

УДК 622.245.422.2

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК СОЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ПРОЦЕССЫ ТВЕРДЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Кузнецов Ю.С.¹, Сонин В.Н.², Сухоруков Р.Ю.³, Артамонов В.Ю.¹, Ганиев С.Р.¹,
Игнатъев В.Н.⁴, Овчинников П.В.⁵, Маслов В.В.⁶, Макарова И.И.^{3*}

¹ *Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН
(НЦ НВМТ РАН), г. Москва*

² *ОАО «Газпром», г. Москва*

³ *Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), г. Москва*

⁴ *УСЗ ОАО «Газпром», г. Москва*

⁵ *Управление по испытанию, освоению и капитальному
ремонт скважин ООО «Газпром бурение», г. Москва*

⁶ *ЗАО «Сервисный центр Буровые технологии», г. Москва*

*e-mail: * makarova_irina86@mail.ru*

Аннотация. Тампонажный раствор после продавливания в затрубное пространство длительное время находится в квазикристаллическом состоянии. Изменение физико-механических свойств твердеющего цементного камня объясняется уходом в пласт вместе с фильтратом и продуктов гидратации портландцемента. В статье приводятся результаты исследований по изучению влияния солевой композиции на процессы гидратации основных компонентов портландцемента.

Ключевые слова: тампонажный раствор, цемент, портландцемент, гидратация, солевая композиция

Тампонажный раствор после продавливания в затрубное пространство длительное время находится в квазикристаллическом состоянии. В результате, свойства тампонажного раствора и формирующегося из него цементного камня существенно меняются. Схватывание и твердение в скважине происходит неравномерно: на некоторых участках скважины могут образоваться плотные цементные сгустки (пробки), когда в межколонном пространстве может находиться не схватившийся, с повышенным водосодержанием тампонажный раствор. Изменяются физико-механические свойства твердеющего цементного камня, что объясняется уходом в пласт вместе с фильтратом и продуктов гидратации портландцемента.

При затвердевании тампонажного раствора происходит разделение твердой и жидкой фаз, что приводит к образованию пор, сообщающихся друг с другом и с окружающей средой. Размеры этих пор могут быть достаточно большими. Со временем в местах первоначальных сужений пор образуются перемычки из гелеобразных продуктов гидратации, в результате чего формируются замкнутые поры и,

соответственно, снижается проницаемость образующегося камня. Продолжительность формирования замкнутой пористости составляет от нескольких часов до нескольких суток и зависит от скорости гидратации, вида цемента, водоцементного отношения и т.д.

Начальным этапом гидратации является адсорбция молекул воды на поверхности вяжущего. Работами Полака А.Ф., Кравцова В.М., Бабкова В.В. и др. авторов [1 - 3] было показано, что скорость растворения минерального вяжущего (степень гидратации) описывается выражением:

$$A = KT, \quad (1)$$

где A – степень гидратации;

T – время гидратации;

K – константа скорости гидратации.

Константа скорости гидратации является как бы комплексной величиной, содержащей в себе такую характеристику, как растворимость исходного продукта и новообразований. Для каждого вяжущего при фиксированной начальной удельной поверхности этот показатель может быть принят за постоянную величину и может характеризовать скорость его гидратации. С другой стороны, степень гидратации определяется условиями протекания процесса – температурой, давлением, составом раствора, природой вяжущего и т.д., и с достаточной степенью точности может быть определена с помощью термогравиметрии. Зависимость константы скорости гидратации от условий протекания процесса имеет вид:

$$K = K_0 \cdot \left(1 - \frac{E}{RT} \right), \quad (2)$$

где K_0 – предэкспоненциальный показатель

E – энергия активации гидратообразований;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура.

Составив данное уравнение для двух одинаковых температур и решив относительно энергии активации гидратообразования E имеем:

$$E = L_n \frac{K_1 \cdot (T_1 \cdot T_2)}{K_2 \cdot (T_2 - T_1)}. \quad (3)$$

Полученное выражение позволяет выявить влияние различных добавок на направление (ускорение, замедление) процесса гидратации, а также ориентировочно и на скорость гидратации (по величине изменения энергии активации).

В табл. 1 приведены результаты исследований по изучению влияния солевой композиции на процессы гидратации основных компонентов портландцемента (трехкальциевый силикат – C_3S , трехкальциевый алюминат – C_3A) и самого портландцемента в течение 2, 5 и 8 часов при температурах твердения 293 и 323 К.

Таблица 1. Влияние солевой композиции на скорость гидратации вяжущих материалов

Состав раствора		Степень гидратации при температуре твердения К						Константа скорости гидратации, 1/ч, при температуре твердения К								Предэкспоненциальный показатель, К	Энергия активации, Е, Дж/моль
Вяжущее	Количество	293 в возрасте (ч)			323 в возрасте (ч)			293 в возрасте (ч)				323 в возрасте (ч)					
		2	5	8	2	5	8	2	5	8	КСР	2	5	8	КСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
СЗS	5	1,13	1,11	1,30	1,21	1,30	1,39	0,565	0,222	0,162	0,316	0,650	0,260	0,174	0,361	1,325	3491,9
	15	1,43	1,59	1,62	1,45	1,66	1,68	0,715	0,318	0,202	0,412	0,725	0,332	0,210	0,422	0,533	629,0
СЗА	5	2,30	2,71	2,70	2,41	2,85	2,90	1,150	0,542	0,338	0,676	1,205	0,507	0,362	0,712	1,182	1360,8
	15	3,20	3,30	3,50	3,34	3,38	3,71	1,600	0,660	0,438	0,899	1,670	0,676	0,464	0,937	1,339	1076,8
ПЦТ 1 Д20-50	5	1,18	1,30	1,35	1,54	1,61	1,90	0,590	0,260	0,169	0,340	0,770	0,322	0,225	0,439	5,326	6702,6
	15	1,84	1,91	2,25	1,88	2,88	2,97	0,920	0,382	0,156	0,486	0,340	0,400	0,284	0,541	1,551	2828,1

Примечание: величины предэкспоненциального множителя и энергии активации просчитаны по средним значениям констант скорости гидратации

Зная величины предэкспоненциального множителя K_0 и энергии активации E , можно рассчитать константу скорости гидратации для различных температур. В табл. 2 и на рис. 1 представлены результаты расчетов константы скорости гидратации для температурного диапазона 293...333 К.

