

УДК 622.245.42

МРНТИ 52.47.27

DOI 10.56525/QORN9851

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КИНЕТИКА РАЗРУШЕНИЯ ПЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

*Деряев А.Р., Гельдыева Ч.Г.

Научно-исследовательский институт природного газа государственного концерна «Туркменгаз», Ашхабад, Туркменистан
e-mail: annagulyderyayew@gmail.com, geldiyevachinar@gmail.com

Аннотация. Исследованы реологические характеристики и кинетика разрушения пенных полимерных растворов (ППР), предназначенных для глушения скважин в условиях аномально низких пластовых давлений (АНПД). Определена условная вязкость составов с различными стабилизаторами (жидкое стекло, NaCl) и растительными наполнителями (измельченная солома, ореховая скорлупа, хлопковая шелуха). Установлено, что замена жидкого стекла на хлорид натрия приводит к формированию нетекучей структуры с высокой устойчивостью к расслоению (8 суток). Впервые получены кинетические кривые разрушения пены в течение 8 суток, показывающие три стадии: начальную стабилизацию (0-2 сут), медленную коалесценцию (2-5 сут) и структурное равновесие (5-8 сут). Показано, что введение измельченной соломы увеличивает начальную вязкость системы и замедляет скорость разрушения на 40% по сравнению с составом без наполнителя. Хлопковая шелуха, напротив, резко снижает вязкость и ускоряет коллапс пены (полное разрушение за 1 сутки). Установлена прямая корреляция между условной вязкостью ППР и его устойчивостью ($R^2 = 0,92$ для исследованной выборки). Реологические исследования объясняют механизм блокирующего действия ППР: формирование высоковязкой структурированной пенной матрицы, армированной растительными частицами, создает эффективный барьер для фильтрации. Выделенные стадии разрушения характерны для исследованных составов и требуют проверки на других пенных системах.

Ключевые слова: реология; кинетика разрушения; пенный раствор; условная вязкость; стабильность пены; растительные наполнители; АНПД.

Введение

Успешность применения пенных растворов для глушения скважин в условиях аномально низких пластовых давлений (АНПД) определяется не только их низкой плотностью, но и способностью сохранять структурную целостность в течение всего периода ремонтных работ, который может достигать нескольких суток [1, 2]. Ключевыми факторами, обеспечивающими долговременную стабильность пены, являются ее реологические характеристики и кинетика разрушения [3, 4].

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных разработке рецептур пенных растворов [5, 6], вопросы реологии и кинетики разрушения пен с растительными наполнителями изучены недостаточно. В частности, отсутствуют количественные данные о влиянии типа наполнителя на вязкость пенной системы и скорость ее деструкции во времени [7].

Ранее нами были разработаны составы пенных полимерных растворов (ППР) с различными стабилизаторами и растительными наполнителями, показана их высокая блокирующая способность на насыпных моделях пласта и подтверждена эффективность в промышленных условиях [8]. Однако реологические механизмы, обеспечивающие такую стабильность, оставались нераскрытыми.

Целью настоящей работы является изучение реологических свойств и кинетики разрушения ППР с различными типами растительных наполнителей, установление

корреляционных зависимостей между вязкостью и устойчивостью пены, а также выявление механизмов стабилизации пенной структуры.

Материалы и методы исследования.

Объектом исследования являлись пенные полимерные растворы (ППР) на водной основе, разработанные ранее [8]. В качестве основы использовалась пресная вода. Для создания структуры и стабилизации пены применялись: бентонитовый глинопорошок (Огланлынкское месторождение) как структурообразователь; карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ-ВВ) и жидкое стекло (силикат натрия) как стабилизаторы; хлорид натрия (NaCl) в качестве альтернативного стабилизатора. Концентрация NaCl (2%) была подобрана экспериментально как оптимальная, обеспечивающая максимальную устойчивость пены. В качестве пенообразователей использовалась смесь местного поверхностно-активного вещества «Guwly dere» (анионное+неионогенное) и амфотерного ПАВ «Юникор-10 А200». Для повышения термостойкости вводился моноэтаноламин (МЭА), полученный из кубовых остатков ПО «Марызот».

В качестве кольматантов растительного происхождения использовались: измельченная солома, измельченная скорлупа грецкого ореха и хлопковая шелуха фракцией 0,5-1,0 мм. Выбор фракции обусловлен предварительными испытаниями: частицы менее 0,5 мм не создавали эффективного блокирующего экрана, частицы более 1,0 мм быстро осаждались. Концентрация кольматантов во всех опытах составляла 1% от объема жидкой фазы.

