

УДК 622.24

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ
ОБЛЕГЧЕННЫХ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**LIGHTENED CEMENT SLURRY COMPOSITIONS
DESIGN AND DEVELOPMENT**

Е.А. Салмин, Э.Ф. Токунова, Р.М. Сакаев

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

Evgeny A. Salmin, Elvira F. Tokunova, Radik M. Sakaev

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: salmin.evgeny@yandex.ru

Аннотация. Эффективность строительства нефтяных и газовых скважин определяется качеством состояния ствола скважины, продуктивностью скважины, герметичностью, качеством крепи и др. Важнейшую роль в указанных процессах играют технологические жидкости, в частности тампонажные растворы. Для выполнения своих функций тампонажный раствор должен обладать рядом специфических свойств, одним из основных которых является прокачиваемость, позволяющая доставить тампонажный раствор за обсадную колонну. Таким свойством обладают облегченные цементные растворы.

В связи с множеством факторов, действующих при бурении, легкие тампонажные смеси подвергаются различным модификациям. В достижении заданных параметров малое внимание уделяется способам и методам приготовления легких тампонажных материалов.

Популярный способ понижения плотности тампонажной смеси – повышение водоцементного отношения. При достаточно низких плотностях раствора не целесообразно применять большие значения водоцементного значения. В таких случаях применяют специальные облегчающие добавки. При получении легких цементных растворов количество добавки составляет 10–30 %. Однако если не изменять водоцементное отношение, облегчение получается незначительным. Также эти добавки сильно снижают подвижность раствора и связывают свободную воду. Поэтому поддержание водоцементного отношения на достаточно высоком значении остаётся актуально. Однако увеличение водоцементного отношения всегда ухудшает структуру цементного раствора, а также структуру цементного камня. В таких случаях часто добавляют структурообразователи. Популярным структурообразователем является глина.

Данная статья посвящена детальному анализу влияния палыгорскита на свойства облегченного цементного раствора. Для получения анализируемых данных были использованы два метода приготовления раствора. Методы заключались в том, что глина добавлялась в раствор в разных состояниях, а именно в набухом и сухом видах.

Опыты показали преимущества добавки заранее затворенной глины по сравнению с добавлением сухой глины при приготовлении цементного раствора. Исследованием определено, что заранее затворенная глина улучшает структурно-механические свойства цементного раствора, предотвращает всплытие облегчающих добавок в цементном растворе, предотвращает оседание частиц.

Abstract. The efficiency of the construction of oil and gas wells is determined by the quality of the state of the wellbore, well productivity, tightness, lining quality, etc. To perform its functions, the cement slurry must have a number of specific properties, one of the main of which is pumpability,

which allows to deliver the cement slurry for the casing. lightened cement slurry has such property.

Due to a variety of factors acting during drilling, lightweight grouting mixtures are subjected to various modifications. For achieving the specified parameters, little attention is paid to methods for preparing lightweight cement materials.

A popular way to reduce the density of the cement mixture is to increase the water / cement ratio. At sufficiently low solution densities, it is not advisable to use large values of the water-cement value. In such cases, special relief additives are used. Upon receipt of light cement slurries, the amount of the additive is 10–30 %. However, if water-cement ratio is not changed, lightning is negligible. Also, these additives greatly reduce the mobility of the solution and bind the free water. Therefore, the maintenance of water-cement ratio at a sufficiently high value remains relevant. However, an increase in the water-cement ratio always impairs the structure of the cement slurry, as well as the structure of the cement stone. In such cases, the builders are often added. Clay is a popular builder.

This article is devoted to a detailed analysis of the effect of palygorskite on the properties of lightweight cement mortar. To obtain the analyzed data there were used two methods of solution preparation. These methods differed in states the clay was added to the solution, namely in the swollen and dry forms.

Experiments have shown the advantages of the additive pre-mixed clay compared with the addition of dry clay during cement slurry preparation. The study determined that the pre-mixed clay improves the structural and mechanical properties of the cement slurry, prevents the ascent of lightening additives in the cement slurry, and prevents the sedimentation of particles.

Ключевые слова: тампонажный раствор, микросферы, палыгорскит, портландцемент, компоненты и оптимизация состава

Key words: cement slurry, microsphere, palygorskite, portland-cement, components and composition optimization

Особенности конструкции скважины как сооружения определяют единственный путь решения этих задач – формирование искусственного твердого тела, обладающего необходимыми свойствами, из специальных отвердевающих жидкостей, какими являются тампонажные растворы. В условиях современного строительства нефтяных и газовых скважин все больше возрастают требования к качественным характеристикам цемента. Широкое разнообразие условий при цементировании скважин требует использования цементных растворов, весьма отличающихся по своим свойствам и способу действия. Несомненно, эти условия повлияли на разнообразие цементных растворов с управляемыми свойствами. Основную часть специальных цементных растворов готовят на основе портландцемента путем добавления в них минеральных и органических добавок [1-3].