Таблица 2. Значения константы скорости гидратации исследуемых составов в зависимости от температуры

Состав раствора		Константа скорости гидратации (T , К)				
Вязущее	Содержание добавки, %	293	303	313	323	333
1	2	3	4	5	6	7
СЗС	5	0,316	0,331	0,350	0,361	0,375
	15	0,412	0,415	0,418	0,422	0,425
СЗА	5	0,676	0,689	0,701	0,712	0,723
	15	0,899	0,912	0,925	0,937	0,948
ПЦТ-1 Д20-50	5	0,340	0,372	0,405	0,439	0,473
	15	0,486	0,505	0,523	0,541	0,558

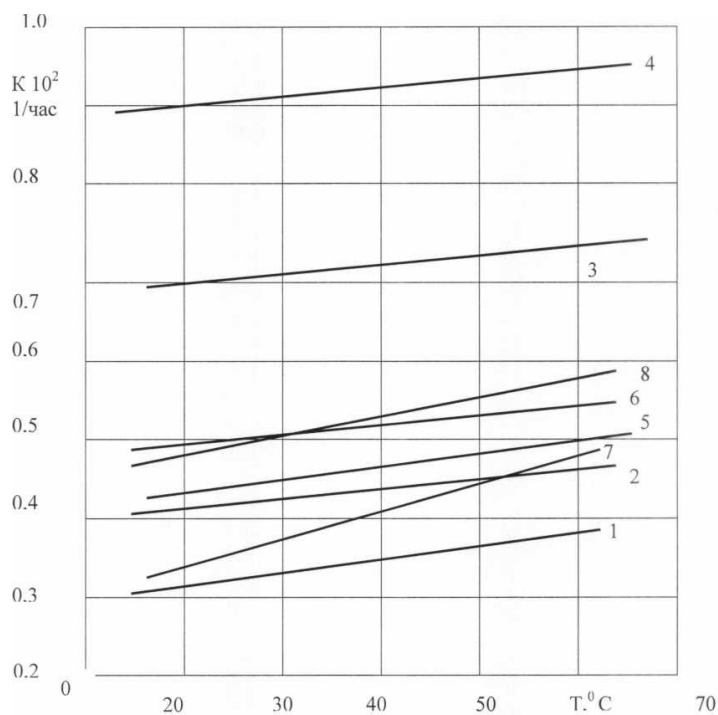


Рис. 1. Зависимость константы скорости гидратации от температуры твердения:

- 1, 2 – трехкальциевого силиката;
- 3, 4 – трехкальциевого алюмината;
- 5, 6 – алюмоферрита;
- 7, 8 – портландцемента ПЦТ-1-50

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что скорость гидратации возрастает с повышением температуры и с увеличением содержания добавки по всем рассмотренным нами компонентам вяжущих. В особенности это заметно на трехкальциевом силикате.

Механизм действия солевой композиции, поскольку в ее составе присутствуют хлориды кальция, позволяет считать, что ускоряющее действие направлено не только на процессы гидратации, но и на процессы структурообразования, а в конечном итоге и на весь процесс твердения.

Подтверждением этому служат результаты исследований пластических свойств и подвижности тампонажных растворов на основе ПЦТ 1-50 представленные на рис. 2, 3.

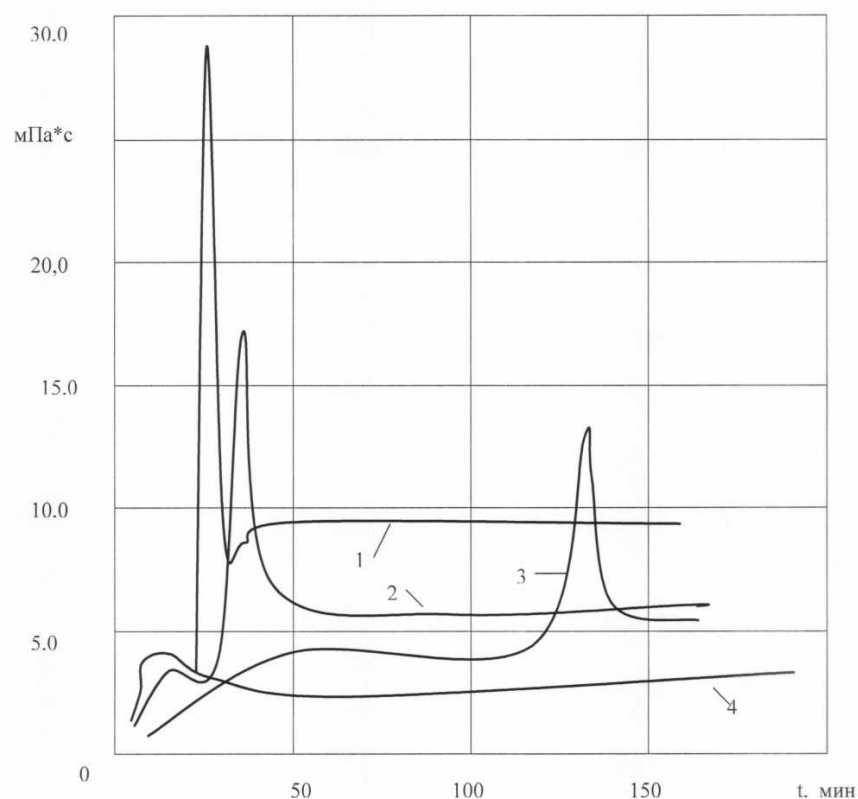


Рис. 2. Влияние солевой композиции на подвижность цементных растворов (содержание солевой композиции: 1 – 10%; 2 – 8%; 3 – 6%; 4 – 4%)

Влияние солевой композиции на свойства тампонажных растворов (камня) исследовалось нами с учетом геологических условий и применением рационального метода планирования экспериментов.

В качестве входных параметров были приняты водосодержание, температура твердения, концентрация вводимой добавки. Водосодержание варьировалось на трех уровнях – 0,45; 0,5; и 0,55; температура окружающей среды – на двух (293

и 343 К), концентрация вводимой добавки на четырех (3, 5, 7, и 10 % от веса портландцемента). Был выполнен полный факторный эксперимент. Результаты представлены в табл. 3. На рис. 4 - 13 представлены результаты обработки полученных данных методами математической статистики. Их анализ позволяет сделать следующее заключение.

