

УДК 622.245

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА КАЧЕСТВО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Б.Т. Умралиев, А.Ф. Кенжалиев, М.Ж. Таскинбаев

*Данная работа посвящена изучению степени влияния электрического поля на деформационно-прочностные и фильтрационные характеристики цементного камня и герметичность кольцевого пространства. Электрическое поле оказывает негативное влияние на процесс формирования цементного камня и его контакт с разделяющими границами. В лабораторных условиях установлено, что плотность контакта цементного камня с колонной зависит от величины разности потенциалов между колонной и стенками скважины и ее полярности. Установлено, что процесс формирования цементного камня в электрическом поле зависит от состава тампонажной смеси, воды затворения, химобработок, температуры окружающей среды.*

*Ключевые слова: тампонажные материалы, методы цементирования скважин, электрический потенциал, электрические поля.*

В процессе строительства скважин нарушается равновесие, которое формировалось в горных породах разбуриваемого месторождения в течение долгого времени. Происходит локальное разрушение горной породы, в проницаемые пласты проникает фильтрат бурового и цементного растворов, оттесняя пластовый флюид от стенки скважины. В результате такого взаимодействия изменяются физические поля [1]: протекают окислительно-восстановительные и фильтрационно-адсорбционные процессы, которые приводят к возникновению локальных электрических потенциалов. Одновременно с этим в скважине изменяются поля давлений и температуры. Таким образом, формирование цементного камня в затрубном пространстве скважин происходит под воздействием различных факторов, которые могут оказывать негативное влияние на физико-химический процесс образования прочного низкопроницаемого камня и герметичного затрубного пространства.

При разработке тампонирующих материалов и технологий цементирования

скважин многими авторами учитываются возможные негативные факторы влияния окружающей среды на процесс формирования цементного камня [2], поэтому тампонажный раствор перед задавливанием в скважину подвергают механической и электромагнитной обработке, а после задавливания в скважину - тепловой. Однако, как показывает опыт, это не всегда приводит к положительным результатам.

Согласно работам Серякова А.С. и Крылова Д.А. [1, 2], а также результатам наших исследований установлено, что между колонной и стенкой скважины после задавливания тампонажного раствора образуется электрический потенциал, колеблющийся в процессе затвердевания раствора. Этот потенциал в интервалах различных пород может существенно различаться. Если учесть, что цементный раствор является щелочным электролитом, то образующееся электрическое поле будет оказывать влияние на процесс кристаллизации, а, следовательно, и на все характеристики цементного камня и его контакт с электродами - колонной и породой. Поэтому нами была поставлена задача – в

лабораторных условиях изучить степень влияния электрического поля на деформационно-прочностные и фильтрационные характеристики цементного камня и герметичность кольцевого пространства.

Лабораторные исследования влияния электрических полей на свойства цементного камня проводились на цилиндрических и кольцевых моделях. На цилиндрических моделях изучалось влияние вертикальных полей, а на кольцевых - радиального поля. Суть экспериментов состояла в том, что исследуемый тампонажный раствор заливали одновременно в несколько стеклянных цилиндров диаметром 30 мм и длиной 400-500 мм, в которых сверху и снизу были размещены металлические электроды. Электроды подключали к источнику электрического напряжения. Стеклянные цилиндры имели различную полярность, а амплитуда электродвижущей силы (далее – ЭДС)

устанавливалась исходя из решаемых задач эксперимента. После превращения тампонажного раствора в камень источник отключался, и исследовались свойства полученных образцов. Для этой цели они распиливались на равные части, высушивались, насыщались водой. Так определялось изменение пористости вдоль всей модели. Затем определялась их прочность на сжатие и кислотостойкость. Для различных тампонажных растворов получали не менее 3 образцов с одинаковой полярностью подключенного источника. Полученные результаты фиксировались и затем рассчитывалось среднее значение измеряемых величин. В табл. 1 приведены данные пористости, водопроницаемости и прочности на сжатие образцов, взятых с нижней и верхней частей модели при разнополярном подключении источника ЭДС, равного 0,8 В.

