УДК 544.032.72

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КОМПОЗИЦИЙ КРАХМАЛА И КАМЕДИ ДЛЯ ДИСПЕРСИОННЫХ СРЕД

INVESTIGATION OF THE SYNERGISTIC EFFECT OF STARCH AND GUM COMPOSITIONS FOR DISPERSION MEDIA

Логинова Марианна Евгеньевна
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»,
ФГБОУ УГНТУ
ufamel@yandex.ru

Четвертнева Ирина Амировна
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»,
ФГБОУ УГНТУ
chetvertnevaia@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена особенностям совместного использования крахмала и камеди в биополимерных буровых растворах. Применением корреляционно-регрессионного анализа удалось выявить закономерности влияния данных реагентов на показатель фильтрации, индекс консистенции и показателя нелинейности как каждого отдельно реагента, так и их совместного действия. На основании расчетных данных были получены уравнения регрессии, с помощью которых была визуализирована зона, определяющая использование конкретных значений концентраций данных реагентов при применении данных растворов.

Ключевые слова: крахмал, камеди, синергитический эффект, уравнение регрессии, модель уравнения, математический подход, псевдопластичные свойства, показатель консистенции, показатель нелинейности.

Loginova Marianna Evgenievna
Candidate of Physico-Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Chair
«Drilling Oil and Gas Wells»,
FSBEI USPTU
ufamel@yandex.ru

Chetvertneva Irina Amirovna
Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of
the Department of Oil and Gas Well Drilling,
FSBEI USPTU
chetvertnevaia@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the peculiarities of the joint use of starch and gum in biopolymer drilling fluids. Using correlation and regression analysis, it was possible to identify patterns of influence of these reagents on the filtration index, consistency index and the nonlinearity index of both each reagent separately and their combined action. Based on the calculated data, regression equations were obtained, with the help of which a zone was visualized that determines the use of specific values of the concentrations of these reagents when using these solutions.

Keywords: starch, gums, synergetic effect, regression equation, equation model, mathematical approach, pseudoplastic properties, consistency index, nonlinearity index.

Направления по интенсификации добычи углеводородного сырья, основанные на бурении горизонтальных скважин и боковых стволов из старого фонда скважин с горизонтальным окончаниемразвивается весьма интенсивно с начала XXI века. Конечный результат при бурении указанных скважин напрямую связан с наличием у применяемого бурового раствора повышенных псевдопластичных и стабилизирующих свойств.

В этой связи биополимерные композиции, в состав которых входят камеди, являются наиболее эффективными из известных систем буровых растворов для горизонтального бурения. Главная отличительная особенность этих систем – уникальность зависимости касательных напряжений системы (τ) от градиента скорости (γ), описываемая уравнением Оствальда де Ваале:

$$\tau = K \cdot \gamma^n,$$

где K и n – показатели консистенции и нелинейности. Уравнение характеризует псевдопластичные свойства раствора, благодаря которым обеспечивается качественная очистка горизонтального ствола скважины, более эффективный вынос выбуриваемого шлама [3].

При практическом применении композиции крахмала и камеди (в дальнейшем, композиция К-2), в отличие от раздельного применения биополимеров крахмала или камеди, обнаружено, что композиция К-2 обеспечивает снижение фильтрационных характеристик (более 20 %), повышение псевдопластичных свойств (24–26 %).

С целью исследования обнаруженного эффекта, авторами использовался метод корреляционно-регрессионного анализа, что позволило выявить закономерности влияния данных реагентов на фильтрационные показатель фильтрации (ПФ), $см^3$/30 мин и псевдопластичные свойства (K, n) применительно к биополимерному раствору, как для крахмала или камеди, так и для композиции К-2 Корреляционно-регрессионный анализ как метод стохастического моделирования, позволяет на основании полученных уравнений регрессии (модель) выявить связи между исследуемыми величинами.

Принимаем, что вид функции $Y = f(X_1,X_2)$, является моделью, которая связывает изучаемый параметр со значениями факторов, лежащих в интервале между верхним и нижним уровнями. Эту функцию называют уравнением регрессии.