При строительстве скважины часто необходимо применение облегченных цементных растворов, плотность которых сравнительно ниже, чем у обычных цементных растворов.

Облегченные тампонажные растворы применяются в случае:

а) наличия в разрезе скважины слабых пропластков, подверженных гидроразрыву под действием гидростатического давления столба цементного раствора;

б) большой глубины скважины;

в) для снижения затрат на цементирование скважины.

Облегченные цементные растворы получают при:

1) затворении растворов из тампонажного цемента с наполнителями, которые имеют значительно меньшую плотность, чем цемент;

2) использовании в качестве вяжущих материалов смол и пластмасс, имеющих значительно меньшую плотность, чем тампонажные цементы;

3) аэрировании растворов, приготовленных из тампонажных цементов [3-5].

Наиболее распространен первый способ приготовления облегченных растворов, а наиболее популярные наполнители – глина и микросферы.

Так как физико-химические свойства облегчающих наполнителей влияют не только на тампонирующие свойства облегченных растворов, но и на процессы приготовления и продавливания их в затрубное пространство, важным фактором является правильный выбор наполнителя.

Наполнители должны отвечать следующим требованиям:

- 1) иметь возможно меньшую плотность;
- 2) не должны содержать примесей, отрицательно влияющих на свойства вяжущего материала и жидкости, используемой для затворения;
- 3) иметь частицы размерами не более 5 мм;
- 4) обладать возможно большей прочностью зерен;
- 5) иметь влажность не более 3 %;
- 6) обладать стабильными физическими свойствами (плотность, гранулометрический состав, удельная поверхность и др.);
- 7) быть сравнительно дешевыми и доступными для получения в требуемых количествах.

Легкие тампонажные растворы могут быть приготовлены:

- 1) смешением сухих компонентов вяжущих материалов с легкими наполнителями (или водопотребными добавками) с последующим затворением смеси водой;
- 2) затворением вяжущих материалов глинистым раствором, имеющимся на буровых, или специально приготовленным [3-5, 6].

Проблемы получения облегченных цементных растворов:

- 1) при увеличении водоцементного отношения прочность цементного камня значительно уменьшается;
- 2) при добавлении облегчающих добавок идет нарушение структуры раствора, что приводит к расслаиванию цементного раствора.

Материалы и методы

В данной работе исследуются цементные растворы с легким наполнителем. В качестве наполнителя использовались микросферы, а также палыгорскит. Понижителем водоотдачи используется конденсированная сульфит-спиртовая барда (КССБ). Палыгорскит был выбран не случайно, так как эта глина, по сравнению с другими, устойчива к солям минеральной агрессии. Введение глины позволяет облегчить цементный раствор, при этом создать структуру. Было сделано предположение, что при приготовлении цементного раствора пониженной плотности заранее затворенная в воде глина лучшим образом влияет на свойства тампонажного материала. Рассматривались два метода добавления палыгорскита, а именно в сухом и заранее затворенном в воде виде. В качестве анализируемых данных мы использовали плотность цементного раствора, растекаемость и водоотдачу.

Решение многих задач бурения скважин в настоящее время невозможно без применения статистических методов анализа лабораторных и промысловых данных, планирования экспериментов.

Достаточно широко статистические методы начали применяться с внедрением ЭВМ.

Особенно плодотворно применение статистических методов при подборе оптимальных составов таких многокомпонентных смесей, как буровые промывочные жидкости и тампонажные растворы [7].

При изучении механизма явлений исследователь при достаточно большом числе существенных факторов находится в двойственном положении. С одной стороны, желательно выявление влияния всех существенных факторов, а с другой, время, стоимость и технические возможности установок ограничивают эксперимент. Так, при воздействии 5 факторов для установления достаточно надежных эмпирических формул бывает необходимо иметь 5-9 точек по каждому из факторов, что

обуславливает необходимость проведения 5-9 опытов, т.е. 3125-59049 экспериментов без учета повторений в целях исключения случайных ошибок.

Традиционные пути сокращения объема наблюдений состоят в следующем:

- исследуется влияние только части факторов;
- сокращается число уровней факторов;
- изучается влияние каждого из факторов при некоторых закрепленных уровнях других факторов.

Для получения максимально возможной информации о процессе при проведении одного и того же числа опытов эффективным является использование методов планирования, базирующихся на греко-латинских и гипергреко-латинских квадратах, кубах и параллелепипедах в сочетании с обработкой наблюдений по методу Брандона. При использовании такого подхода может быть исследовано достаточно большое число факторов при числе уровней варьирования 5-9, и при этом свойства этих планов (ортогональность, варьирования каждого фактора в сочетании со всеми уровнями и других факторов) позволяют получать достаточно надежные в практическом приложении математические модели, дать оценку неучтенным воздействиям на основании дисперсионного анализа [7, 8].

Так, из рассмотрения плана эксперимента, приведенного в таблице 1, следует, что при построении частных зависимостей для любого из факторов имеем эксперименты при сочетании со всеми уровнями других факторов.