Приготовление растворов осуществлялось на высокоскоростном лабораторном миксере в строгой последовательности: вода, МЭА (1%), бентонит (3-6%), КМЦ-ВВ (1,25%), стабилизатор (жидкое стекло или NaCl), ПАВ (2-3%). Время перемешивания на каждой стадии составляло 3-5 минут.

Оборудование и методы измерений. Условная вязкость определялась с использованием вискозиметра Марша (VD-6) согласно стандартной методике [9]. Для нетекучих составов фиксировалось отсутствие истечения из воронки Марша в течение 30 секунд, что соответствует условной вязкости более 1000 с по косвенной оценке. Для точного определения вязкости таких составов рекомендуется использование ротационных вискозиметров в дальнейших исследованиях.

Кратность пены (К) определялась как отношение конечного объема пены ($V_{п}$) к исходному объему жидкой фазы ($V_{ж}$): $K = V_{п} / V_{ж}$.

Для изучения кинетики разрушения пены приготовленные образцы объемом 100 см³ помещались в стеклянные цилиндры и выдерживались при комнатной температуре (20-22°C) в течение 8 суток. Ежедневно фиксировалось изменение объема пены с точностью до 1 см³. Под устойчивостью пены понималась способность сохранять структурную целостность и исходный объем без расслоения на жидкую и газовую фазы. Незначительная коалесценция пузырьков в верхней части столба пены не считалась критерием потери устойчивости.

Скорость разрушения пены на различных этапах рассчитывалась как отношение изменения объема к интервалу времени (см³/сут). Термостойкость оценивалась визуально и по изменению объема после выдержки образцов в термостате при температуре 130°C в течение 4 часов.

Статистическая обработка данных проводилась с вычислением средних значений по трем параллельным измерениям. Корреляционный анализ выполнялся с использованием коэффициента детерминации R^2 .

Результаты исследования.

Влияние типа стабилизатора на реологические свойства. В первой серии экспериментов исследовалось влияние типа стабилизатора на условную вязкость ППР. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Влияние типа стабилизатора на условную вязкость ППР

Состав	Стабилизатор, %	КМЦ-ВВ, %	Условная вязкость по Маршу, с	Характер течения
Состав А	Жидкое стекло, 5%	1,0	320 ± 15	Слаботекучий
Состав Б	Жидкое стекло, 2%	1,25	450 ± 20	Слаботекучий
Состав В	NaCl, 2%	1,25	нетекучий	Структурированный

Анализ данных Таблицы 1 показывает, что замена жидкого стекла на хлорид натрия при одновременном увеличении концентрации КМЦ-ВВ до 1,25% приводит к принципиальному изменению реологического поведения ППР. Состав В приобретает структурированный характер с отсутствием текучести, что свидетельствует о формировании прочной пространственной сетки в пенной системе. Составы А и Б, напротив, сохраняют слабую текучесть, причем увеличение концентрации КМЦ-ВВ в составе Б повышает вязкость с 320 до 450 с.

Влияние растительных наполнителей на условную вязкость. На следующем этапе в наиболее перспективный Состав В (2% NaCl, 2% бентонит, 1,25% КМЦ, 2% ПАВ, 1% МЭА) вводились различные типы растительных наполнителей. Результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Влияние типа растительного наполнителя на условную вязкость ППР (на основе Состав В)

Состав	Наполнитель (1%)	Условная вязкость по Маршу, с	Характер течения
Состав В	Без наполнителя	нетекучий	Структурированный
Состав В + солома	Измельченная солома	нетекучий	Высокоструктурированный
Состав В + скорлупа	Ореховая скорлупа	520 ± 25	Слаботекучий
Состав В + шелуха	Хлопковая шелуха	180 ± 10	Текучий

Как видно из Таблицы 2, влияние различных наполнителей на реологические свойства ППР принципиально различается. Измельченная солома сохраняет нетекучую структуру, даже упрочняя ее (визуально состав выглядел более плотным). Ореховая скорлупа снижает вязкость до 520 с, переводя систему в слаботекучее состояние. Хлопковая шелуха катастрофически снижает вязкость до 180 с, делая систему текучей, что коррелирует с быстрым разрушением пены, наблюдавшимся ранее [8].

Кинетика разрушения пенных растворов. Для понимания механизмов стабильности были получены кинетические кривые разрушения пены в течение 8 суток. Результаты представлены в Таблице 3 и на Рисунке 1. Следует отметить, что выделенные стадии разрушения характерны для исследованных составов и требуют проверки на других пенных системах для подтверждения их универсальности.

