

Препринт статьи, опубликованной в журнале:

Бурение и нефть, 2013, №7-8, с. 40-42.

Корреляция отказов скважинных насосов по причине износа и обрыва штанг с изменениями структур дисперсной фазы добываемых водонефтяных эмульсий

И.Н. Евдокимов, А.П. Лосев

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

Лабораторные исследования выявили общие закономерности формирования флокуляционных структур капель воды в промысловых водонефтяных эмульсиях разнообразного происхождения. При анализе промысловых данных установлена корреляция показателей аварийности штанговых насосов с изменениями структур дисперсной фазы добываемых водонефтяных эмульсий и с сопутствующими вариациями реологических параметров.

Средняя наработка на отказ у зарубежных установок скважинных штанговых насосов (УСШН) не менее 700 суток, а для отечественных УСШН она все еще не превышает 300 - 400 суток [1,2], причем одна из основных причин отказов оборудования - износ штанговых колонн, приводящий к обрыву штанг. Условием, способствующим возникновению такого рода аварий, является обводненность добываемой продукции, приводящая к образованию высоковязких водонефтяных (В/Н) эмульсий в НКТ. Для верного учета сил вязкого трения и ударных нагрузок штанг необходимо точное знание реологических свойств эмульсии, определение которых непосредственно в кольцевом пространстве НКТ крайне затруднительно [2,3]. Существующие же методы расчета вязкости основаны на ряде упрощающих предположений, так они не учитывают возможность образования в эмульсиях разнообразных структур дисперсной фазы.

Предыдущие лабораторные исследования [4,5] выявили наличие общих флокуляционных структур капель воды в промышленных В/Н эмульсиях, как показано на схеме в левой части рисунка 1. Если водосодержание эмульсий ϕ (объемная доля воды) не превышает величину 0,17-0,18, то в них существуют свободнодисперсные структуры, формируемые независимыми плотноупакованными кластерами капель воды - (1.). В диапазоне водосодержаний $0,18 \leq \phi \leq 0,30$ компактные кластеры, взаимодействуя, формируют связнодисперсные структуры «геля кластеров» - (2.). При $0,30 \leq \phi \leq 0,56$ первичные кластеры теряют свою индивидуальность и непосредственно взаимодействующие капли воды формируют пористые связнодисперсные структуры «геля капель» - (3.). При превышении геометрического условия произвольной рыхлой упаковки $\phi \approx 0,56$ формируются структуры сплошного пластичного «геля капель» - (4.). При превышении геометрического условия гексагональной плотной упаковки $\phi \approx 0,74$ резко растет полидисперсность сплошного «геля капель» и он приобретает «хрупкие» свойства – при механических нагрузках наблюдается выделение свободной воды в виде удлиненных объемов («трещин») - (5.).

Эти структуры дисперсной фазы были выявлены как путем микроскопического анализа промышленных В/Н эмульсий, так путем измерения их реологических параметров. В правой части рисунка 1 показаны кривые течения для эмульсий со структурами (1.)-(3.), при увеличении и при последующем уменьшении скорости сдвига в вискозиметре Rheotest. Видно, что эмульсии со связнодисперсными структурами ($\phi > 0,18$) представляют собой тиксотропные дисперсные системы, в которых наблюдается гистерезис кривых течения. Площадь наблюдаемой «петли тиксотропии» S является мерой механической энергии, затрачиваемой на разрушение внутренней структуры эмульсии в потоке. В эмульсиях со свободнодисперсной структурой (1.) тиксотропия отсутствует и $S=0$. Видно также, что при увеличении скорости сдвига, начальные участки кривых течения были линейными. В образцах с $\phi < 0,64$ они были аппроксимированы моделью

«ньютоновской вязкости», а в образцах с $\phi \geq 0,64$ - моделью «пластической вязкости» Бингама-Шведова. На основе найденных значений ньютоновской (пластической) вязкости η определяли величину относительной вязкости $\eta_{отн} = \eta/\eta_0$, где η_0 – вязкость исходной нефти.