Рассмотрим фактор X_4 из этого плана. Зависимость $Y = f(X_4)$ может быть построена при всех вариациях остальных факторов и среднем уровне каждого из них для каждого из уровней фактора X_4 . Аналогичная картина будет и при построении частных зависимостей Y от всех остальных факторов. Это позволяет методом Брандона получить эмпирическую зависимость вида:

$$Y = Af_1(X_1)f_2(X_2) \dots f_n(X_n).$$

Таблица 1. План эксперимента

X_4	X_1	X_2	X_3	Y	$Y(X_4)$	X_1	X_2	X_3
1	1	1	1		$(Y_1+Y_5+Y_9)/3$	$(1+2+3)/3=2$	$(1+2+3)/3=2$	$(1+2+3)/3=2$
1	2	2	3					
1	3	3	2					
2	1	3	3		$(Y_3+Y_4+Y_8)/3$	$(1+2+3)/3=2$	$(1+2+3)/3=2$	$(1+2+3)/3=2$
2	2	1	2					
2	3	2	1					
3	1	2	2		$(Y_2+Y_6+Y_7)/3$	$(1+2+3)/3=2$	$(1+2+3)/3=2$	$(1+2+3)/3=2$
3	2	3	1					
3	3	1	3					

Проведение экспериментов согласно уровням, соответствующим зачерненным клеткам комбинаторного квадрата, приведенного на рисунке 1, обеспечивает выполнение вышеизложенных требований [7, 8].

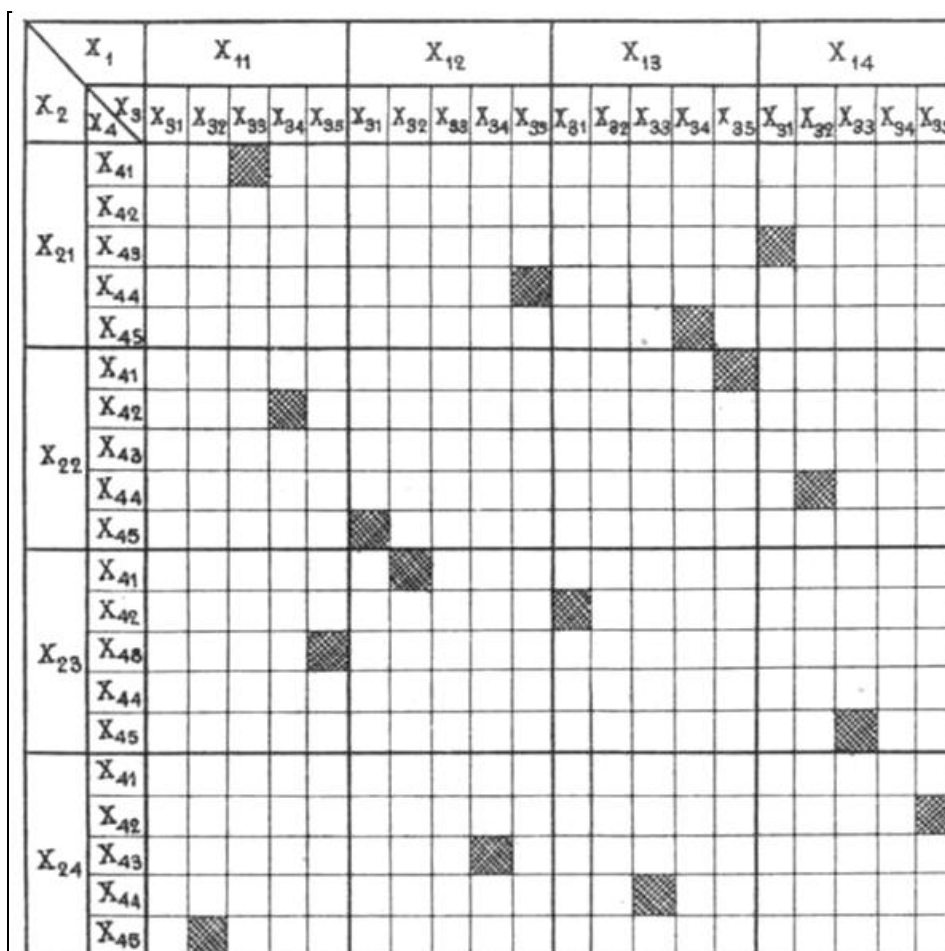


Рисунок 1. Комбинаторный квадрат для планировки эксперимента при факторах на 4 уровнях

Используемая матрица планирования для проведения опытов представлена в таблице 2. Параметры для этой матрицы находятся в таблице 3.