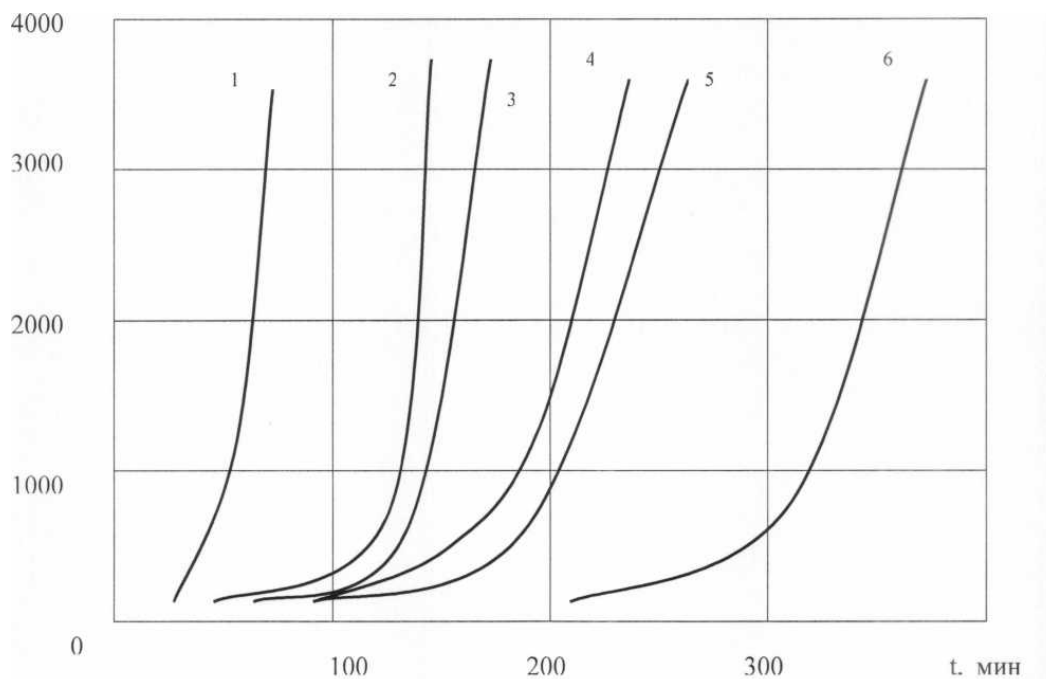


Рис. 3. Влияние содержания солевой композиции (С %) и водоцементного (В/Ц) на пластическую прочность тампонажного раствора, при:

- 1 – В/Ц = 0,5, С = 10;
- 2 – В/Ц = 0,5, С = 8;
- 3 – В/Ц = 0,5, С = 6;
- 4 – В/Ц = 0,6, С = 4;
- 5 – В/Ц = 0,5, С = 10;
- 6 – В/Ц = 0,7, С = 10

Сроки схватывания (начало и конец) находятся в прямой зависимости от водосодержания и концентрации вводимой добавки. Их увеличение носит обратный характер. Увеличение концентрации добавки способствует сокращению сроков схватывания в то время как повышение водосодержания удлиняет сроки схватывания. Более ярко это выражено на показателе "начало" схватывания, "конец" схватывания в меньшей степени подвержен влиянию изучаемым факторам, в особенности при повышенной температуре. Так, при температуре окружающей среды 343 К сохранение сроков твердения наступает только при вводе добавки более 6%. При этих же условиях зависимость изменения показателя "конец" схватывания носит менее выраженный характер (рис. 4 - 7).

Особый интерес представляют сведения об изменении период времени между "началом" и "концом" схватывания, представленные на рис. 8 - 9.

Таблица 3. Результаты влияния концентрации солевой композиции на свойства тампонажного раствора и камня

Содержание солевой композиции, %	Водосодержание, В/Т	Температура твердения, К	Плотность, кг/м ³	Растекаемость, см	Сроки схватывания, час-мин.		Прочность на изгиб, МПа	
					6	7	8	9
3	0,45	293	1870	20	3-15	3-50	2,0	4,9
3	0,45	343	1870	20	1-50	2-25	2,6	5,0
5	0,45	293	1850	23	2-55	3-30	2,5	3,6
5	0,45	343	1850	23	1-40	2-05	3,0	6,9
7	0,45	293	1840	22	2-20	2-50	2,9	3,4
7	0,45	343	1840	22	1-30	2-10	4,5	5,2
10	0,45	293	1840	20	2-40	3-25	2,6	5,7
10	0,45	343	1840	20	1-05	1-50	4,2	5,6
3	0,5	293	1790	24	3-50	4-25	2,5	5,3
3	0,5	343	1790	24	2-10	2-45	3,2	6,5
5	0,5	293	1780	25	3-00	3-35	1,8	4,7
5	0,5	343	1780	25	1-30	2-00	2,6	5,2
7	0,5	293	1840	25	2-40	3-15	2,9	3,8
7	0,5	343	1840	25	1-10	1-40	3,5	3,5
10	0,5	293	1840	25	3-15	3-40	2,5	3,1
10	0,5	343	1840	25	1-00	1-30	2,8	3,2
3	0,55	293	1820	25	4-20	5-00	2,1	2,5
3	0,55	343	1820	25	2-20	2-45	2,7	3,4
5	0,55	293	1780	25	4-00	5-16	2,3	2,8
5	0,55	343	1780	25	1-40	2-00	1,7	3,8
7	0,55	293	1740	25	3-20	4-40	2,8	3,2
7	0,55	343	1740	25	3-00	3-40	2,5	4,3
10	0,55	293	1760	25	1-20	1-40	1,9	3,2
10	0,55	343	1760	25	1-05	1-20	2,1	3,6

Rank 1 Eqn 3439 $z = a + b \ln x + c y^2 \ln y$
 $r^2 = 0.52958879$ DF Adj $r^2 = 0.35318458$ FitStdErr=36.52437 Fstat=5.0660985
 $a = 52.105934$ $b = -70.891086$ $c = -1487.5047$

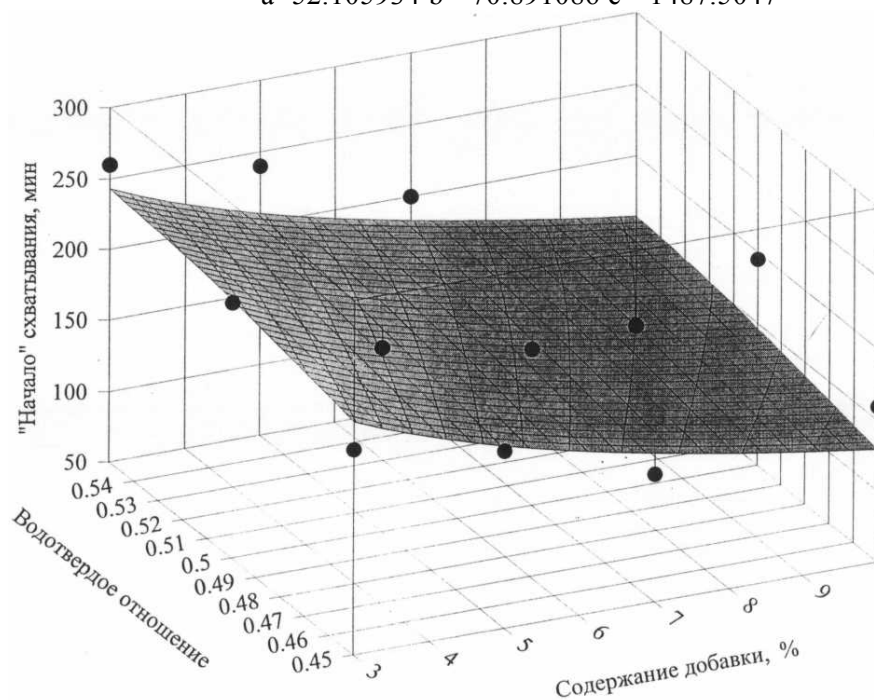


Рис. 4. Влияние водоцементного отношения и содержания добавки на «начало» схватывания

