



УДК 622.276

КОНТРОЛЬ ПЕСКА ФЕРРОЦЕМЕНТНОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛОЖЕННЫХ СЛАБОЦЕМЕНТИРОВАННЫМИ ПЛАСТАМИ

SAND CONTROL BY FERROCEMENT COMPOSITION IN THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS COMPOSED OF WEAKLY CEMENTED LAYERS

Ахмед Фариз Фикрет

кандидат технических наук, доцент,
Государственная нефтяная компания
Азербайджанской Республики (SOCAR),
Научно-исследовательский проектный
институт нефти и газа
farizahmed@mail.ru

Ahmed Fariz Fikret

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
State Oil Company
of Azerbaijan Republic (SOCAR),
Oil and gas scientific research project institute
farizahmed@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обеспечению полноты использования добычных возможностей пескопроявляющих скважин на основе разработки эффективной технологии крепления призабойной зоны скважин. Значительного повышения эффективности можно добиться путём применения нетрадиционных способов воздействия на процесс. Одним из таких методов является магнитная обработка тампонажных систем, которая открывает новые возможности в нефтедобывающей промышленности. Для совершенствования способа восстановления и крепления пород призабойной зоны в лабораторных условиях были проведены эксперименты. Выявлено, что путем воздействия на тампонажный раствор магнитным полем можно дополнительно повысить прочность цементного барьера создаваемого в призабойной зоне скважины и сделать его устойчивым к механическим и фильтрационным разрушениям.

Annotation. This article provides a work is focused on complete production potential of sand producers based on development of effective producing sand consolidation technology. We can achieve significant efficiency gains using unconventional stimulation methods. Magnetic treatment of grouting systems is one of such methods, which open new possibilities in the oil industry. Experiments were conducted under laboratory conditions in order to improve the method of restoring and stabilization of producing formation. It was revealed that magnetic interference on the cement slurry allows further improve the set strength created in the bottom-hole zone and makes it resistant to mechanical and filtration destruction.

Ключевые слова: призабойная зона, тампонажный раствор, ферромагнитные частицы, прочность, проницаемость, магнитное воздействие.

Keywords: bottomhole zone, cement slurry, ferromagnetic particles, strength; permeability, magnetic effects.

Совершенствование техники и технологии нефтедобычи зависит от эффективности технологических процессов добычи углеводородов. Одним из наиболее проблемных подходов к решению данной проблемы является создание и внедрение технологий характеризующихся сбережением энергии и ресурсов.

Последние годы в Азербайджанской Республике остро встает задача осуществления эффективных мер по стабилизации и росту уровня добычи нефти. Немаловажную роль в увеличении добычи нефти из нового фонда добывающих скважин играют вопросы качества крепления призабойной зоны в неустойчивых коллекторах, которые в процессе эксплуатации выдают песок.

Наряду с развитием и совершенствованием традиционных методов применяемых при добыче нефти, всё большее применение находят методы, реализуемые на основе различной физической природы: лазерной, магнитной, ультразвуковой, радиационной и т.д. Значительного повышения эффективности можно добиться путём применения нетрадиционных способов воздействия на процесс. Одним из таких методов является магнитная обработка тампонажных систем, которая открывает новые возможности в нефтедобывающей промышленности [1, с. 10].

Постоянные и переменные магнитные поля, применяемые для целей интенсификации нефтедобычи являлись предметом изучения многих исследований. По результатам этих исследований создан ряд новых технологий, обеспечивающих увеличение приёмистости нагнетательных скважин, восстановление продуктивных характеристик пластов, улучшение физико-механических свойств тампонажных растворов и др. В исследованиях изучалось влияние переменного магнитного поля на процесс крепления цементного камня. Используя магнитное воздействие при малых энергетических затратах можно получить эффект, по энергетическим возможностям превышающий в кратном размере все затраты. Таким образом, эти особенности являются серьёзными предпосылками для создания технологий характеризующихся сбережением энергии и ресурсов [2, с. 13].



Для совершенствования способа крепления пород призабойной зоны в лабораторных условиях были проведены эксперименты в два этапа. На первом этапе экспериментов для улучшения физико-механических свойств цементного камня в качестве добавок были использованы ферромагнитные частицы Дашкесанского месторождения Азербайджанской Республики, который имел следующие характеристики: плотность 4720–4950 кг/м³, прочность на сжатие 150,2 МПа. Исследуемый нами тампонажный раствор представляет магнитореологическую жидкость состоящую из ферромагнитных частиц, помещённых в матрицу цементного раствора. Размеры ферро частиц составляют от 10⁻⁵ м до 10⁻³ м. Исследования осуществлялись при водо-цементном отношении 0,5–0,6, при котором достигалась необходимая подвижность и растекаемость тампонажного раствора, необходимая при цементировочных мероприятиях в скважинах, а также максимальная прочность цементного камня, образующегося в призабойной зоне.