Таблица 2. Используемая матрица планирования

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3
1	1	1	3	1	y_1	y_1	y_1
2	1	2	4	2	y_2	y_2	y_2
3	1	3	5	3	y_3	y_3	y_3
4	1	4	2	5	y_4	y_4	y_4
5	1	5	1	4	y_5	y_5	y_5
6	2	1	5	4	y_6	y_6	y_6
7	2	2	1	5	y_7	y_7	y_7
8	2	3	2	1	y_8	y_8	y_8
9	2	4	4	3	y_9	y_9	y_9
10	2	5	3	2	y_{10}	y_{10}	y_{10}
11	3	1	4	5	y_{11}	y_{11}	y_{11}
12	3	2	5	1	y_{12}	y_{12}	y_{12}
13	3	3	1	2	y_{13}	y_{13}	y_{13}
14	3	4	3	4	y_{14}	y_{14}	y_{14}
15	3	5	2	3	y_{15}	y_{15}	y_{15}
16	4	1	1	3	y_{16}	y_{16}	y_{16}
17	4	2	2	4	y_{17}	y_{17}	y_{17}
18	4	3	3	6	y_{18}	y_{18}	y_{18}
19	4	4	5	2	y_{19}	y_{19}	y_{19}
20	4	5	4	1	y_{20}	y_{20}	y_{20}
21	5	1	2	2	y_{21}	y_{21}	y_{21}
22	5	2	3	3	y_{22}	y_{22}	y_{22}
23	5	3	4	4	y_{23}	y_{23}	y_{23}
24	5	4	1	1	y_{24}	y_{24}	y_{24}
25	5	5	5	5	y_{25}	y_{25}	y_{25}

Таблица 3. Данные для матрицы планирования

Фактор	Наименование фактора	Уровни: концентрации %, значения				
		1	2	3	4	5
x_1	Микросферы, %	0	2,5	7,5	12,5	17,5
x_2	КССБ, %	0	0,2	0,4	0,6	0,8
x_3	В/Ц	0,47	0,52	0,57	0,62	0,69
x_4	Глина палыгорскит, %	0	0,5	0,9	1,7	2,1

Результаты опытов и их обработка

После подготовки матрицы запланированного эксперимента выполняются экспериментальные лабораторные работы. Для этого готовится требуемый для всех опытов объем исходного раствора по заданным значениям концентрации микросфер, КССБ, водоцементного отношения и полыгорскита. Минимальный объем пробы для одного опыта 500–600 мл. Количество повторных опытов – не менее двух. Замеряемые параметры:

- 1) плотность, кг/м³ (y_1);
- 2) растекаемость, см (y_2);
- 3) водоотдача (условная), см³/30 мин (y_3).

По полученным данным производится следующая обработка:

- 1) проверка на воспроизводимость;
- 2) вычисляется коэффициент детерминации;
- 3) анализируется полученное уравнение регрессии.

Хорошо известно, как даже одна грубая ошибка может исказить результаты исследования. Поэтому после проведения экспериментов необходимо проверить экспериментальные данные и исключить ошибки.

Для проверки однородности дисперсий применяются статистические критерии. Если сравниваемое количество дисперсий больше двух и количество повторных опытов во всех точках плана одинаково, пользуются критерием Кохрена. В результате расчетов по критерию Кохрена гипотеза об однородности выборочных дисперсий отвечает результатам наблюдения [9].

Коэффициент детерминации рассматривают, как правило, в качестве основного показателя, отражающего меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными модели. Определяется коэффициент детерминации (R^2) по формуле [9]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}.$$

Чем ближе R^2 к 1, тем выше качество модели. При равенстве коэффициента 1 линия регрессии точно соответствует всем наблюдениям. Равенство коэффициента 0 означает, что выбранные факторы не улучшают качество предсказания y_i по сравнению с тривиальным предсказанием $\hat{y}_i = \bar{y}$. Достаточно качественной можно признать модель с коэффициентом детерминации выше 0,8 [9].

Значения коэффициента детерминации рассчитывались в универсальной программе STATGRAF.21. В этой же программе вычислялись уравнения регрессии для каждого из полученных данных.

Значения коэффициента детерминации представлены на рисунке 2.