Rank 1 Eqn 151232485 $\ln z = a + b x^3 + c y \ln y$
 $r^2 = 0.61523431$ DF Adj $r^2 = 0.47094717$ FitStdErr=37.054602 Fstat=7.1954295
 $a = 13.441573$ $b = -0.00074697421$ $c = 24.502363$

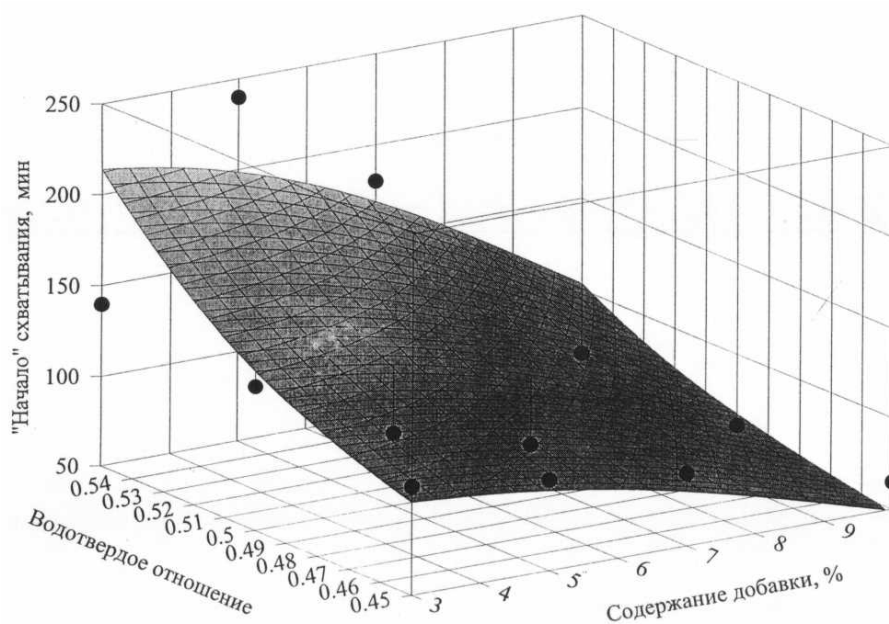


Рис. 5. Влияние водоцементного отношения и содержания добавки на «начало» схватывания ($T = 343$ К)

Rank 26 Eqn 86 $z=a+b\ln x+c/y$
 $r^2=0.33865822$ DF Adj $r^2=0.090655059$ FitStdErr=49.534841 Fstat=2.3043486
 $a=347.04431$ $b=-69.064884$ $c=-11.306063$

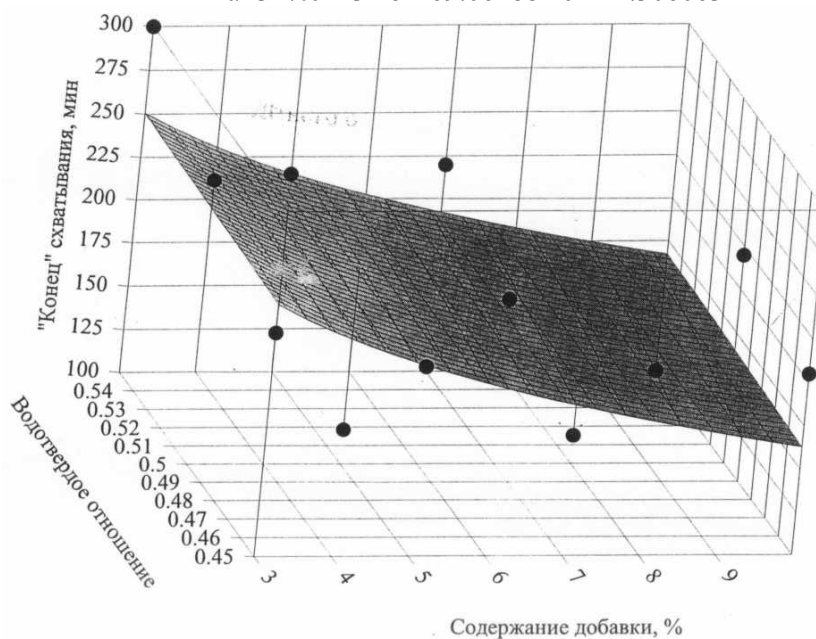


Рис. 6. Влияние водоцементного отношения и содержания добавки на «конец» схватывания ($T=293$ К)

Rank 7 Eqn 3089 $z=a+bx^{1.5}+cx/\ln x$
 $r^2=0.39068107$ DF Adj $r^2=0.16218647$ FitStdErr=33.312915 Fstat=2.8852949
 $a=-1096.63688$ $b=-33.780851$ $c=519.46299$

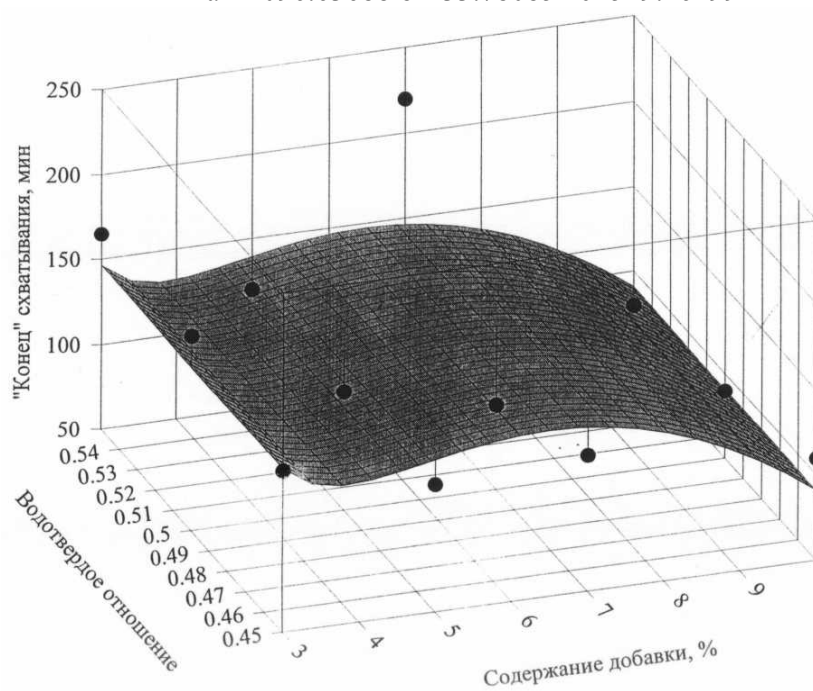


Рис. 7. Влияние водоцементного отношения и содержания добавки на «конец» схватывания ($T=343$ К)

