2
Отворот и негерметичность НКТ	19	10,7	84,9
Геологические причины	13	7,3	92,2
Выход из строя привода	12	6,7	98,9
Выход из строя электродвигателя	2	1,1	100
Всего	178	100	

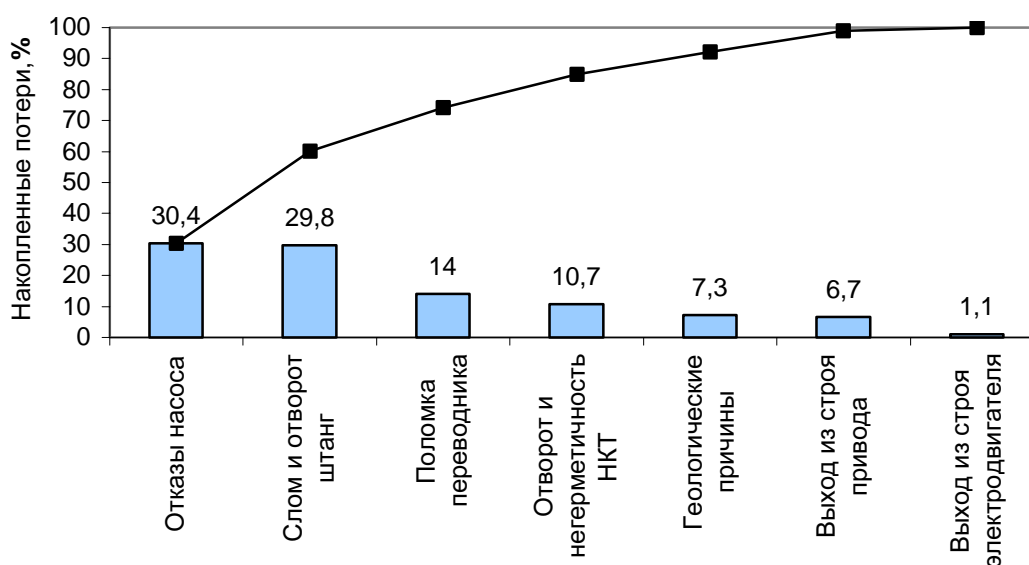


Рисунок 1 – Диаграмма Парето по отказам УНВП

Как следует из диаграммы Парето, основную долю составляют отказы связанные с вращательной колонной и погружным винтовым насосом, следовательно устранив соответствующие причины выхода из строя УНВП, можно снизить вероятность отказа установки на 60%. Причем основными видами отказов являются отказы, произошедшие по причине выхода из строя ротора или статора винтового насоса. Отказы вращательной колонны можно минимизировать или исключить за счет применения легко реализуемых технических мероприятий, например оснащения колонны штанг центраторами, применения более прочных штанг и др. Отказы винтовых погружных насосов имеют более системный характер, зависящие от физико-механических свойств эластомеров и свойств пластовых флюидов. Из диаграммы Парето по отказам УНВП следует, что для повышения надежности установки в первую очередь необходимо выявить причины отказов винтового погружного насоса (таблица 2).

Таблица 2 - Исходные данные по отказам погружного винтового насоса в ОАО «Татнефть», используемые для построения диаграммы Парето

Вид отказа	Количество отказов	Доля отказов в общем объеме, %	Накопленные потери, %
Снижение физико-химических свойств эластомеров	42	78	78
Износ эластомера	6	11	89
Износ ротора	6	11	100
Всего	54	100	