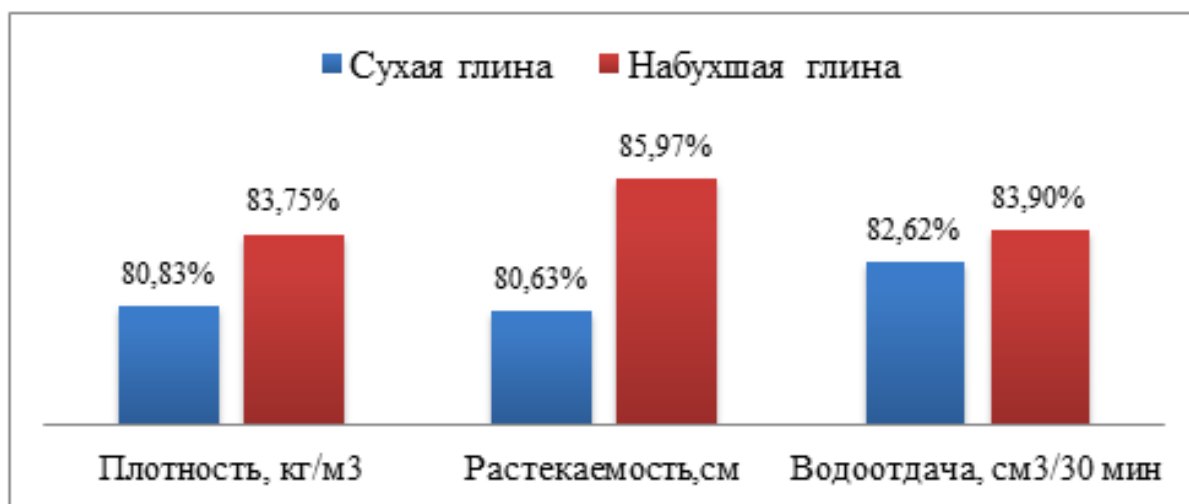


Рисунок 2. Коэффициент детерминации для исследуемых параметров

Анализируя данные из рисунка 2, видно, что коэффициенты детерминации выше 0,8, поэтому полученные модели можно считать достаточно качественными для принятия конечных результатов.

Следующий этап обработки заключался в получении регрессионных моделей. Регрессионная модель представляет собой функцию, которая отображает статистическую связь между признаками.

Уравнение регрессии в общем виде выглядит следующим образом [9, 10]:

$$\bar{y}_x = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_ix^i.$$

Получение регрессионных уравнений производилось в ранее использованной программе STATGRAF.21.

Регрессионные уравнения для сухой глины:

$$y_1 = 2204,59 - 1,69268 * x_1 - 17,0 * x_2 - 943,247 * x_3 + 7,66938 * x_4;$$

$$y_2 = 6,99342 - 0,0341463 * x_1 - 0,9 * x_2 + 36,5621 * x_3 - 0,718157 * x_4;$$

$$y_3 = 143,6 + 0,156098 * x_1 - 10,0 * x_2 + 250,205 * x_3 + 2,62873 * x_4.$$

Регрессионные уравнения для набухшей глины:

$$y_1 = 2135,13 - 3,13171 * x_1 - 29,0 * x_2 - 759,754 * x_3 - 3,44173 * x_4;$$

$$y_2 = -3,44799 - 0,00097561 * x_1 + 1,9 * x_2 + 49,6726 * x_3 - 1,86179 * x_4;$$

$$y_3 = 100,492 + 0,185366 * x_1 - 10,0 * x_2 + 322,783 * x_3 - 2,35772 * x_4.$$

Для каждого полученного уравнения стоит диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений.

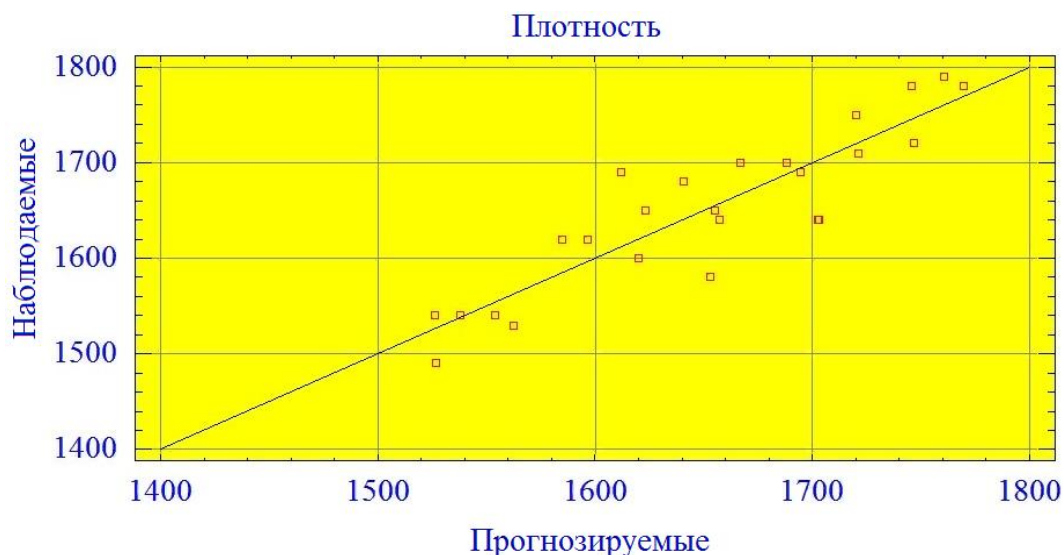


Рисунок 3. Диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений для плотности при сухой глине