**Таблица 1. Результаты испытания образцов из ПЦГ**

Вид измерения	Полярность ЭДС			
	Верх (+)	Низ (-)	Верх (-)	Низ (+)
Вес сухого образца, г	12,47	11,46	14,53	12,67
Вес насыщенного водою образца, г	16,03	14,96	18,29	16,74
Пористость, %	28,5	30,5	25,9	32,1
Проницаемость, мД	1,8	1,1	1,3	2,2
Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	176,0	159,0	112,0	131,5

Отдельные образцы цементного камня испытывались на кислотостойкость. Для этой цели они помещались в боксы с 10% водным раствором соляной кислоты и выдерживались в нем не менее часа. Через каждые 10-20 мин они извлекались

и взвешивались на лабораторных весах. По изменению общего веса определялась их кислотостойкость. В табл. 3 приведены результаты указанного испытания образцов.

**Таблица 2. Изменение веса образцов цементного камня в растворе соляной кислоты**

Время, мин	Вес образцов цементного камня, г			
	Полярность ЭДС			
	Верх (+)	Низ (-)	Верх (-)	Низ (+)
0	16,03	14,96	18,3	16,7
20	15,1	14,1	17,3	15,9
40	14,7	13,8	17,0	15,6
60	14,5	13,5	16,7	15,45
Изменение веса, г	1,53	1,46	1,6	1,25
Изменение веса, %	9,5	9,8	8,7	7,5

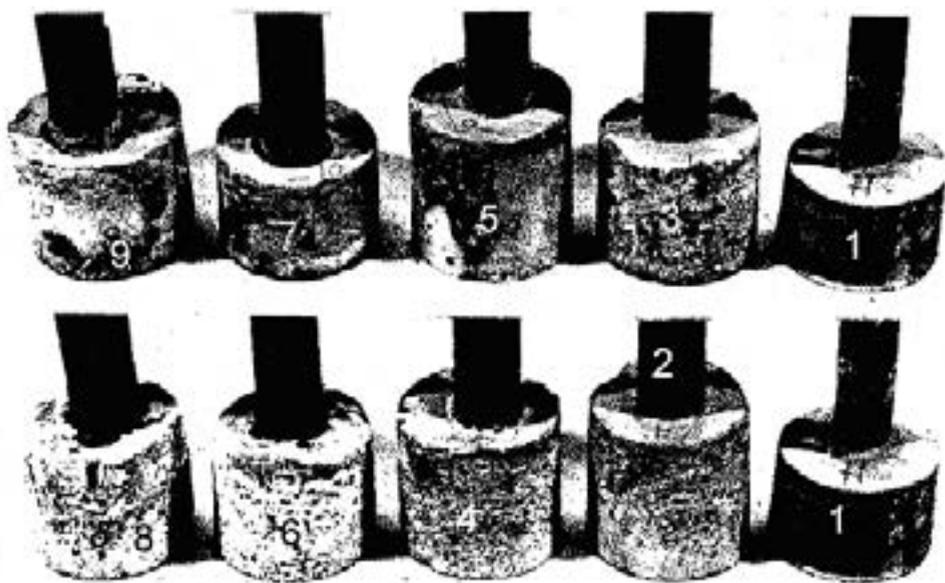
Анализ полученных в табл. 1-2 результатов доказывает существование влияния электрического поля на свойства получаемого цементного камня. У положительных полюсов формируется более прочный цементный камень, но с большей проницаемостью. Что касается пористости, то она зависит не только от полярности источника электрического напряжения, но и от того, с какой стороны он подключен: снизу или сверху модели.

Электрическое поле оказывает влияние на кислотостойкость образцов. У положительного полюса она немного выше, чем у отрицательного. Но если направление поля и седиментационного процесса совпадают, то кислотостойкость таких образцов ниже, чем у образцов с противоположно направленным полем, несмотря на то, что их прочность меньше. Кислотостойкость цементного камня зависит от химобработки тампонажного раствора, а также свойств тампонажной смеси.