Для изучения влияния количества ферромагнитных частиц на прочностные характеристики цементного камня исследовались цементные растворы с различными добавками ферромагнита от 0 до 10 %. Во всех экспериментах температура выдерживалась идентичной для условий месторождений Азербайджана, от 20 °С до 150 °С. Результаты исследований приведены на рисунке 1.

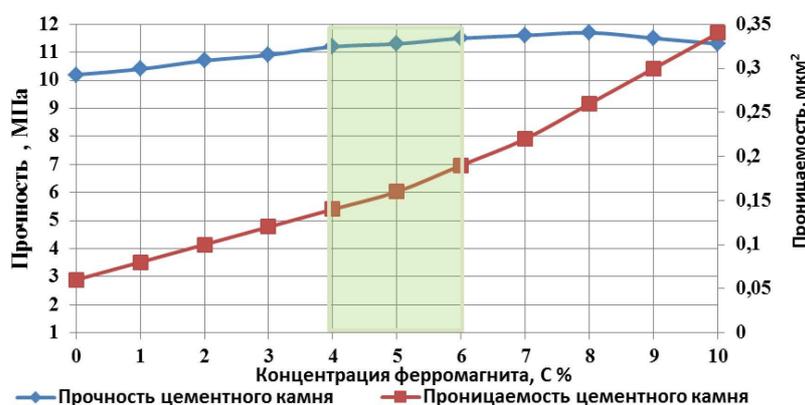


Рисунок 1 – Влияние концентрации ферромагнитных частиц на прочность и проницаемость цементного камня

Как видно из этих рисунков, существенное повышение прочности цементного камня (до 30–40 %) наблюдается при концентрации ферромагнитных частиц в цементной системе 4–6 %, а затем оно существенно снижается. При увеличении количества ферромагнитных частиц проницаемость образца доходит до 0,32 мкм². При креплении призабойной зоны скважин содержание воды в цементном растворе регулируется в широких пределах. Наличие воды оказывает существенное влияние на показатели прочности. Излишнее содержание воды приводит к понижению прочности затвердевшего цементного камня. Но при увеличении концентрации ферромагнита в интервале 4–6 % можно добиться приемлемой прочности при высоком содержании воды.

Далее проводились исследования по влиянию возраста образцов на прочностные показатели цементного камня. Результаты представлены на рисунке 2.

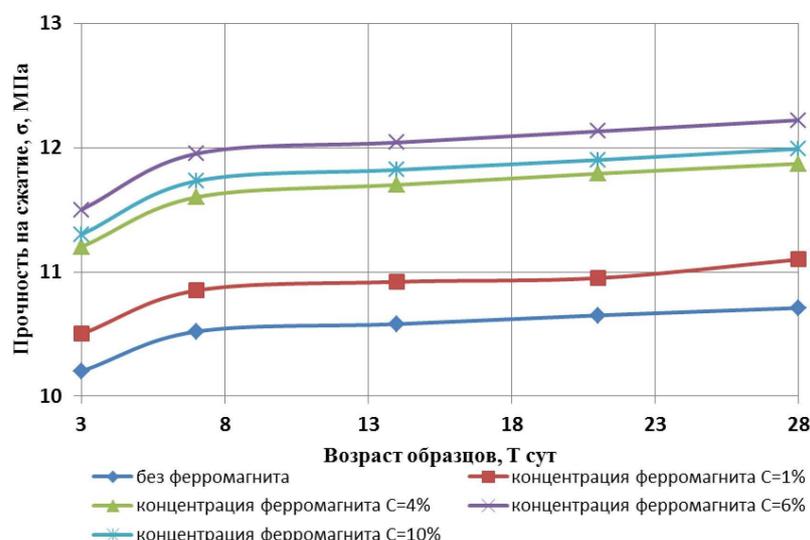


Рисунок 2 – Влияние возраста образцов на прочность цементного камня



Как видно из рисунка, со временем прочность образцов возрастает и при истечении 28 дней оно стабилизируется.

