

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИСАХАРИДНЫХ ПОНИЗИТЕЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОПОЛИМЕРНЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ ПЕРВИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

И.В. Масалида, А.А. Мельников, К.М. Минаев

Научный руководитель - доцент К.М. Минаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Успешное заканчивание нефтяной или газовой скважины и ее стоимость в значительной степени зависят от выбранного типа бурового раствора и его свойств. Буровой раствор влияет на качество вскрываемого пласта, оценку флюида в пласте и последующую производительность скважины. В некоторых случаях, когда параметры буровой промывочной жидкости не входят в рамки регламентированных значений, возможен необоснованный отказ от дальнейшей эксплуатации скважины в силу того, что не удастся точно оценить реальное содержание нефти или газа в пласте. Пласт может быть загрязнен частицами твердой фазы бурового раствора, либо закупорен полимерами, входящими в его состав. Из этого следует, что выбор правильного типа бурового раствора, способного минимизировать повреждение коллекторских свойств пласта, является краеугольным камнем экономически выгодного бурения. Для обеспечения минимальной степени физико – химического взаимодействия в системе «буровой раствор – продуктивный пласт» используются специальные промывочные жидкости, называемые также растворы первичного вскрытия (РПВ). Их отличительной особенностью является минимально возможное содержание инертной твердой фазы (барит, песок, глина). Из твердой фазы в состав РПВ может входить только кислоторастворимый мраморный кольматант, фракционный состав которого подбирается в зависимости от размера пор продуктивного пласта. В состав бурового раствора первичного вскрытия также входят правильно подобранные химические реагенты, контролирующие фильтрацию промывочной жидкости, которые либо биоразлагаемы, либо поддаются обработке кислотой или разрушителями фильтрационной корки. Наиболее распространенные реагенты, обеспечивающие контроль фильтрации РПВ – полисахариды, в частности модификации крахмала и полианионная целлюлоза [1]. Исследованию влияния данных реагентов на фильтрационные и реологические свойства РПВ посвящена данная работа.

Основой для проведения эксперимента является биополимерный буровой раствор, в состав которого входит: 0,5 г/л NaOH, 80 г/л KCl, 4 г/л ксантановой смолы («ОНК», Китай), 50 г/л карбоната кальция размером 10 микрон. Помимо перечисленных реагентов в буровой раствор поочередно вводились исследуемые понизители фильтрации в концентрации 10 г/л. Исследуемые понизители фильтрации представлены следующими реагентами: полианионная целлюлоза ПАЦ НВ (ООО «Геотехновации»), модифицированный карбоксиметилированный крахмал КМК (синтезирован специально для исследований), модифицированный крахмал Реатрол (ООО «Технологическая компания Шлюмберже»). Эффективность понизителей фильтрации и их совместимость с другими реагентами, входящими в состав бурового раствора, оценивалась при стандартных условиях (20°C) и после термической обработки. Приближение к забойным условиям осуществлялось путем проведения теста термического старения при температуре 90°C на протяжении 16 часов.

Измерение реологических и фильтрационных параметров бурового раствора производилось по стандартной методике API 13B-1 [2] для полевых испытаний буровых растворов. Используемое оборудование: вискозиметр атмосферный OFITE, модель 900; фильтр - пресс низкого давления OFITE, вальцовая печь OFITE.

Согласно полученным результатам наиболее высокие значения реологических параметров, в том числе кажущейся вязкости (КВ), пластической вязкости (ПВ), динамического напряжения сдвига (ДНС) были получены при добавлении в биополимерный буровой раствор реагента ПАЦ НВ (табл. 1). Чуть меньшее влияние на вязкость раствора оказал КМК (табл. 2), наименьший эффект – Реатрол (табл. 3). Данные результаты могут быть обоснованы наличием отрицательно заряженных карбоксиметильных функциональных групп у реагентов ПАЦ НВ и КМК, что способствует их лучшему растворению в буровом растворе. Значительное влияние на реологические параметры бурового раствора реагентами ПАЦ НВ и КМК также связано с молекулярной массой исследуемых полимеров. В соответствии с литературными данными [3], чем выше молекулярная масса полимера, тем больший эффект он оказывает на реологический профиль бурового раствора. В связи с этим можно предположить, что из всех исследуемых понизителей фильтрации наименьшей молекулярной массой обладает Реатрол. Вместе с тем Реатрол – неионогенный реагент, полученный путем влаготермической обработки кукурузного крахмала. Благодаря данной модификации происходит рассеивание амилозы – остова крахмала, что, в свою очередь, позволяет крахмалу гидратироваться несмотря на неионогенный характер, пусть и в меньшей степени, чем реагентам, обладающим ионогенными функциональными группами (ПАЦ НВ, КМК). Значительного эффекта на реологические параметры РПВ от воздействия высокой температуры при проведении теста термического старения отмечено не было. Реологические параметры практически не претерпели изменений.