Методика проведения экспериментальных работ на кольцевых моделях состояла в следующем. В искусственных или естественных кернах высверливались отверстия от 30 до 50 мм. После их пропитки минерализованной водой в них размещали металлические (сплошные или полые) стержни, диаметр которых определялся условиями опыта. В образовавшееся кольцевое пространство заливали исследуемый тампонажный раствор. К керну и стержню подключали источник постоянного электрического напряжения. Его амплитуда и полярность подключения определялись условиями и задачами проводимого эксперимента. Анализ образцов цементного камня позволил установить,

что получаемые результаты не зависят от минералогического состава материала, имитирующего горные породы. По этой причине большинство опытов проводили в стеклянных, пластмассовых или полиэтиленовых моделях цилиндрической формы, внутренние стенки которых обклеивались фольгой. Преимущество таких моделей заключалось в том, что они просто монтировались и разбирались.

Полученные на кольцевых моделях результаты приведены на рис. 1. К трубкам четных номеров были прикреплены положительные электроды внешних источников электрического поля, к нечетным моделям - отрицательные. К фольге подключались электроды противоположной полярности. Абсолютная величина напряжений подбирались таким образом, чтобы в моделях протекал ток в соответствии с возрастанием номеров: 1, 5, 10 и 20 мА. На модель под номером 1 напряжение не подавалось. Таким образом, в ней тампонажный раствор кристаллизовался без воздействия электрического поля. Общий обзор представленных на рисунке результатов свидетельствует о значительном влиянии полярности и амплитуды электрического поля на состояние границ с трубкой, имитирующей колонну, и фольгой, имитирующей породу. На положительно заряженных колоннах при определенной силе тока может протекать коррозионный процесс. На моделях 2 и 4 в процессе формирования камня поддерживался ток, соответственно равный 1 и 5 мА. Коррозии не наблюдалось, а цементный камень имел высокую адгезию с металлом.



**Рисунок 1. Состояние внешней поверхности цементного камня на границе с металлической трубкой и фольгой при различных величинах и направлений тока**

*3, 5, 7, 9 – на трубке минус (1, 5, 10, 20 мА); 2, 4, 6, 8 – на трубке плюс (1, 5, 10, 20 мА)*

При токе 10 мА (образец 6) происходит коррозия металла и оксид железа проникает внутрь камня. Еще более сильная коррозия наблюдается при токе 20 мА (образец 8). На границе с фольгой (внешняя граница), куда подключался отрицательный электрод, наблюдается отложение карбонатных солей, которые легко соскабливаются. Адгезия отсутствует, и фольга легко отстает от камня. Количество отложившихся солей оказалось пропорциональным амплитуде тока. На всех моделях контакт цементного камня с металлической трубкой плотный, граница непроницаема независимо от того, имеет место коррозия или нет. Хорошая адгезия с металлом отмечена на образцах, твердевших при малых токах (до 5 мА). Она значительно превышала адгезию цементного камня, полученного в отсутствие электрического поля.

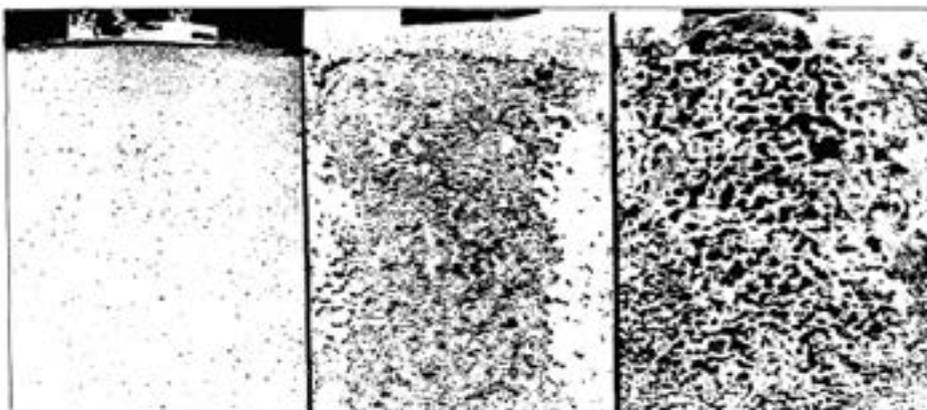
Цементный камень с отрицательно заряженной трубкой (образцы 3, 5, 7, 9) адгезии не имеет, граница - легко про-