Исследование кинетики структурно-механических свойств цементных растворов имеет большое значение для анализа подвижности их в процессе закачки в скважину [3, с. 194]. Для закачки цементного раствора, растекаемость является одним из основных показателей. Для изучения влияния ферромагнитных частиц на растекаемость цементного раствора исследовались цементные растворы с различными добавками ферромагнита. Исследованием установлено изменение растекаемости цементного раствора от концентрации добавок ферромагнитных частиц. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1. Как видно из таблицы, существенное уменьшение растекаемости (10–15 %) наблюдается при концентрации ферромагнитных частиц в цементном растворе 4–6 %. При дальнейшем увеличении концентрации растекаемость цементного раствора изменяется незначительно и идентична минимальному показателю растекаемости.

Период жидкого состояния цементного раствора условно ограничивается началом схватывания, которое характеризуется резким снижением подвижности системы. Конец схватывания определяется окончательной потерей подвижности и превращением жидкой массы в твердое тело, однако не обладающее еще значительной прочностью. Таким образом, схватывание рассматривается как начальная стадия процесса твердения, при котором пластичное цементное тесто превращается в твердое тело.

Регулирование сроков схватывания достигается путем добавки в цементный раствор определенного количества (до 10 %) ферромагнитных частиц.

Таблица 1 – Регулирование сроков схватывания в зависимости от ферромагнитных частиц

№ образца	Дисперсная фаза, %		Дисперсная среда, %	Плотность раствора, кг/м ³	Растекаемость 10 ⁻² м
	цемент	ферромагнит			
1	100	–	60	1750	24
2	99,5	0,5	60	1780	23
3	99	1	60	1810	22,5
4	98	2	60	1850	21
5	96	4	60	1900	20
6	95	5	60	1940	19
7	92	8	60	1980	17,5
8	90	10	60	2190	16

Исследованием установлено изменение времени схватывания цементного раствора от концентрации добавок ферромагнитных частиц. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние концентрации ферромагнита на время схватывания

Концентрация ферромагнита, %	Время схватывания, мин.			
	t = 20 °C		t = 150 °C	
	начало	конец	начало	конец
0	170	200	155	175
1	150	170	130	150
5	140	165	115	140
10	120	150	100	140

Как видно из таблицы, при увеличении процентного содержания ферромагнитных частиц в цементном растворе скорость схватывания ускоряется. С повышением температуры средняя скорость схватывания цементного раствора ускоряется, которое нужно учесть при креплении призабойной зоны скважин при различных температурных факторах.

На втором этапе экспериментальных исследований определялось влияние магнитного поля на физико-механические параметры ферроцементной композиции.

В экспериментах использовались два основных физических параметра ферромагнитной породы: остаточная намагниченность и усиление намагничивания в во внешней магнитной среде. Намагниченность отдельных тел даже в слабых магнитных полях во много раз превосходит намагниченность диамагнитных и парамагнитных веществ. При помещении ферромагнита даже в относительно



слабое магнитное поле, оно сильно намагничивается. Для ферромагнита магнитная восприимчивость сильно зависит от напряжённости магнитного поля. Под действием внешнего магнитного поля ферро частицы выстраиваются в цепочки, направленные вдоль линий приложенного магнитного поля. Взаимодействие частиц в этих цепях зависит от величины приложенного магнитного поля: в слабом поле эти цепи легко разорвать, в сильном – тяжело. Также сила взаимодействия частиц зависит от величины намагниченности насыщения. В ферромагнитном материале присутствует дипольное магнитное взаимодействие частиц и взаимодействие внешнего магнитного поля с ферро частицами образца [4, с. 16; 5, с. 4].

Как было описано выше цементный барьер, образующийся в зоне выработки в прифильтовой зоне, должен обладать достаточной прочностью, а также химической и температурной стойкостью.

В лабораторных условиях было изучено влияние напряжённости магнитного поля на физико-механические показатели цементного раствора и тампона

Для изучения влияния магнитного поля на дисперсное состояние цементной композиции собрана лабораторная установка представленная на рисунке 3.

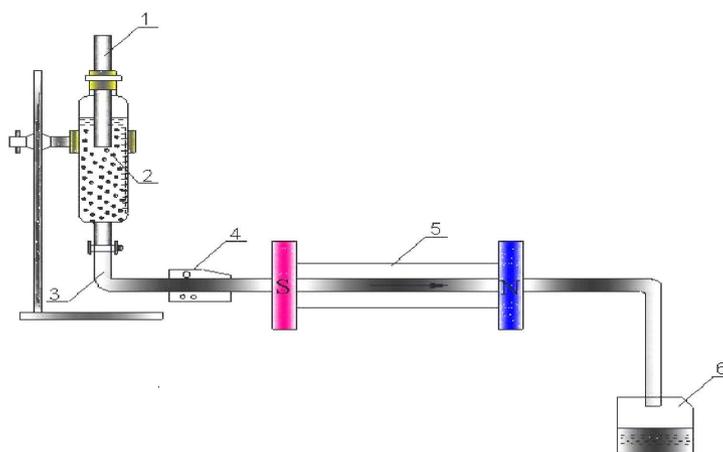


Рисунок 3 – Лабораторная установка магнитной обработки ферроцементной композиции:

1 – термометр; 2 – обогреваемая ёмкость; 3 – термостойкие трубки; 4 – насос; 5 – магнетизатор; 6 – приёмник

В собранной экспериментальной установке были исследованы влияние магнитного поля на физико-механические свойства ферроцементного раствора и камня: растекаемость, время схватывания, проницаемость и прочность при сжатии. Основная цель эксперимента-исследование повышение качества воздействия магнитного поля на физико-механические свойства. Во всех экспериментах состав цементного раствора брался одинаковым. Напряженность магнитного поля, создаваемая электромагнитом, регулировалась в пределах 0–50 000 А/м. При воздействии магнитного поля на ферроцементный раствор его свойства претерпевали серьезные изменения. Поскольку как видно из графика на рисунке 1, максимальная прочность достигается при 4–6 %-й концентрации ферромагнитных частиц, было решено дальнейшие эксперименты проводить при максимальном показателе прочности. Результаты представлены на рисунке 4.

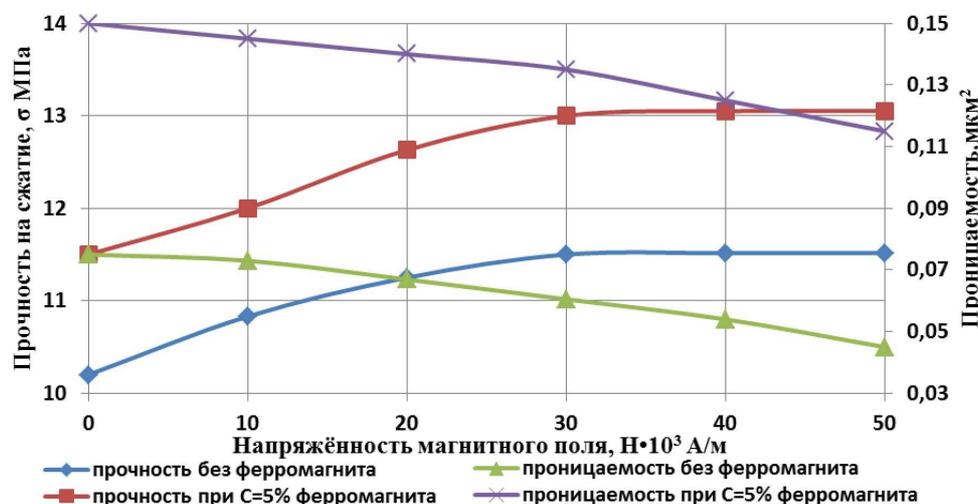


Рисунок 4 – Влияние напряжённости магнитного поля на прочность цементного камня



Как видно из рисунка 4, существенное повышение прочности цементного камня (20–25 %) и снижение проницаемости (10–15 %) наблюдается при напряженности магнитного поля в интервале 25000–30000 А/м. Дальнейшее повышение напряженности магнитного поля, незначительно влияет на показатели.

Влияние магнитного поля проявляется в результате того, что магнитное поле воздействует главным образом на агрегаты ферромагнитных частиц. Под действием лоренцевых сил происходит эффективное их разделение на множество мелких частиц, состоящих главным образом из трехвалентного железа. Эти частицы увеличивают количество центров кристаллизации в тампонажном растворе, происходит его активация, что в итоге улучшает физико-механические свойства цементного камня и тампонирующую способность цементного раствора, а следовательно, и качество крепления призабойной зоны скважин.

Далее проводились эксперименты по влиянию напряженности магнитного поля на растекаемость цементной композиции. Эксперименты проводились при 20 °С. Исследованием установлено изменение растекаемости цементного раствора от напряженности магнитного поля. На основе полученных экспериментальных данных составлена таблица 3.

Таблица 3 – Влияние концентрации ферромагнита на растекаемость цементного раствора

Концентрация ферромагнита, %	Растекаемость цементного раствора, 10 ⁻² м					
	Напряжённость магнитного поля, Н, А/м					
	0	5 000	15 000	25 000	35 000	45 0000
0	24,5	24	23,5	23	22,5	21,5
0,5	24	23,5	23	22,5	22	20,5
1,0	23	22	21,5	21	20,5	19
5,0	21,5	20,5	20	19,5	19	18,5
12	19	18	17,5	17	16,5	16

Как видно из таблицы, уменьшение растекаемости цементного раствора наблюдается при напряженности магнитного поля 21000 А/м. Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля приводит к весьма незначительным изменениям растекаемости.