Rank 1 Eqn 3247 $z=a+bx^3+cy\ln y$
 $r^2=0.57299553$ DF Adj $r^2=0.41286885$ FitStdErr=14.769964
 Fstat=6.0385313
 $a=354.5705$ $b=-0.025771549$ $c=889.92376$

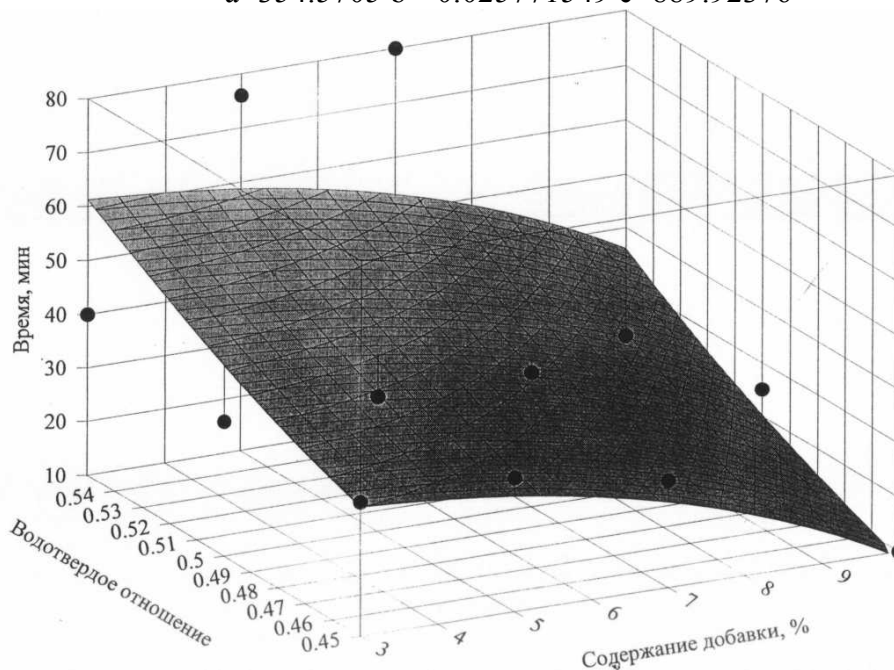


Рис. 8. Изменение периода времени между «Началом и концом» схватывания в зависимости от водотвердого отношения и содержания добавки ($T=293$ К)

Rank 1 Eqn 3247 $z=a+bx^3+cy\ln y$
 $r^2=0.3818558$ DF Adj $r^2=0.15005172$ FitStdErr=13.784851 Fstat=2.7798548
 $a=103.18883$ $b=0.023668104$ $c=218.51904$

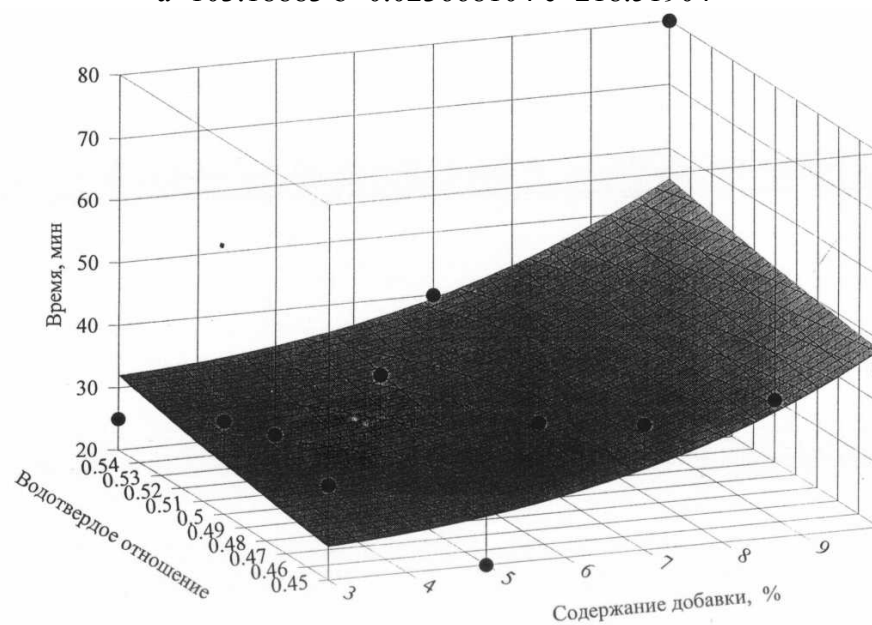


Рис. 9. Изменение периода времени между «Началом и концом» схватывания в зависимости от водотвердого отношения и содержания добавки ($T=343$ К)

Rank 19 Eqn 151232398 $\ln z = a + bx^2 \ln x + cx^3$
 $r^2 = 0.44632476$ DF Adj $r^2 = 0.23869654$ FitStdErr = 0.29729274 Fstat = 3.6275081
 $a = 0.6951983$ $b = 0.015851264$ $c = -0.0034510679$

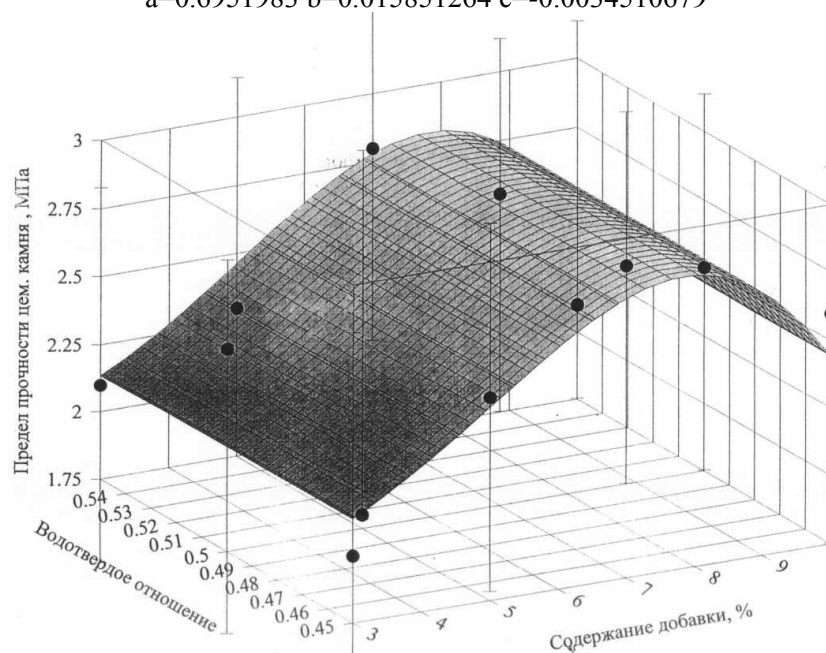


Рис. 10. Изменение предела прочности цементного камня на изгиб в возрасте одних суток в зависимости от водоцементного отношения и содержания добавки ($T = 293$ K)