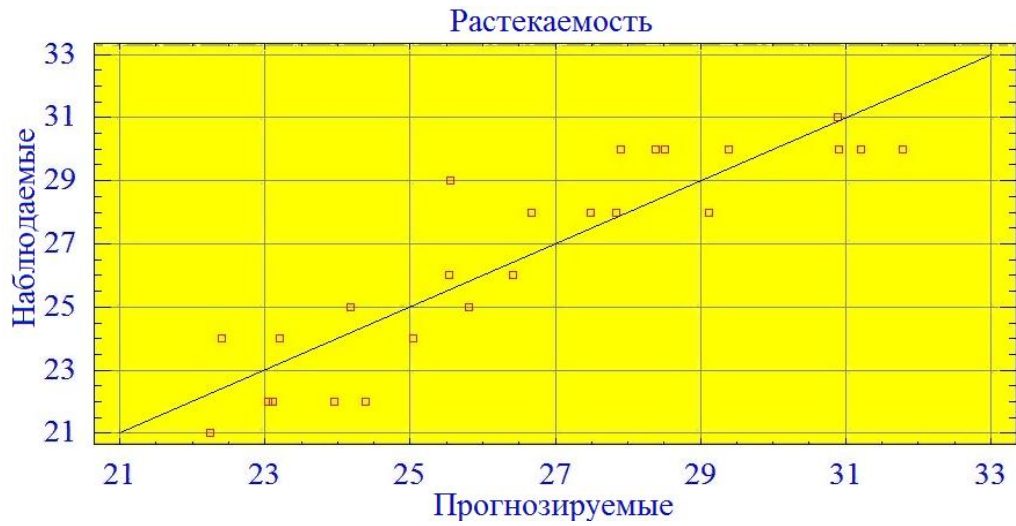


Рисунок 4. Диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений для растекаемости при сухой глине

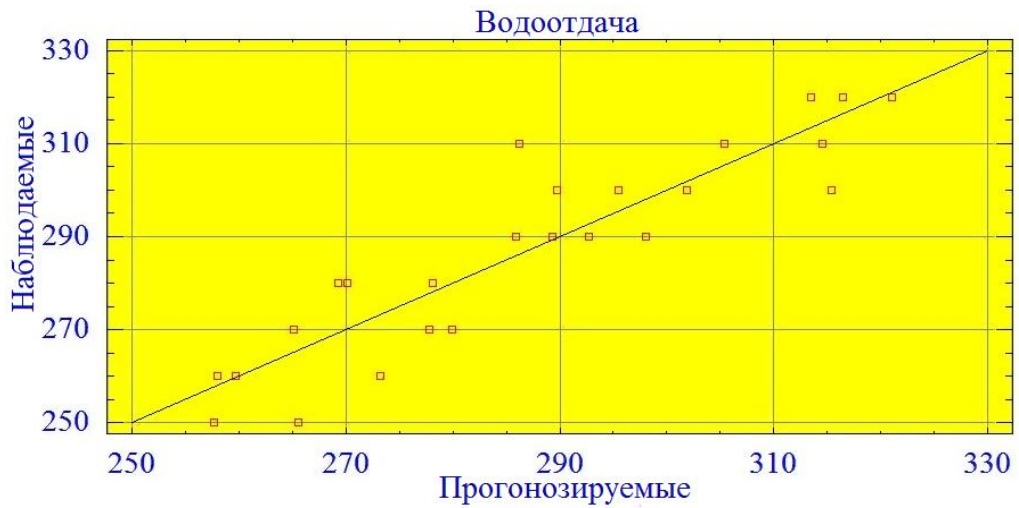


Рисунок 5. Диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений для водоотдачи при сухой глине

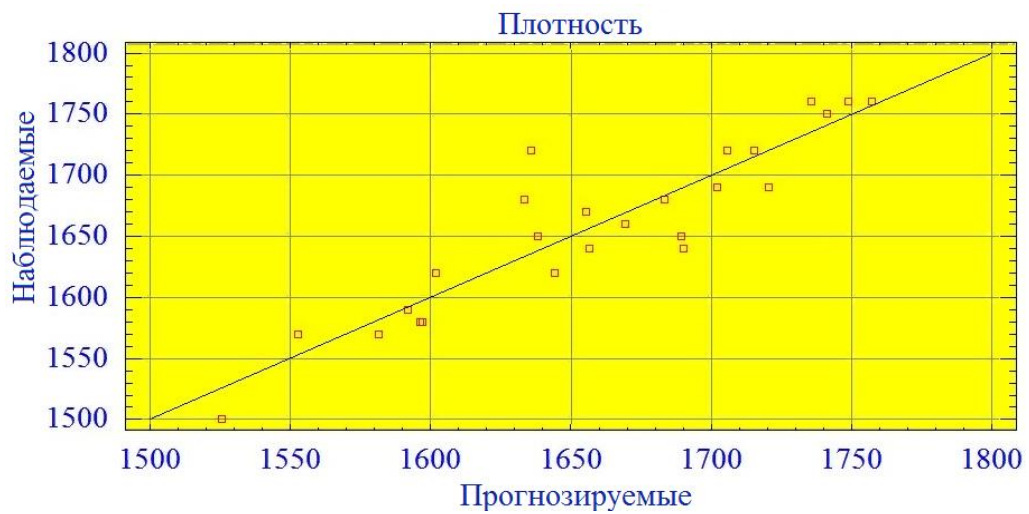


Рисунок 6. Диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений для плотности при набухшей глине



Рисунок 7. Диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений для растекаемости при набухшей глине