Тогда, на основании экспериментальных данных автором были построены линейные модели для показателя фильтрации [1]:

$$Y1 = 9{,}88 – 2{,}2x_1, \quad (1)$$

$$Y2 = 13{,}76 – 20{,}8x_2, \quad (2)$$

$$Y3 = –19{,}44x_1 – 172{,}4x_2, \quad (3)$$

где Y1, Y2, Y3 – функция показателя фильтрации для различной модели (1 – линейная модель для крахмала, 2 – линейная модель для камеди, 3 – линейная модель совместного действия), x_1 – концентрация крахмала, x_2 – концентрация камеди.

Анализируя уравнения 1–3 можно заметить, что увеличение концентраций данных реагентов в растворе ведет к понижению ПФ (отрицательное влияние), о чем говорит знак минус во всех уравнениях. Однако, при совместном влиянии этих реагентов, указанное влияние существенно и свидетельствует о численной величине коэффициента при переменных.

Используя зависимости 1–3 авторами были построены графики (рис. 1–2).

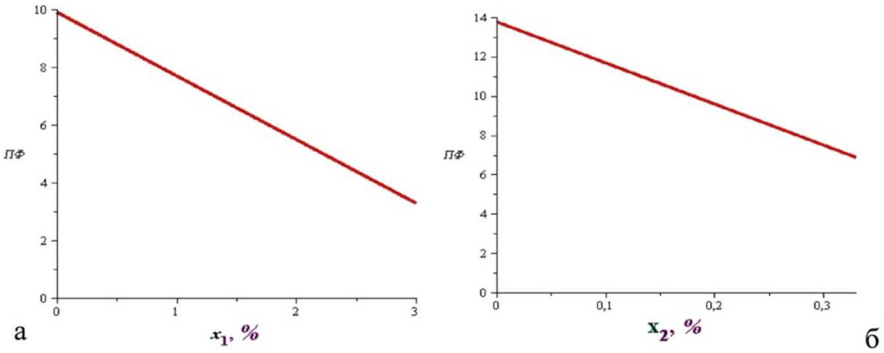

Рисунок 1 – Влияние реагентов на ПФ согласно уравнениям 1–2:
(а) – крахмала, (б) – камеди

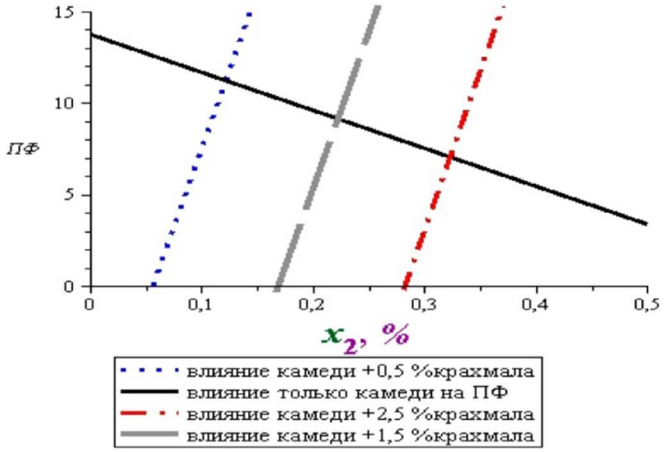

Рисунок 2 – Совместное влияние крахмала и камеди в растворе

Анализируя рисунок 2, например, при использовании 0,1 % камеди получаем ПФ = 11,8 см^3, при добавлении 0,5 % крахмала, показатель фильтрации снижается на 40–42 % (ПФ = 7 см^3). Для 0,25 % камеди, показатель фильтрации снижается не более, чем на 27–28 % (ПФ = 8,5 см^3).

Этим обнаружена зона непредпочительного сочетания данных реагентов (например, при 0,25 % камеди + 1,5 % крахмала ПФ = 14 см^3).

Аналогично, были построены модели Y4 и Y5 для коэффициентов нелинейности (n) и показателя консистенции (K) для крахмала x_1, Y6 и Y7 для коэффициента нелинейности и показателя консистенции для камеди (x_2), а также Y8 и Y9 для совместного влияния крахмала (x_1) и камеди (x_2).