Rank 1 Eqn 151232755 $\ln z = a + b \ln x / x + c y \ln y$
 $r^2 = 0.55794161$ DF Adj $r^2 = 0.39216971$ FitStdErr = 0.59261356 Fstat = 5.6796506
 $a = -3.7601724$ $b = -1.2123768$ $c = -15.152241$

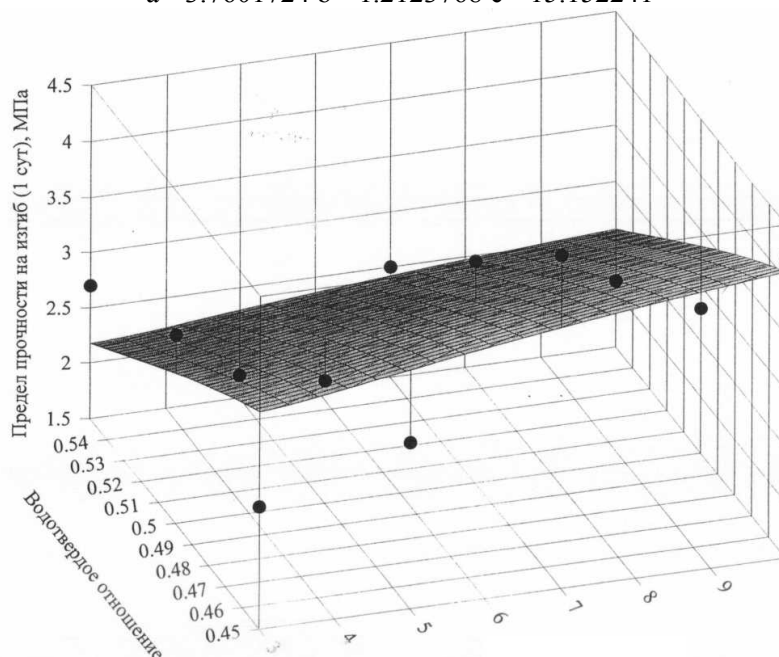


Рис. 11. Изменение периода времени между «Началом и концом» схватывания в зависимости от водоцементного отношения и содержания добавки ($T = 343$ K)

Rank 1 Eqn 3632 $z=a+be^{-x}+c\ln y$
 $r^2=0.43808341$ DF Adj $r^2=0.22736469$ FitStdErr=0.86377101 Fstat=3.5083061
 $a=-13.510885$ $b=10.436913$ $c=-49.900535$

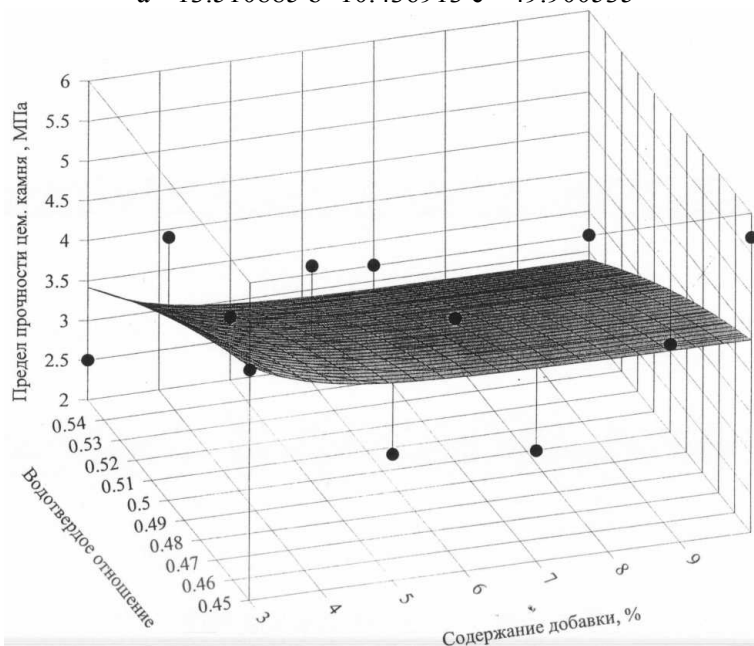


Рис. 12. Изменение предела прочности цементного камня на изгиб в возрасте двух суток в зависимости от водоцементного отношения и содержания добавки ($T=293$ K)

Rank1 Eqn3391 $z=a+bx/\ln x+c\ln y$
 $r^2=0.53741587$ DF Adj $r^2=0.36394682$ FitStdErr=0.9357642 Fstat=5.2279601
 $a=3.039407$ $b=-0.65892716$ $c=-2.7639731$

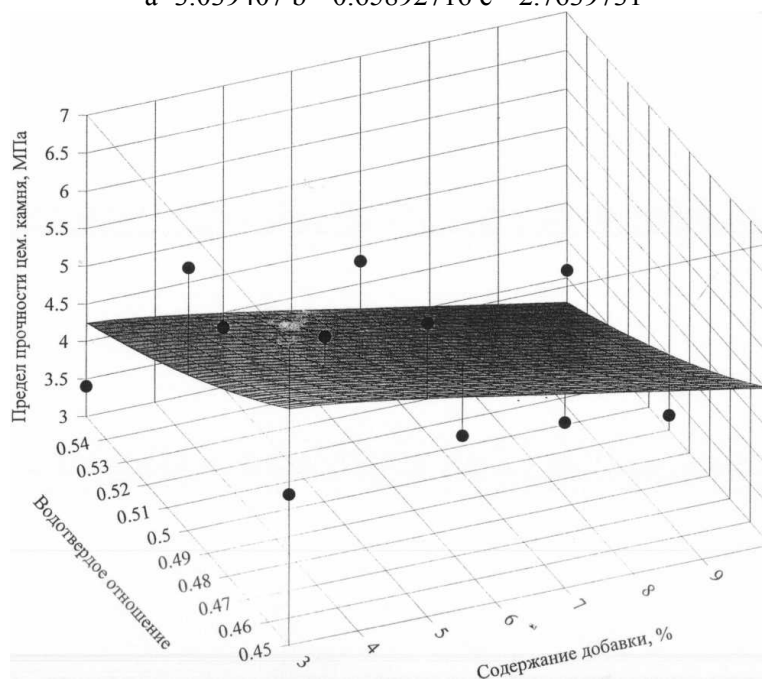


Рис. 13. Изменение предела прочности цементного камня на изгиб в возрасте двух суток в зависимости от водоцементного отношения и содержания добавки ($T=343$ K)

Отмечается, что при температуре твердения 293 К имеется прямая зависимость данного показателя от содержания добавки. Уменьшение водосодержания в меньшей мере влияет на указанный промежуток времени, чем концентрация добавки. При температуре твердения 343 К период времени между началом и концом схватывания остается практически неизменным. Объясняется это, прежде всего, зависимостью скорости гидратации от температуры окружающей среды. Ее интенсивность значительно выше, чем воздействие добавки.