Таблица 3 – Кинетика разрушения пены (объем, % от исходного)

Время, сут	Состав В	Состав В + солома	Состав В + скорлупа	Состав В + шелуха
0	100	100	100	100
1	98	99	97	60
2	96	98	94	30

3	94	97	91	разрушен
4	92	96	89	-
5	91	95	87	-
6	89	94	85	-
7	88	93	83	-
8	87	92	82	-

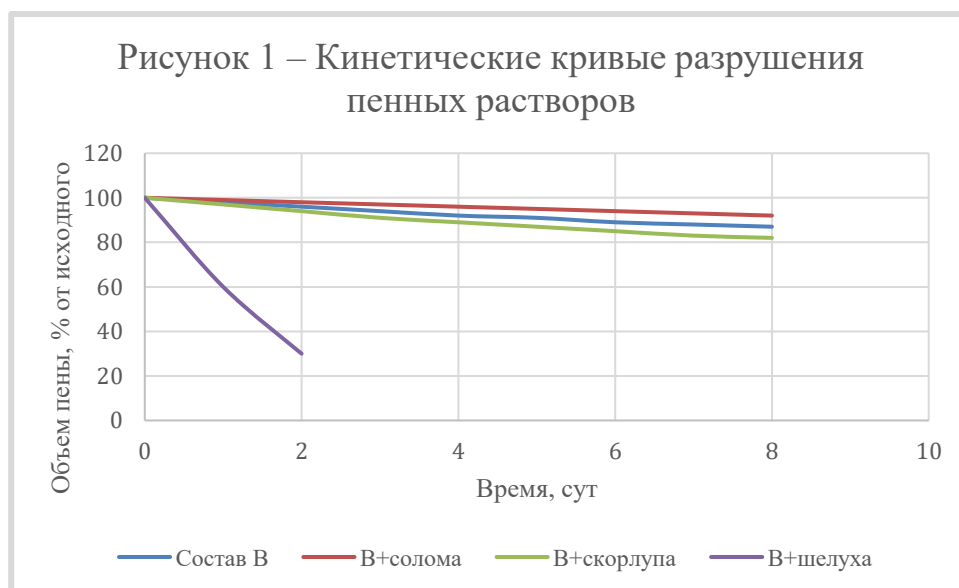


Рисунок 1 – Кинетические кривые разрушения пенных растворов:
 1 – Состав В + солома; 2 – Состав В (без наполнителя); 3 – Состав В + скорлупа;
 4 – Состав В + шелуха

Анализ кинетических кривых позволяет выделить три характерные стадии разрушения пены для исследованных составов:

1. Стадия начальной стабилизации (0-2 сут). На этой стадии объем пены уменьшается незначительно (1-4% в зависимости от состава). Происходит перестройка пенной структуры, коалесценция наиболее крупных и нестабильных пузырьков. Состав с соломой демонстрирует минимальную потерю объема (всего 2% за 2 суток).

2. Стадия медленной коалесценции (2-5 сут). На этой стадии скорость разрушения увеличивается, но остается невысокой (1-2% в сутки для стабильных составов). Происходит постепенное укрупнение пузырьков за счет диффузии газа. Состав с соломой сохраняет преимущество: за 3 суток (с 2 по 5) он теряет всего 3% объема против 5% у состава без наполнителя.

3. Стадия структурного равновесия (5-8 сут). На этой стадии скорость разрушения вновь снижается, система приближается к равновесному состоянию. Объем пены стабилизируется на уровне 83-93% от исходного в зависимости от состава.

Для состава с хлопковой шелухой кинетика принципиально иная: уже через 1 сутки объем падает до 60%, через 2 суток – до 30%, а к 3 суткам происходит полное разрушение пены с расслоением на жидкую и твердую фазы.