Получили следующие зависимости:

$$Y4 = 0{,}7082 – 0{,}05x_1, \quad (4)$$

$$Y5 = 0,13 + 0,68x_1, \quad (5)$$

$$Y6 = 0,3934 – 0,248x_2, \quad (6)$$

$$Y7 = 2,94 + 19,6x_2, \quad (7)$$

$$Y8 = –0,7468x_1 + 7,388x_2 – 0,074286x_1x_2, \quad (8)$$

$$Y9 = –0,68x_1 + 59,2x_2 – 7,4286x_1x_2. \quad (9)$$

Интерпретация полученных зависимостей показала, что в исследуемых моделях влияние концентрации крахмала (x_1) и камеди (x_2) на показатель нелинейности в моделях (Y4, Y6) имеет обратное, а на показатель консистенции К в моделях (Y5, Y7) прямое воздействие, о чем говорит знак при соответствующем х.

Причем, влияние концентрации камеди x_2 намного существеннее на показатель консистенции – о чем говорит численная величина коэффициента при x_2 в уравнении 7. Однако при использовании К-2 (уравнение 9) положительного влияния концентрации крахмала на К (уравнении 5) уже не наблюдается, что оценивается как синергетический эффект, при котором наблюдается выраженная интеграция свойств двух реагентов К-2.

Исходя из полученных зависимостей 4–9 были построены графики для композиции К-2, а именно, влияние концентрации реагентов (x_1, x_2) на показатель нелийности n (рис. 3) и индекс консистенции К (рис. 4).

По нашему мнению, при установленных оптимальных соотношениях, происходит изменение пространственных конформаций макромолекул, что может быть связано как с разным порядком гликозидных связей, так и с особенностями характера межмолекулярных взаимодействий.

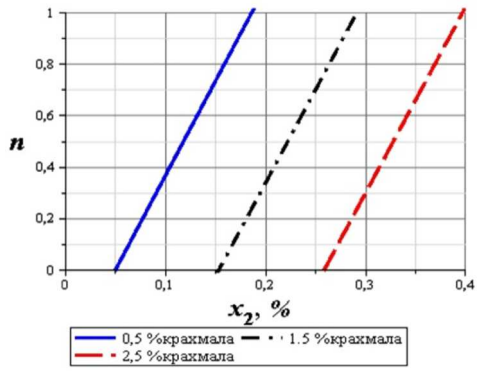

Рисунок 3 – Влияние совместного содержания камеди и крахмала в растворе на показатель нелийности: 1– 0,5 % крахмала; 2 – 1,5 % крахмала; 3 – 2,5 % крахмала

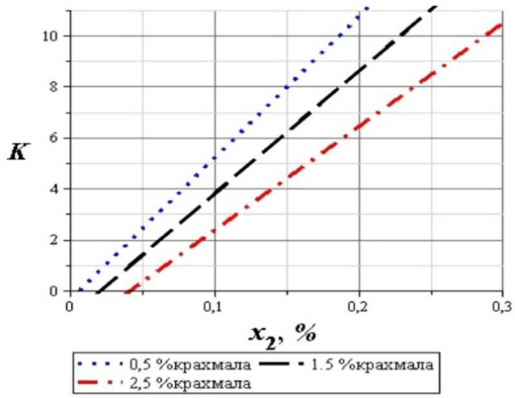

Рисунок 4 – Влияние совместного содержания камеди и крахмала в растворе на индекс консистенции

Литература:

1. Синергетический эффект композиций крахмала и камеди для дисперсионных сред / М.Е. Логинова [и др.] // НефтеГазоХимия. – 2022. – № 1. – DOI :10.24412/2310-8266-2022-1-00-00

References:

1. Synergistic effect of starch and gum compositions for dispersion media / M.E. Loginova [et al.] // Oil & Gas Chemistry. – 2022. – № 1. – DOI :10.24412/2310-8266-2022-1-00-00