Полученные зависимости реологических параметров $\eta_{отн}$ и S от водосодержания эмульсий были использованы при анализе промысловых данных по отказам УСШН на Арланском месторождении (НГДУ «Южарланнефть») [2]. В этой публикации содержатся сведения о средней наработке штанг до отказа N (в млн. циклов) для 742 скважин двух типов. При анализе, данные для обоих типов скважин были объединены, и общая зависимость от водосодержания была подвергнута сглаживанию по методу скользящего среднего. Полученная сглаженная кривая $N(\phi)$ представлена в верхней части рисунка 2. Для сравнения, на рисунке показаны и зависимости от ϕ для описанных выше реологических параметров эмульсий. В средней части рисунка 2 приведены данные для относительной вязкости эмульсий - $\eta_{отн}(\phi)$. В нижней части рисунка показаны изменения степени тиксотропии – $S(\phi)$. Как и на рисунке 1, цифрами 1-5 обозначены типы структур дисперсной фазы эмульсий. Вертикальными линиями отмечены водосодержания, соответствующие условиям изменения структур: $\phi=0,18; 0,30; 0,58$ и $0,74$.

На рисунке 2 хорошо видна корреляция изменений наработки УСШН до отказа (изломов и экстремумов кривой $N(\phi)$) с изменениями структур дисперсной фазы добываемых В/Н эмульсий 1-5 и с сопутствующими вариациями реологических параметров.

Данные рисунка 2 показывают также, что, в отличие от распространенных убеждений [1,2], вязкость добываемой продукции не всегда является основным параметром, определяющим надежность работы насосов. Так, в эмульсиях со свободнодисперсной структурой 1 ($\phi < 0,18$) наработка до отказа остается постоянной, несмотря на заметное возрастание вязкости. Нарботка до отказа начинает резко снижаться лишь при переходе

к связнодисперсной структуре **2** ($\phi > 0,18$), указывая на основную роль появления предела текучести (динамического напряжения сдвига) и возникновения тиксотропии (рисунок 2, внизу). Замедление скорости снижения наработки до отказа совпадает с условием перехода вблизи $\phi \approx 0,30$ от структуры геля кластеров **2** к структуре пористого геля капель **3**, для которой характерно практическое постоянство степени тиксотропии **S**. Наихудшие показатели работы УСШН наблюдаются для эмульсий со структурами сплошного пластичного геля капель **4** ($0,56 < \phi < 0,64$) в которых происходит резкое возрастание как величины вязкости $\eta_{отн}$, так и степени тиксотропии **S**. При самых высоких водосодержаниях период наработки до отказа вновь растет, что можно объяснить как уменьшением вязкости в результате выделения свободной воды в эмульсиях со структурами «хрупких» гелей **5** ($\phi > 0,74$), так и снижением показателей тиксотропии.

Таким образом, результаты анализа промысловых данных показали, что отказы штанговых колонн УСШН обнаруживают явную корреляцию с условиями преобразования структур дисперсной фазы добываемых водонефтяных эмульсий, выявленными в лабораторных экспериментах. Эта корреляция обнаруживается даже несмотря на то, что в лаборатории исследовали дегазированные образцы, в то время как для промысловых эмульсий характерно заметное содержание растворенных газов [1,2].

Детальные механизмы осуществления обнаруженной корреляции пока не ясны, и требуют проведения дополнительных исследований. По-видимому, эти механизмы могут быть обусловлены заметными отличиями реологических параметров эмульсий с различиями структурами капель воды. Помимо изменений абсолютной величины вязкости эмульсий, определяющую роль играют наличие или отсутствие предельного напряжения сдвига, а также степень проявления тиксотропных свойств. Так известно, что увеличение вязкости эмульсий в УСШН является причиной повышения давления нагнетания рабочей жидкости в скважинах и усиленного износа трущихся пар забойных насосов из-за ухудшения

процесса отделения механических примесей в высоковязкой среде [1,2,3]. Одной из основных проблем глубинно-насосной эксплуатации скважин с высоковязкой нефтью является обеспечение свободного (без зависания) хода штанговой колонны вниз. Трение вязкой жидкости о поверхность штанг, гидродинамические сопротивления в муфтах создают опасность зависания колонны штанг в период нисходящего хода и удара при обратном ходе. По данным промысловых исследований, именно ударные нагрузки являются основной причиной обрывов штанг [2,3]. В свою очередь, величина ударных нагрузок зависит от степени тиксотропии добываемых водонефтяных эмульсий [3].