На рис. 10-13 представлены графические отображения уравнений регрессии, полученные для прочностных показателей (предела прочности на изгиб в возрасте одних и двух суток) цементного камня от этих же факторов. Установлена четная зависимость предела прочности на изгиб в ранние сроки твердения при нормальной температуре окружающей среды ($T=293$ К). При увеличении температуры и возраста образцов зависимости выполаживаются. Причем в ранние сроки твердения при сравнительно повышенной температуре изменение направлено в сторону повышения прочностных свойств. В более поздних сроках эта зависимость выполаживается и отмечается даже крен в сторону уменьшения. На наш взгляд это объясняется термической неустойчивостью продуктов твердения портландцемента [4].

В табл. 4 представлены результаты сравнительных испытаний предлагаемой добавки на физико-механические свойства тампонажных растворов (камня) из различных видов вяжущих материалов. Для исследований были приняты глинозёмистый цемент, широко применяемый при низких температурах и опытные, расширяющиеся композиции – цемент феррит алинитовый, шлакопортландцемент, основа которого саморассыпающийся шлак. Результаты приведенных исследований подтверждают ранее проведенные. Интересным было отмечено понижение величины водоотделения с увеличением содержания добавки, в особенности для шлакопортландцемента.

Анализ представленных результатов показывает, что глинозёмистый цемент обладает наибольшей прочностью при содержании солевой композиции порядка 5%. Увеличение содержания добавки привело к растрескиванию образца. По-видимому, это связано с возникновением внутренних напряжений в результате расширения в условиях замкнутого порового пространства.

Отмечено сокращение сроков схватывания у растворов на основе всех видов тампонажных материалов, что подтверждает ранее выдвинутые нами теоретические предпосылки. Оптимальным является введение солевой композиции в количестве 5...10%. При меньшем ее содержании изменение сроков схватывания незначительное, при большем снижаются прочностные свойства камня.

Были проведены и дополнительные исследования по изучению влияния солевой композиции на сроки схватывания тампонажных суспензий из рассмотренных вяжущих материалов при температуре твердения 268 К, результаты которых

представлены в табл. 5. Указанная температура была выбрана исходя из условия исключения воздействия температурного фактора на процесс твердения.

При проведении исследований было замечено увеличение объема и усиление сцепления с пластинами форм ряда образцов. Это послужило основанием проведения более детальных исследований по изучению влияния солевой композиции на объемные деформации твердеющего тампонажного раствора, результаты которых представлены в табл. 6.

Анализ полученных результатов показывает, что солевая композиция способствует расширению тампонажной суспензии в процессе твердения, переводит тампонажный портландцемент из разряда усадочных в безусадочный и даже расширяющийся. Кроме того, способствует понижению водоотделения тампонажного раствора, т.е. повышению его седиментационной устойчивости. Остальные параметры подтверждают уже ранее нами приведенные данные.

Таблица 4. Влияние солевой композиции на физико-механические свойства камня из различных видов тампонажных материалов при температуре 293 К

Вид вяжущего	Содержание добавок, %	В/Ц	Растекательность, м	Водоотделение, %	Время загустевания, ч-мин	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности на изгиб (МПа) в возрасте, сут			
						Нач.	Кон.	2	7	14	28
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПЦТ1-50	0	0,5	0,20	3,0	4-05	7-35	11-05	2,5	5,1	6,0	7,0
	5	0,55	0,18	1,6	2-20	3-40	4-55	3,6	5,6	6,7	7,0
	10	0,6	0,16	1,0	0-30	1-00	2-20	2,8	3,9	4,8	6,6
	20	0,6	0,14	0,8	0-15	0-15	1-15	1,9	3,3	4,5	7,2
Глиноземист.	5	0,6	0,19		1-25	3-05	4-30	4,8			
	10	0,65	0,22		0-45	1-45	2-00	0,9			
	15	0,65	0,22		0-15	0-40	1-15	0,9			
Цемент феррита-линитовый	5	0,44	0,20		3-45	5-00	7-30	3,4			
	10	0,45	0,21		2-05	4-35	7-10	2,9			
	15	0,45	0,22		1-10	3-50	6-25	1,6			
Шлакопортландцемент (портландцемент 50% + саморассыпавшийся шлак 50%)	-	0,4	0,195	3,0	4-27	6-20	8-15	1,6			
	6	0,36	0,20	1,0	1-15	1-50	2-50	3,4			
	8	0,35	0,21	0,7	1-00	1-55	3-00	3,0			
	16	0,35	0,205	0,5	3-00	3-10	5-15	2,1			

Таблица 5. Влияние солевой композиции на сроки схватывания и прочность вяжущих материалов (температура твердения 268 К)

Вид вяжущего	Содержание солевой композиции	Сроки схватывания, ч-мин.		Предел прочности в МПа при изгибе в возрасте 2 суток
		начало	конец	
1	2	3	4	5
ПЦТ 1 - 50	5	7-35	11-30	0,3
	10	6-40	10-20	0,9
	15	5-15	10-05	1,0
Г линозе-мистый	5	5-50	9-45	1,2
	10	4-35	8-15	1,9
	15	3-05	7-40	2,1
Феррита-линитовый	5	8-05	14-20	0,8
	10	7-25	12-45	1,8
	15	6-30	12-45	2,5

Таблица 6. Влияние солевой композиции на физико-механические свойства раствора (камня) из тампонажного портландцемента

Содержание солевой композиции, %	В/Ц	Плотность, кг/м ³	Растекание, м	Водоотделение, %	Сроки схватывания, ч-мин		Деформация, %	Предел прочности (МПа), через 2 сут	
					начало	конец		изгиб	сжатие
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	0,4	2000	0,190	3,0	6-30	8-50	усадка	2,7	3,6
2	0,38	2000	0,192	2,8	3-05	4-30	без усадки	2,3	4,1
3	0,375	2050	0,190	2,0	2-45	4-15	без усадки	2,8	6,2
4	0,370	2050	0,191	1,6	2-30	4-05	+0,02	3,3	7,5
6	0,360	2080	0,190	1,2	1-40	3-55	+0,06	3,5	7,9
8	0,360	2085	0,190	1,0	1-50	3-55	+0,10	3,2	7,6
16	0,360	2100	0,190	0,8	2-45	5-15	+0,15	2,3	4,7

В последнее время, для увеличения плотности контакта цементного камня с горной породой и обсадной колонной, а также в условиях аномально высоких пластовых давлений находят применение расширяющиеся тампонажные композиции и утяжеленные тампонажные цементы [5]. В этой связи представляет интерес оценить влияние рассматриваемой добавки и на эти свойства. Результаты этих исследований представлены в табл. 7, 8.