цаемая для любой жидкости. Величина проницаемости зависит от амплитуды напряжения (тока), подаваемого на модель - увеличение напряжения приводит к пропорциональному росту проницаемости. Непроницаемая граница формируется при токе в 1 мА (образец 3). Хорошая адгезия образуется на границе с фольгой. На отрицательно заряженной колонне (трубке) откладываются минеральные соли. При извлечении трубки из цементного кольца они остаются на ее поверхности и отбиваются только путем механического воздействия. Исследования акустической аппаратурой показывают, что упругая волна на трубке с отложившейся солью затухает примерно в 20 раз сильнее, чем при их отсутствии. Подобные ситуации могут возникать в обсаженных скважинах после опрессовки, перфорации или других механических воздействий на колонну.

На рис. 2 и 3 приведены фотографии внешней и внутренней поверхностей моделей, цементы которых формировались

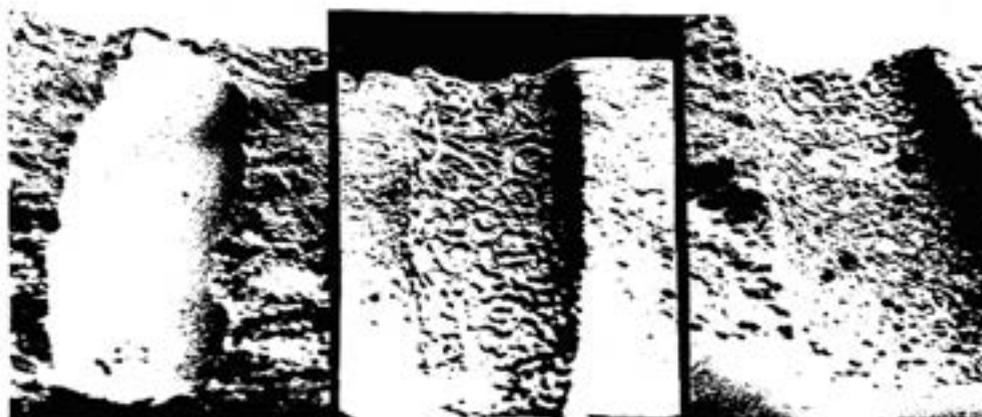
при различных отрицательных потенциалах на внешних электродах, имитирующих колонну. Первые (гладкие) поверхности, приведенные на обоих рисунках, формировались при отсутствии электрических напряжений. Вторые поверхности образовались при подключении к электроду отрицательного напряжения – минус 10 В, а

третьи – минус 20 В. Из рисунков видно, что вторые и третьи поверхности не могут иметь плотного контакта с породой, они проницаемы для жидкостей и газа. Во втором и третьем случае цементный камень до глубины в один сантиметр формируется непрочным, он легко разрушается и вступает в реакцию с кислотой.



**Рисунок 2. Состояние внешней поверхности цементного камня с породой при различных отрицательных напряжениях**

*0 В – слева; минус 10 В – середина; минус 20 В – справа*



**Рисунок 3. Состояние внутренней поверхности цементного камня с колонной при различных отрицательных напряжениях**

*0 В – слева; минус 10 В – середина; минус 20 В – справа*



**Рисунок 4. Образцы, полученные из тампонажного раствора, прошедшего химическую обработку**

*1,2 – хорошая адгезия с колонной; 3 – камень низкой прочности*

Путем химической обработки тампонажных растворов можно значительно расширить критический диапазон электрической разности потенциалов, при котором будет формироваться прочный цементный камень, имеющий хорошую адгезию как с колонной, так с породой (рис. 4). Однако, если не учитывать негативного влияния электрических полей на процесс формирования цементного камня, то при некоторых химических обработках можно получить тампонажный раствор, который только загустеет, но не образует камня (рис. 4, справа).