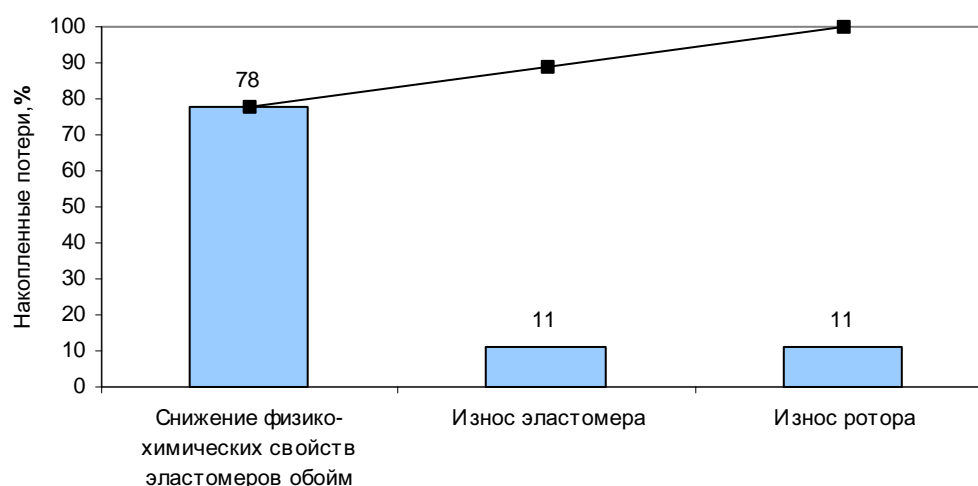


Рисунок 2 – Диаграмма Парето по отказам винтового насоса

Из диаграммы Парето (рисунок 2) следует, что только в результате устранения отказов, вызванных снижением физико-химических свойств эластомеров обойм, можно на 78% снизить вероятность выхода из строя винтового насоса. Следовательно для выявления глубинных причин отказов винтовых насосов необходимо провести более тщательный и подробный анализ причин разрушения их обойм.

Основным рабочим органом винтового насоса является статор, состоящий из резинового цилиндра с многошаговой винтовой внутренней поверхностью, закрепленного в защитном металлическом корпусе. Одной из основных причин отказов статора является разрушение резиновой обоймы. Резиновая обойма работает в неблагоприятных скважинных условиях и находится под воздействием абразивных механических примесей, газа (в т.ч. сероводорода и углекислого газа), ароматических соединений, высокой температуры и давления, поэтому к материалам обойм предъявляются повышенные требования. Для их изготовления применяются эластомеры (в частности сложные резиновые смеси), в состав которых входят более 20 ингредиентов. В России для изготовления резиновых обойм в основном используют бутадиен-нитрильный синтетический каучук (СКН). Применение других марок (например фторкаучуков (СКФ) и полиуретанов (СКУ)) ограничивается более сложной и дорогостоящей технологией изготовления. Производство фторкаучуков и резин на их основе достаточно трудоемкий и высокотехнологичный процесс, поэтому их себестоимость весьма высока.

Рассмотрим достоинства и недостатки резиновых смесей, наиболее широко применяемых для производства обойм винтовых насосов. Конкретные составы резин для изготовления обойм подбирают с учетом свойств и температуры добываемой жидкости, содержания в ней различных механических примесей и их абразивности, плотности нефти и содержания в ней легких фракций углеводородов, наличия агрессивных компонентов (сероводород, углекислый газ, ароматические соединения, кислоты), значений давления нагнетания и др.

Преимуществом обойм из нитрильного синтетического каучука является их фактическая газонасыщаемость в эксплуатационных условиях, далее газопроницаемость, которая в 20 раз превышает проницаемость фторкаучуков. В

условиях газонасыщения обойм изготовленных из СКН, последние подвержены меньшему разрушению, это объясняется возможностью молекул газа выходить из межмолекулярной решетки, не разрушая ее при резком снижении давления окружающей среды при подъеме насоса из скважины.

Выпускаются нитрильные каучуки следующих марок: СКН-18, СКН-26, СКН-40. Однако наиболее применимой на производстве является СКН-26. Численное значение в названии марки резины отражает процентное содержание акрилонитрила. С увеличением содержания которого улучшаются прочностные характеристики эластомера, повышается его стойкость к воздействию сероводорода, но при этом снижается эластичность и стойкость к разрушающим факторам углекислого газа и ароматических углеводородов. Наиболее ценными техническими свойствами резин из СКН является их очень высокая газопроницаемость и возможность продолжительной работы при температурах до 100 °С. Большое значение при выборе эластомера имеет коэффициент трения эластомера по металлу в паре ротор-статор, так как при уменьшении коэффициента трения, повышаются механический КПД и износостойкость. С этой точки зрения могут быть рекомендованы фторсодержащие каучуки и полиуретаны. Известно, что стойкость к истиранию полиуретановых каучуков в несколько раз выше стойкости нитрильных. К недостаткам уретановых эластомеров следует отнести их нестойкость к ароматическим углеводородам, сравнительно небольшую теплостойкость и плохую адгезию к металлам. Резины на основе фторкаучуков длительно работают при высоких температурах СКФ-32 до 150 °С, СКФ-26 до 250 °С, обладают высокой сопротивляемостью абразивному истиранию и хорошей стойкостью к действию сильных окислителей (кислотные обработки) [3]. Существует проблема с надежным креплением данных материалов к металлическому остову статора.

Как правило, определяющим фактором при выборе марки резины являются фактические данные о стойкости обойм и физико-механические характеристики полученные в результате лабораторных испытаний. Основные показатели эластомеров приведены в таблице 3 [1].