Таблица 7. Влияние добавки солевой композиции на объемные деформации расширяющего цемента

Содержание добавки, %	Величина объемного расширения через 24 часа, %	Величина контактного напряжения, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
0	3,0	1,0	2,5
5	4,0	1,6	3,8
10	6,5	2,5	3,1
15	8,0	3,0	растрескался

Таблица 8. Влияние добавки солевой композиции на физико-механические свойства раствора (камня) из шлакопортландцементи утяжеленного портландцемента

Вид вяжущего	Содержание добавки, %	В/Ц	Плотность, кг/м ³	Растекаемость, м	Водоотделение, %	Сроки схватывания, ч-мин		Расширимость, %	Пред.прочност. через 2 сут	
						начало	конец		изгиб	сжатие
Шлакопортландцемент (50% портланд-цемента + 50% саморассыпавшийся шлак)	-	0,400	1990	0,195	3,0	6-20	8-15	усадка	1,60	3,2
	2	0,380	2000	0,205	2,6	3-00	4-15	без усадки	1,75	3,8
	3	0,378	2020	0,205	1,9	2-45	4-10	0,03	2,8	6,1
	4	0,370	2045	0,200	1,3	2-15	4-00	0,07	3,2	7,6
	6	0,360	2045	0,200	1,0	1-50	2-50	0,09	3,4	7,2
	8	0,350	2070	0,210	0,7	1-55	3-00	0,12	3,0	7,0
Утяжеленный цемент (60% портланд-цемента + 40% барита)	16	0,350	2200	0,205	0,5	3-10	5-15	0,15	2,1	5,8
	-	0,394	2050	0,198	3,5	6-15	8-30	усадка	1,9	4,1
	3	0,355	2110	0,190	1,9	2-40	4-10	без усадки	3,5	8,0
	6	0,347	2120	0,200	1,2	1-45	3-50	0,06	3,6	8,2
	9	0,314	2160	0,195	0,8	1-55	3-55	0,10	3,7	8,5
	16	0,314	2200	0,195	0,5	3-05	4-15	0,15	2,3	4,5

Из изложенного следует:

– скорость гидратации основных компонентов вяжущих материалов (алюминатов и силикатов кальция) увеличивается с введением в раствор на их основе солевой композиции;

– повышение скорости гидратации в целом ускоряет процессы твердения растворов на основе минеральных вяжущих материалов;

– подвижность тампонажных суспензий при введении добавки солевой композиции увеличивается, водоотделение уменьшается, процесс твердения сопровождается объемным расширением;

– при введении определенного количества солевой композиции (3 и более %) прочностные показатели твердеющего камня увеличиваются и при концентрации более 15% наблюдается их спад. Оптимальное содержание добавки солевой композиции рекомендуется 5...10%. Аналогичные результаты получены и для других видов вяжущих – глиноземистого цемента, шлакопортландцемента, расширяющегося цемента, ферритоалюминатового цемента.

Литература

1. Полак А.Р. Кинетика структурообразования цементного камня // Труды VI Международного конгресса по химии цемента: тез. докл. М.: 1976. Том 2. С. 64 - 68.
2. Данюшевский В.С. Структура цементного раствора камня, твердеющего в условиях глубоких скважин // Нефтяное хозяйство. 1973. № 7. С. 20 - 43.
3. Красильников К.Г. Химические процессы в дисперсных телах / Исследование системы $\text{CaO} \dots \text{SiO}_2 \dots \text{H}_2\text{O}$ // Труды совещания по химии цемента: тез. докл. М.: Промстройиздат, 1956. С. 351 - 380.
4. Шатов А.А. Разработка тампонажного материала для крепления скважин в условиях повышенных и высоких температур: автореф. дисс. к.т.н. Уфа: УНИ, 1989.
5. Каримов Н.Х. Разработка составов и технология применения расширяющихся тампонажных материалов для цементирования глубоких скважин в сложных геологических условиях: автореф. дисс. д.т.н. Уфа: УНИ, 1986.

UDC 622.245.422.2

EFFECT OF SALT COMPOSITIONS INCLUDING TO THE PLUGGING SOLUTION CURING PROCESS

Yu. S. Kuznetsov¹, V.N. Sonin², R.Yu. Sukhorukov³,
V.Yu. Artamonov¹, S.R. Ganiev¹, V.N. Ignatyev⁴,
P.V. Ovchinnikov⁵, V.V. Maslov⁶, I. I. Makarova^{3*}

¹ *Scientific Center of Nonlinear Wave Mechanics and Technology,
Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

² *Gazprom, Moscow, Russia*

³ *Institute of Machines Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

⁴ *Management of office buildings "Gazprom", Moscow, Russia*

⁵ *"Gazprom burenie" LLC, Moscow, Russia*

⁶ *"Service Center - Drilling Technology", Moscow, Russia*

e-mail: * makarova_irina86@mail.ru

Abstract. *Plugging solution after pushing into the annulus stays for a long time in quasi-crystalline state. Changes in the physical and mechanical properties of hardening cement can be explained by leaving hydration products of portlandcement with the filtrate. The article presents the results of studies on the effect of salt composition on the processes of the main components of portlandcement hydration.*

Keywords: *plugging solution, cement, portlandcement, hydration, salt composition*

References

1. Polak A.R. Kinetika strukturoobrazovaniya tsementnogo kamnya (Kinetics of cement structure formation), in *Trudy VI Mezhdunarodnogo kongressa po khimii tsementa (Proceedings of the VI International congress on the chemistry of cement)*. Moscow, 1976. Volume 2. PP. 64 - 68.
2. Danyushevskii V.S. Struktura tsementnogo rastvora kamnya, tverdeyushchego v usloviyakh glubokikh skvazhin (The structure of the cement, hardening in downhole conditions), *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 1973, Issue 7, pp. 20 - 43.
3. Krasil'nikov K.G. Khimicheskie protsessy v dispersnykh telakh / Issledovanie sistemy CaO...SiO₂...H₂O (Chemical processes in dispersed solids / Study of CaO ... SiO₂ ... H₂O system), in *Trudy soveshchaniya po khimii tsementa (Proceedings of the meeting on the chemistry of cement)*. Moscow, Promstroizdat, 1956. PP. 351 - 380.
4. Shatov A.A. Razrabotka tamponazhnogo materiala dlya krepleniya skvazhin v usloviyakh povyshennykh i vysokikh temperatur (Development of plugging materail for well casing under high temperatures conditions). PhD thesis abstract. Ufa, 1989.
5. Karimov N.Kh. Razrabotka sostavov i tekhnologiya primeneniya rasshiryayushchikhsya tamponazhnykh materialov dlya tsementirovaniya glubokikh skvazhin v slozhnykh geologicheskikh usloviyakhn (Development of composition and application technology of expanding plugging materials for cementing deep wells in complex geological conditions). PhD thesis abstract. Ufa, UNI, 1986.