Магнитное поле активизирует разложение составных частей цементного раствора, что благоприятно сказывается на коагуляции и коллоидных свойствах. В результате воздействия магнитным полем на цементный раствор обеспечивается ускорение физико-механических процессов. В то же время начинают формироваться отдельные агрегаты вязких веществ, связывающие разрозненные частицы в группы, и этим подготавливают структуру к схватыванию. Во всех экспериментах температура выдерживалась 20 °С и 150 °С. Исследованием установлено изменение времени схватывания цементного раствора при концентрации ферромагнитных частиц С = 5 %. На основе полученных экспериментальных данных составлена таблица 4.

Таблица 4 – Влияние напряжённости магнитного поля на время схватывания

Напряженность магнитного поля, Н, А/м	Время схватывания, час-минута			
	t = 20 °С		t = 150 °С	
	начало	конец	начало	конец
0	2 ²⁰	2 ⁴⁵	1 ⁵⁵	2 ²⁰
5000	2 ¹⁰	2 ³⁵	1 ⁴⁵	2 ⁰⁰
15000	2 ⁰⁰	2 ²⁰	1 ¹⁰	1 ³⁰
25000	1 ⁴⁵	2 ⁰⁰	1 ²⁰	1 ⁰⁰
35000	1 ³⁵	1 ⁴⁵	1 ¹⁰	0 ⁵⁰

Как видно из таблицы 4, повышение напряженности магнитного поля до 25 000 А/м приводит к увеличению скорости схватывания. Дальнейшее повышение напряженности магнитного поля не приводит к ускорению времени схватывания, поскольку получаются схожие данные. Исследование параметров ферроцементного раствора и камня показало, что его можно применять отдельно и в сочетании с магнитным воздействием.

Выводы

1. Разработана новая технология крепления с применением гранулированных ферромагнитных частиц в тампонажном растворе, позволяющая создать прочный, долговечный и проницаемый барьер.



2. На основании экспериментальных исследований установлено, что наличие ферромагнитных частиц в тампонажном растворе приводит к повышению прочности цементного камня. Максимальная прочность получается при 5 %-й концентрации ферромагнитных частиц.

3. Выявлено, что путем воздействия на тампонажный раствор магнитным полем можно дополнительно повысить прочность цементного барьера создаваемого в призабойной зоне скважины и сделать его устойчивым к механическим и фильтрационным разрушениям.

Литературы:

1. Salavatov T.Sh., Panahov C.M., Bodi T. «Analysis of rheological features for the regulation of hydraulic characteristics of non-newtonian oils». Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. – Budapest : Akademiai Kiado, 1989. – Vol. 24 (1–2). – P. 175–184.

2. Шайдаков Е.В., Полетаева О.Ю., Шайдаков В.В., Уметбаев В.В., Катрич Н.М., Балапанов Д.М. Магнитная коагуляция механических примесей // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 4. – С. 102–114.

3. Мирзаджанзаде А.Х. и др. Гирավлика в бурении и цементировании нефтяных и газовых скважин. – М. : Недра, 1977. – С. 194.

4. Carlson J.D. Magnetorheological fluid actuators : Adaptronics and Smart Structures. – 1999. – p. 180–195.

5. Klingenberg D.J. Magnetorheology: applications and challenges // AIChE Journal. – 2001. – Т. 47. – № 2. – P. 246–249.

References:

1. Salavatov T.Sh., Panahov C.M., Bodi T. «Analysis of rheological features for the regulation of hydraulic characteristics of non-newtonian oils». Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. – Budapest : Akademiai Kiado, 1989. – Vol. 24 (1–2). – P. 175–184.

2. Shaydakov E.V., Poletayeva O.Yu., Shaydakov V.V., Umetbayev V.V., Katrich N.M., Balapanov D.M. Magnetic coagulation of mechanical impurity // Online scientific magazine «Neftegazovoye Delo». – 2011. – No. 4. – P. 102–114.

3. Mirzadzhanzade A.H., etc. Giravlika in drilling and cementation of oil and gas wells. – M.: Subsoil, 1977. – P. 194.

4. Carlson J.D. Magnetorheological fluid actuators : Adaptronics and Smart Structures. – 1999. – p. 180–195.

5. Klingenberg D.J. Magnetorheology: applications and challenges // AIChE Journal. – 2001. – Т. 47. – № 2. – P. 246–249.