Таблица 3 - Основные физико-механические показатели эластомеров, применяемых при производстве обойм винтовых насосов

Сопротивление разрыву, МПа	≥ 100
Относительное удлинение, %	≥ 150
Относительное остаточное удлинение, %	≤ 20
Изменение массы образца в нефтяной среде, %;	
за 24 часа	≤ 3
за 72 часа	≤ 4

В зарубежной практике гамма применяемых каучуков значительно разнообразнее. Основные применяемые виды эластомеров подразделяются на нитрильные каучуки (Buna N или HNBR) и сополимеры акрилонитрила (ACN) и бутадиена. По аналогии с отечественными каучуками СКН, эластомеры классифицируют по содержанию акрилонитрила от 15 до 50% (25% - среднее, 35% - высокое, более 40% - сверхвысокое содержание) в зависимости от количества которого получают ряд различных химических и физических свойств (таблица 4).

Таблица 4 - Основные физико-химические показатели эластомеров зарубежного производства

Соединение	Максимальная рабочая температура, °С	Максимальное содержание сероводорода в нефти, %	Эксплуатационные свойства	Износостойкость	Стойкость к воздействию ароматических соединений
Стандартный нитрил	82	2%	Отличные	Приемлемая	Низкая
Мягкий нитрил	82	2%	Отличные	Отличная	Низкая
Супер-насыщенный нитрил	93	2%	Хорошие	Плохая	Хорошая
HNBR	107	4%	Отличные	Хорошая	Отличная
Улучшенный HNBR	121	6%	Отличные	Плохая	Хорошая

Таблица 5 - Основные физико-химические показатели эластомеров Ultra-Flex [каталог фирмы Robbins & Myers Energy Systems, Inc. (США)]

Марка эластомера	Максимальное содержание сероводорода в нефти, %	Прочность	Максимальная рабочая температура, °С	Стойкость к воздействию ароматических соединений	Стойкость к разбуханию от воздействия воды	Допустимое содержание механических примесей в нефти, %
102	2	Хорошая	80	Приемлемая	Хорошая	3
103	2	Приемлемая	80	Приемлемая	Хорошая	5
136	2	Приемлемая	80	Отличная	Приемлемая	2
140	4	Хорошая	110	Хорошая	Хорошая	2,5
158	3	Хорошая	110	Отличная	Приемлемая	2
157	4	Отличная	110	Хорошая	Хорошая	3
530	3	Низкая	120	Отличная	Хорошая	1
152	5	Отличная	150	Приемлемая	Отличная	2

Разнообразие, выпускаемых зарубежными производителями, марок эластомеров обойм винтовых насосов позволяет использовать их с учетом определенных скважинных условий, с соответствующими химическими и физическими свойствами. В таблице 5 приведены основные показатели эластомеров Ultra-Flex, среди которых есть резины отличающиеся повышенной термостойкостью (марка 152), износостойкостью (марка 103), стойкостью к воздействию сероводорода (марки 140, 152, 157), но обладающих малой сопротивляемостью к другим разрушающим факторам. Одним словом они применимы только в осложненных скважинах с известными условиями. Единственным эластомером с универсальными показателями может считаться Ultra-Flex 157, который одинаково работоспособен во всех осложненных скважинах.

Физико-химические свойства эластомеров оцениваются на лабораторных испытаниях заводами изготовителями (рисунок 3). Для обеспечения эффективной работы винтового насоса необходимо обеспечить соблюдение герметичности по линиям контакта поверхностей винта и обоймы. Как правило герметичность обеспечивается путем создания предварительного натяга за счет превышения одного или нескольких размеров (чаще всего поперечного сечения) над соответствующими элементами профиля обоймы. Величина предварительного натяга зависит от температурных условий. По результатам испытаний, фирмой Baker Hughes были установлены оптимальные значения предельных зазоров и натягов для различных диапазонов температур, для обеспечения герметичности. Например, при температурах выше 100 °С, исходя из этих исследований, насосы комплектуют рабочими парами с зазором, а при температурах до 60 °С рабочие органы выполняются с натягом. В интервале температур 60 - 100 °С натяги в паре близки к нулю.

Основным отличием в зарубежной технологии изготовления эластомеров является вулканизация каучуков путем выборочного насыщения (гидрирования) большей части бутадиеновой составляющей акрилонитрил-бутадиенового полимера, в то время как большинство эластомеров в отечественной практике подвергают серной вулканизации [3]. Воздействие сероводорода в скважине приводит к еще большему отверждению и, в конечном итоге, к разрыву эластомера.