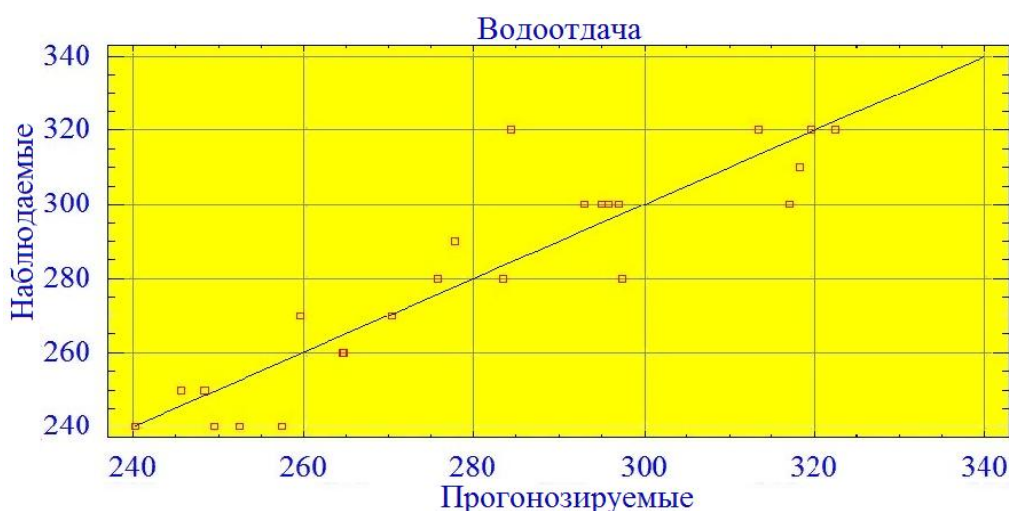


Рисунок 8. Диаграмма наблюдаемых и прогнозируемых значений для водоотдачи при набухшей глине

Анализируя данные графики, можно сделать вывод, что зависимость наблюдаемых и прогнозируемых значений линейная.

Для удобства интерпретации параметра a пользуются коэффициентом эластичности, который показывает среднее изменение результативного признака (в %) с изменением факторного признака на 1 и вычисляется по формуле [11]:

$$\mathcal{E} = a_1 \frac{\bar{x}}{\bar{y}}.$$

Значения коэффициента эластичности представлены в таблице 4.

Таблица 4. Значения коэффициента эластичности

Способ приготовления	Показатели качества раствора	Составы			
		Микро-сферы, %	КССБ, %	В/Ц, %	Палыгорскит, %
С добавлением сухой глины	Плотность, кг/м ³	0,00820	0,00412	0,32798	0,00483
	Растекаемость, см	0,01027	0,01353	0,78897	0,02808
	Водоотдача, см ³ /30 мин	0,00435	0,01393	0,50006	0,00952
С добавлением набухшей глины	Плотность, кг/м ³	0,01510	0,00699	0,26290	0,00216
	Растекаемость, см	0,00033	0,03183	1,19397	0,08108
	Водоотдача, см ³ /30 мин	0,00528	0,01425	0,65982	0,00973

Из таблицы 4 видно, как каждый компонент в какой степени оказывает влияние на тот или иной параметр. Так, мы видим, что и в первом, и во втором случаях на водоотдачу в большей степени влияет водоцементное отношение. Это характерное явление для облегченных растворов. Нашей задачей было определить влияние палыгорскита на свойства раствора. Одной из задач палыгорскита является создание структуры в растворе. Из анализа таблицы мы видим, что набухшая глина в большей степени влияет на параметры раствора. Это видно на примере растекаемости $0,08108 > 0,02808$. Это связано с тем, что при добавлении в сухом виде палыгорскит выпадает в осадок, тем самым минимально влияет на структуру раствора.

Выводы

1. В ходе проведенной работы данные, обработанные статистическим методом, показали влияние каждого из компонентов на параметры раствора.

2. Было установлено, что зависимость наблюдаемых и прогнозируемых значений линейная.

3. Несмотря на недостатки облегченного цементного раствора, применение этого раствора остаётся актуальным.

4. Из результатов опыта видно, что набухшая глина лучшим образом влияет на параметры раствора, это обусловлено тем, что сухая глина при приготовлении раствора не успевает распускаться и выпадает в осадок, оказывая минимальный эффект на раствор.

Список используемых источников

1. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С., Токунова Э.Ф. Химия тампонажных и буровых растворов. СПб: Недра, 2011. 268 с.

2. Malyshev A., Doronina T., Popov P., Ryabchikov A., Shulga A. Optimized Particles Size Distribution Lightweight Cement at Low Temperatures: Case Study from Eastern Siberia, Russia // SPE Arctic and Extreme Environments Conference held in Moscow. Moscow, 2013.

3. Курбанов Я.М., Каримов Н.Х., Хафизова Э.Н. Совершенствование составов и технологических свойств облегченных тампонажных растворов // Известия вузов. Нефть и газ. 2002. № 6. С. 18-25.