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что электрическое поле оказывает негативное влияние на процесс формирования цементного камня и его контакт с разделяющими границами. В лабораторных условиях установлено, что плотность контакта цементного камня с колонной зависит от величины разности потенциалов между колонной и стенками скважины и ее по-

лярности, причем ощутимое негативное влияние имеет пороговый предел: для различных цементов он превышает 40-50 мВ. Если колонна имеет положительный заряд, то контакт цементного камня с ней равномерный и плотный. При отрицательном потенциале формируется неплотный контакт, зависящий от величины потенциала. Для скважин с отрицательным зарядом на колоннах значение коэффициента качества цементирования  $K_c$  не превышает 0,35. Скважины с положительным зарядом рядом колонн имеют более высокий  $K_c$ , который увеличивается с ростом амплитуды заряда до 100-150 мВ. Дальнейшее увеличение потенциала колонн не оказывает влияния на  $K_c$ .

Установлено также, что процесс формирования цементного камня в электрическом поле зависит от состава тампонажной смеси, воды затворения, химических обработок, температуры окружающей среды.

---

## Список использованной литературы

1. Серяков А.С. Формирование тампонажного камня в затрубном пространстве под действием естественного электрического поля скважин. - Тр.ВНИИКр, "Формирование и работа тампонажного камня в скважине", Краснодар, 1984.
2. Крылов Д.А., Батырбаев М.Д., Розницин В.В. Солянокислотные обработки добывающих скважин на месторождении Узень. – "Нефтяное хозяйство", М., № 6, 1990, с. 69-71.

### ЭЛЕКТР ЖОЛДАРЫНЫҢ ДАМЫСУ САЯСАТЫНА ҚАТЫСУ

Б.Т Умралиев, А.Ф. Кенжалиев, М.Ж. Таскинбаев

#### *Түйіндеме*

*Бұл жұмыс электр өрісінің цемент тасының деформациялық беріктігі мен фильтрациялық сипаттамаларына әсер ету дәрежесін және айналмалы кеңістіктің тығыздығын зерттеуге арналған. электр өрісі цемент тастарының пайда болуына және оның бөлінетін шекаралармен байланысына теріс әсер етеді. Зертханалық жағдайда цемент тасының бағанмен жанасу тығыздығы баған мен құдықтың қабырғалары мен оның полярлығы арасындағы ықтимал айырмашылықтың мөлшеріне байланысты екендігі анықталды. Электр өрісінде цемент тастарын қалыптастыру процесі ұнтақтағыш қоспаның құрамына, араластырылған судың, химиялық өңдеуге және қоршаған ортаның температурасына байланысты екендігі анықталды.*

*Түйінді сөздер: ұнтақтағыш материалдар, ұңғымаларды цементтеу әдістері, электрлік потенциал, электр өрістері.*

### INFLUENCE OF ELECTRIC FIELDS ON THE QUALITY OF WELL CEMENTING

B.T. Umrallyev, A.F. Kenzhaliev, M.Zh. Taskinbayev

#### *Abstract*

*This work is devoted to studying the degree of influence of the electric field on the deformation-strength and filtration characteristics of cement stone and the tightness of the annular space. that the electric field has a negative effect on the formation of cement stone and its contact with dividing boundaries. In laboratory conditions it was found that the density of contact of the cement stone with the column depends on the magnitude of the potential difference between the column and the walls of the well and its polarity. It has been established that the process of formation of cement stone in an electric field depends on the composition of the grouting mixture, mixing water, chemical treatments, and ambient temperature.*

*Key words: grouting materials, well cementing methods, electric potential, electric fields.*

#### **Информация об авторах**

**Умралиев Бауржан Тажикенович** – докт. техн. наук, заместитель директора департамента технологий бурения, [B.Umrallyev@niikmg.kz](mailto:B.Umrallyev@niikmg.kz),

**Таскинбаев Малик Жаксылыкович** – директор департамента технологий бурения, [M.Taskinbayev@niikmg.kz](mailto:M.Taskinbayev@niikmg.kz)

ТОО «КМГ Инжиниринг», г. Нур-Султан

**Кенжалиев Алибек Фазылович** – канд. техн. наук, в прошлом Генеральный директор ТОО СП «Тенге»