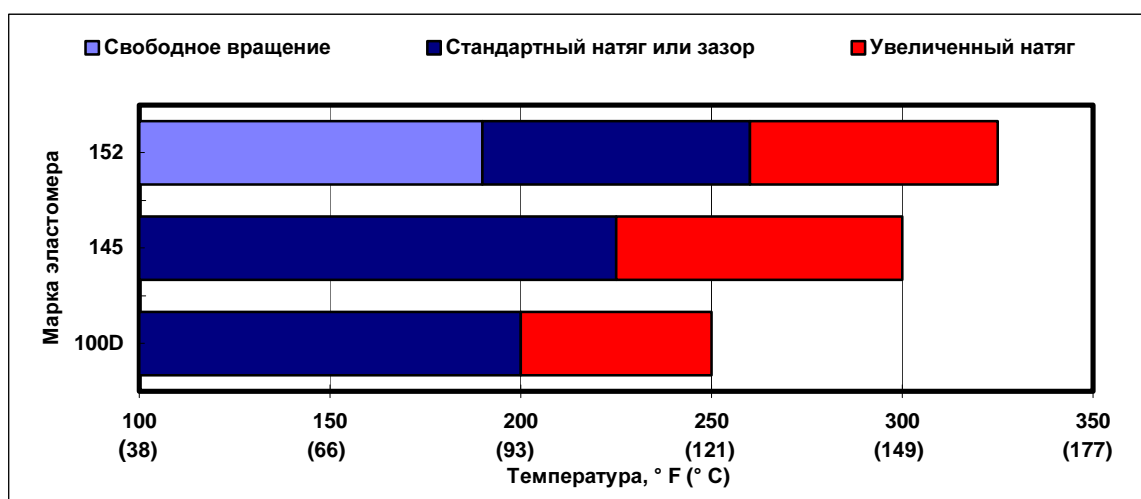


Рисунок 3 - Результаты испытаний эластомеров марки Ultra-flex при разных температурных режимах по данным фирмы Robbins & Myers Energy Systems, Inc.



Рисунок 4 - Внешний вид резиновой обоймы, разрушенной вследствие высокого избыточного давления

При подборе эластомеров для изготовления обойм винтовых насосов большое внимание необходимо уделять выбору марки резины, исходя из следующих условий:

- химическими свойствами добываемой жидкости и ее влиянием на эластомер;
- наличием в жидкости механических примесей, их абразивностью и величиной отдельных частиц;
- величиной развиваемого насосом давлением нагнетания;
- принятыми значениями натягов или зазоров в парах обойма-винт и желаемыми формами характеристики насоса Q-H;
- наличием значительного количества растворенного в нефти газа;
- числом оборотов, эксцентриситетом и массой винта;
- температурой пластовой жидкости.

Винтовые насосы в скважине работают в жестких условиях под воздействием большого количества неблагоприятных факторов.

Как правило разрушение обоймы винтового насоса происходит в результате разрыва камер (рисунок 4). Данному виду отказа способствует несколько причин.

1. Высокое газосодержание приводит к разбуханию эластомера. Последующие увеличение натяга и нагревание обоймы приводит к ее разрушению.

2. Винтовая пара длительное время работала в условиях сухого трения, например при отсутствии притока в скважине, что привело к перегреву эластомера, значительным изменениям размеров и разрыву. Воздействие высокой температуры также может привести к расплавлению обоймы.

3. Высокое избыточное давление, за счет образования песчаных, парафиновых пробок или перекрытия клапанов на выкидной линии.



Рисунок 5 – Внешний вид резиновой обоймы, разрушенной вследствие абразивного износа

Под влиянием большого количества и абразивности твердой фазы флюида, высокой частоты вращения происходит критический износ резиновой обоймы (рисунок 5). Как следствие резко возрастают объемные утечки, соответственно снижается подача винтовой насосной установки, поэтому при высоком содержании твердых включений в флюиде обычно стремятся применять резины менее твердые и более упругие (износостойкие), с меньшими остаточными деформациями.

Признаками воздействия агрессивных химических веществ является разбухание, размягчение эластомера и образование пузырей и раковин (рисунок 6), а контакт с серосодержащими веществами к увеличению жесткости и охрупчиванию, все это приводит к снижению КПД насоса и увеличению величины крутящего момента, необходимого для поддержания требуемой подачи насоса.



Рисунок 6 – Внешний вид резиновой обоймы, разрушенной вследствие воздействия ароматических соединений

В результате проведенного анализа следует, что для предотвращения преждевременного разрушения эластомеров необходимо проводить тщательный анализ конкретных скважинных условий и к этим условиям подбирать обоймы с соответствующими составами эластомеров. Приведенный анализ показывает, что наработку винтовых насосов можно значительно увеличить за счет использования обойм изготовленных из эластомеров, состав которых выбран исходя из конкретных скважинных условий в частности физико-химических свойств пластовой жидкости.

Литература

- 1 Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А. и др. Скважинные насосные установки для добычи нефти. – М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. – 824 с.
- 2 Крылов А.В. Одновинтовые насосы. –М.: Гостоптехиздат, 1962. – 154с.
- 3 Шайдаков В.В. Свойства и испытания резин. – М.: Химия, 2002. – 235 с.