4. Сулейманов Э.М., Сулейманов Э.Т., Кузнецов В.А. Разработка и исследование облегченного цементного раствора // Chemical Problems. 2016. № 4. С. 404-408.

5. Brandl A., Valentino V., Fauchille G., Syed H., Dean G., Stanley R. Improved Zonal Isolation in High-Temperature Offshore Wells with an Advanced Lightweight Cement Design // Gulf of Thailand Case Histories: Offshore Technology Conference Asia. Kuala Lumpur, 2014.

6. ГОСТ 1581-96. Цементы тампонажные. Технические условия. М., 1996. 7 с.

7. Педроса Бельо Виктор Хулиан. Исследование облегченных тампонажных материалов // Современные технологии в нефтегазовом деле-2017: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 2017. Т. 1. С. 249-251.

8. Педроса Бельо Виктор Хулиан. Исследование модифицирующих добавок для получения облегченных тампонажных материальных растворов: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2017. 94 с.

9. Пичуев А.С. Применение статистических критериев в анализе данных бурения // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2013. № 4. С 122–127.

10. Заяц Е.В. Информационное обеспечение систем анализа состояния геотехнических объектов на основе обработки статистических данных: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2000. 180 с.

11. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Пособие по математической статистике. М., 1956. 206 с.

References

1. Agzamov F.A., Izmukhambetov B.S., Tokunova E.F. *Khimiya tamponazhnykh i burovykh rastvorov* [Chemistry of Grouting and Drilling Fluids]. Saint Petersburg, Nedra, 2011. 268 p. [in Russian].

2. Malyshev A., Doronina T., Popov P., Ryabchikov A., Shulga A. Optimized Particles Size Distribution Lightweight Cement at Low Temperatures: Case Study from Eastern Siberia, Russia. SPE Arctic and Extreme Environments Conference held in Moscow. 2013.

3. Kurbanov Ya.M., Karimov N.Kh., Khafizova E.N. Sovershenstvovanie sostavov i tekhnologicheskikh svoistv olegchennykh tamponazhnykh rastvorov [Improvement of Compositions and Technological Properties of Lightweight Grouting Solutions]. *Izvestiya vuzov. Neft' i gaz – Oil and Gas Studies*, 2002, No. 6, pp. 18-25. [in Russian].

4. Suleimanov E.M., Suleimanov E.T., Kuznetsov V.A. Razrabotka i issledovanie olegchennogo tsementnogo rastvor [Development and Research into Lightened Cement Solution]. *Chemical Problems*, 2016, No. 4, pp. 404-408. [in Russian].

5. Brandl Andreas, Valentino Vincentius, Fauchille Guillaume, Syed Haidher, Dean Greg, Stanley Rick. Improved Zonal Isolation in High-Temperature Offshore Wells with an Advanced Lightweight Cement Design. Gulf of Thailand Case Histories. Offshore Technology Conference. Asia, Kuala Lumpur, 2014.

6. *GOST 1581-96 Tsementy tamponazhnye. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 1581-96. Well Portland Cements. Specifications]. Moscow, 1996. 7 p. [in Russian].

7. Issledovanie oblegchennykh tamponazhnykh materialov [Study of Lightweight Cement Materials]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Covremennye tekhnologii v neftegazovom dele-2017»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in Oil and Gas Business-2017»]. Ufa, 2017. Vol. 1, pp. 249-251. [in Russian].

8. Pedrosa Bel'o Viktor Khulian. *Issledovanie modifitsiruyushchikh dobavok dlya polucheniya oblegchennykh tamponazhnykh materialnykh rastvorov: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Study of Modifying Additives for Lightweight Grouting Material Solutions: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, USPTU, 2017. 94 p. [in Russian].

9. Pichuev A.S. *Primenenie statisticheskikh kriteriev v analize dannykh bureniya* [Application of Statistical Criteria in the Analysis of Well Drilling Data]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz – Oil and Gas Studies*, 2013, No. 4, pp. 122-127. [in Russian].

10. Zayats E.V. *Informatsionnoe obespechenie sistem analiza sostoyaniya geotekhnicheskikh ob"ektov na osnove obrabotki statisticheskikh dannykh: dis. kand. tekhn. nauk* [Information Support of Systems of the Analysis of a Condition of Geotechnical Objects on the Basis of Processing of Statistical Data: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2000. 180 p. [in Russian].

11. Venetskii I.G., Kil'dishev G.S. *Posobie po matematicheskoi statistike* [Handbook of Mathematical Statistics]. Moscow, 1956. 206 p. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Салмин Евгений Андреевич, магистрант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Evgeny A. Salmin, Undergraduate of Oil and Gas Wells Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: salmin.evgeny@yandex.ru

Токунова Эльвира Фаритовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Elvira F. Tokunova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Drilling Oil and Gas Wells Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: etokunova@yandex.ru

Сакаев Радик Мансурович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Radik M. Sakayev, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Drilling Oil and Gas Wells Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ugntu_burenie@mail.ru