Список литературы

1. Кучумов Р.А., Сагитова Р.Г., Раджединов У.З. Методы повышения эксплуатационной надежности нефтепромыслового оборудования. - Уфа: Башкирское книжное издательство, 1983. – 112 с.
2. Уразаков К.Р., Богомольный Е.И., Сейтпагамбетов Ж.С., Газаров А.Г. 2003. Насосная добыча высоковязкой нефти из наклонных и обводненных скважин. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». – 303 с.
3. Романова Н.А., Алиев З.З., Буранчин А.Р. Вязкость водонефтегазовой эмульсии и ее влияние на эффективность работы глубиннонасосных установок//Нефтегазовое дело. – 2009. – Т. 7. - № 1. – С. 43-48
4. Евдокимов И.Н., Лосев А.П., Новиков М.А. Особенности внутренней структуры природных водонефтяных эмульсий//Бурение и нефть. - 2007. - № 4. С. 20–21.
5. Evdokimov, I.N., Efimov, Y.O., Losev, A.P., Novikov, M.A. Morphological Transformations of Native Petroleum Emulsions. I. Viscosity Studies//Langmuir. - 2003. - Vol. 24, № 14. - P. 7124–7131.

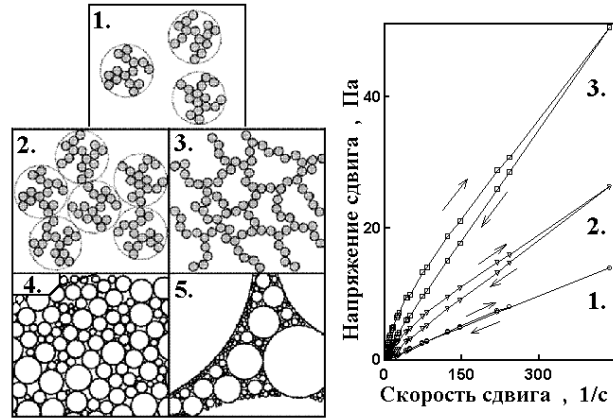


Рисунок 1. Слева – схематические изображения основных типов структур дисперсной фазы в промышленных водонефтяных эмульсиях. Справа – типичные кривые течения эмульсий, демонстрирующие наличие тиксотропии в образцах со связнодисперсными структурами (2.) и (3.)

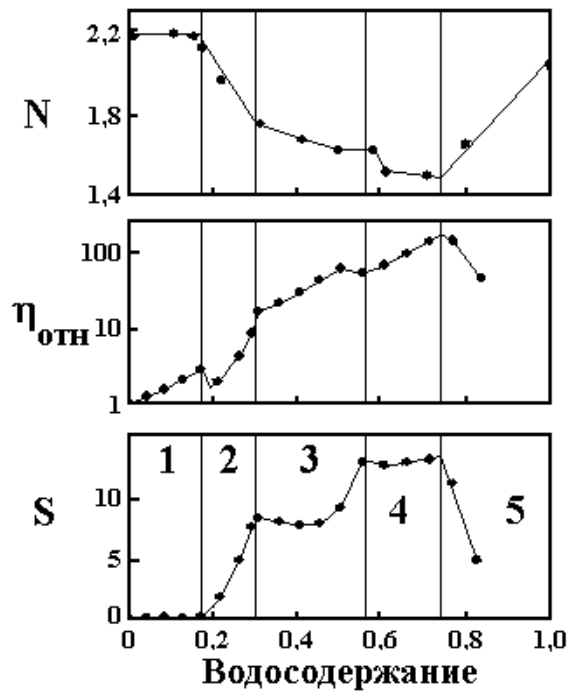


Рисунок 2. Влияние водосодержания эмульсий на: наработку до отказа УСШН N (в млн. циклов) – вверху; относительную вязкость эмульсий $\eta_{отн}$ – в центре; степень тиксотропии эмульсий S (в относит. ед.) – внизу. 1-5 – типы структур дисперсной фазы эмульсий, изображенные на рис. 1.

Correlation of well pump failures due to wear and break out of sucker rods with transformations of disperse phase structure in produced water-in-crude oil emulsions

I.N. Evdokimov, A.P. Losev

Gubkin Russian State University of Oil and Gas

Laboratory experiments revealed some general regularities in the formation of water droplets' floccular structures in oilfield water-in-oil emulsions. Analysis of oilfield data has shown that rod pumps failures are correlated with the changes of disperse phase structures in the recovered water-in-oil emulsions, as well as with accompanying variations in the rheological parameters.