Наилучшие результаты по потерям фильтрата бурового раствора были отмечены при добавлении в исходную систему реагентов КМК и Реатрол (табл. 2, табл. 3). Как при стандартных условиях, так и после проведения теста термического старения, значения фильтрации для данных систем оказались практически идентичны. При добавлении в биополимерный буровой раствор реагента ПАЦ НВ отмечены более высокие потери фильтрата (табл. 1). Таким образом можно прийти к выводу, что в биополимерных системах первичного вскрытия наиболее эффективно применять именно крахмалы и их модификации, нежели полианионную целлюлозу. Поэтому в промышленном бурении нефтяных и газовых скважин в безглинистых РПВ чаще используются крахмальные реагенты. Наиболее распространенная биополимерная система первичного вскрытия «Flo – Pro», представленная компанией M-I Swaco, включает в свой состав именно модифицированный крахмал. Как утверждается в исследовании [4], наилучшие результаты по реологическим и фильтрационным свойствам биополимерного бурового

раствора первичного вскрытия достигаются при совместном использовании реагентов Flo-Vis (ксантановая смола) и Flo-Trol (гидроксипропил крахмал). В текущем исследовании в совокупности с ксантановой смолой применялись другие модификации крахмалов (карбоксиметилированный крахмал КМК и обработанный кукурузный крахмал Реатрол). При этом потери фильтрата оказались достаточно низкими, что свидетельствует о высокой эффективности данных модификаций крахмалов в растворах первичного вскрытия пласта. В перспективе также планируется провести сравнительный анализ реагентов КМК и Реатрол с гидроксипропил крахмалом Flo-Trol, чтобы подтвердить возможность потенциального использования ряда альтернативных модификаций крахмала в РПВ.

Таблица 1

Реологические и фильтрационные свойства РПВ при добавлении ПАЦ НВ

Тип бурового раствора	КВ, сП	ПВ, сП	ДНС, фунт/100 фут ²	СНС ₁₀ , фунт/100 фут ²	СНС ₆₀₀ , фунт/100 фут ²	Фильтрация, мл
РПВ до термообработки	36	22	28	7	10	13,4
РПВ после термообработки	28	17	23	7	12	19,4

Таблица 2

Реологические и фильтрационные свойства РПВ при добавлении КМК

Тип бурового раствора	КВ, сП	ПВ, сП	ДНС, фунт/100 фут ²	СНС ₁₀ , фунт/100 фут ²	СНС ₆₀₀ , фунт/100 фут ²	Фильтрация, мл
РПВ до термообработки	22	12	19	9	13	7,4
РПВ после термообработки	23	12	23	10	14	11,7

Таблица 3

Реологические и фильтрационные свойства РПВ при добавлении Реатрол

Тип бурового раствора	КВ, сП	ПВ, сП	ДНС, фунт/100 фут ²	СНС ₁₀ , фунт/100 фут ²	СНС ₆₀₀ , фунт/100 фут ²	Фильтрация, мл
РПВ до термообработки	18	10	15	8	10	7,1
РПВ после термообработки	16	8	16	6	11	11,2

Влияние термического старения на фильтрационные свойства исследуемых растворов первичного вскрытия оказалось достаточно существенным. После проведения термообработки под действием 90 °С на протяжении 16 часов во всех трех тестах наблюдался рост потерь фильтрата. Как и многие биополимеры, крахмалы при высокой температуре подвержены деградации. Деградация крахмала приводит к увеличению потерь фильтрата бурового раствора, что может привести к неконтролируемой фильтрации и, как итог, повреждению коллекторских свойств пласта. В текущем исследовании неконтролируемой фильтрации отмечено не было, однако по полученным результатам можно заключить о частичном разложении полимеров при температуре 90 °С. В то же время не представляется возможным утверждать абсолютно точно, что данный эффект связан именно с деградацией полисахаридных реагентов. Увеличение потерь фильтрата также может быть связано с разложением ксантановой смолы. Сравнительный анализ термостабильности ксантановой смолы различных производителей также планируется в дальнейших исследованиях.

Выводы:

- Наиболее высокие значения реологических параметров в растворе первичного вскрытия пласта были достигнуты при использовании полианионной целлюлозы ПАЦ НВ и карбоксиметилированного крахмала КМК. Предположительно это связано с тем, что данные реагенты обладают карбоксиметильными функциональными группами и более высокой молекулярной массой по сравнению с кукурузным крахмалом Реатрол.
- Наилучшие фильтрационные свойства в РПВ были достигнуты при использовании крахмальных реагентов КМК и Реатрол. В соответствии с исследованием [4], такой результат связан с синергетическим эффектом от совокупного применения ксантановой смолы и модифицированного крахмала. Совместное использование ксантановой смолы и полианионной целлюлозы в биополимерных растворах первичного вскрытия не настолько эффективно.
- Оценено влияние термического старения на растворы первичного вскрытия при добавлении различных полисахаридных реагентов для контроля фильтрации. Воздействие температуры 90 °С значительно сказывается на фильтрационных свойствах бурового раствора и практически не отражается на реологическом профиле промывочной жидкости. При частичной деградации полимеров в первую очередь ухудшаются фильтрационные свойства бурового раствора.

Литература

1. Simonides H., Schuringa G., Ghalambor A. Role of Starch in Designing Nondamaging Completion and Drilling Fluids. 73768-MS SPE Conference Paper. – 2002.
2. API, R., B-1 Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Waterbased Drilling Fluid, Fifth Edition – 2019.
3. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов. М: Недра. – 1985.
4. Петров Н.А., Давыдова И.Н. исследования безглинистой промывочной системы Flo-Pro для бурения горизонтального ствола скважин. Нефтегазовое дело. Том 9, № 3 – 2011.