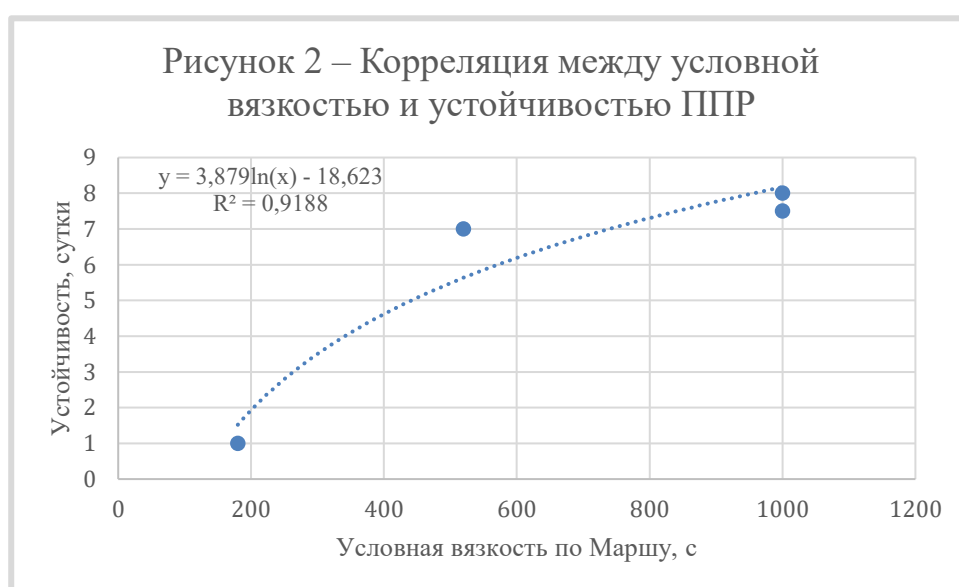
Скорость разрушения пены. Рассчитанные скорости разрушения на различных этапах представлены в Таблице 4.

Данные Таблицы 4 наглядно демонстрируют, что введение измельченной соломы снижает среднюю скорость разрушения пены в 1,9 раза по сравнению с составом без наполнителя и в 2,7 раза по сравнению с составом со скорлупой. Особенно важно, что на всех стадиях скорость разрушения состава с соломой остается минимальной.

Таблица 4 – Скорость разрушения пены на различных стадиях, см³/сут

Состав	Стадия 1 (0-2 сут)	Стадия 2 (2-5 сут)	Стадия 3 (5-8 сут)	Средняя скорость
Состав В	2,0	1,7	1,5	1,7
Состав В + солома	1,0	1,0	0,5	0,9
Состав В + скорлупа	3,0	2,3	2,0	2,4
Состав В + шелуха	40,0	-	-	40,0

Корреляция «вязкость – устойчивость». Для выявления взаимосвязи между реологическими свойствами и стабильностью пены был проведен корреляционный анализ. Результаты представлены на Рисунке 2.

**Рисунок 2 – Корреляция между условной вязкостью и устойчивостью ППР**

Анализ показывает наличие сильной прямой корреляции между условной вязкостью ППР и его устойчивостью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,92$ для исследованной выборки из 4 составов). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,92$ получен для 4 экспериментальных точек, что при данном малом числе точек следует рассматривать как предварительную оценку, требующую подтверждения на расширенной выборке. Составы с высокой вязкостью (нетекучие и слаботекучие с вязкостью более 450 с) демонстрируют устойчивость 5-8 суток. Состав с низкой вязкостью (180 с) разрушается за 1 сутки. Это подтверждает, что реологические характеристики являются ключевым фактором, определяющим долговременную стабильность пенных систем, по крайней мере для исследованного класса составов.

Обсуждение механизмов стабилизации. Полученные результаты позволяют предложить следующее объяснение механизмов стабилизации пены различными наполнителями:

1. Измельченная солома обладает волокнистой структурой, которая армирует пенную пленку, создавая дополнительный каркас. Частицы соломы переплетаются между собой и с полимерными цепями КМЦ, формируя пространственную сетку, препятствующую коалесценции пузырьков и дренажу жидкости. Это объясняет сохранение нетекучей структуры и минимальную скорость разрушения.

2. Ореховая скорлупа имеет изометрическую форму и не способна к образованию армирующего каркаса. Ее частицы действуют как инертный наполнитель, частично блокируя поры, но не усиливая структурную сетку. Более того, они могут нарушать целостность пенных пленок, что приводит к снижению вязкости и более быстрому разрушению по сравнению с составом без наполнителя.

3. Хлопковая шелуха обладает высокой гидрофильностью и интенсивно впитывает жидкую фазу из пены. Это приводит к обезвоживанию пенных пленок, их утонению и быстрому разрыву. Резкое снижение вязкости и катастрофическое разрушение пены являются следствием этого процесса.

Таким образом, реологические исследования не только количественно описывают поведение ППР, но и раскрывают физико-химические механизмы, определяющие их стабильность.

Заключение.

В результате проведенных исследований впервые получены количественные данные о реологических свойствах и кинетике разрушения пенных полимерных растворов с растительными наполнителями. Экспериментально установлено, что замена жидкого стекла на хлорид натрия в концентрации 2%, подобранной экспериментально как оптимальная, в сочетании с повышенной концентрацией карбоксиметилцеллюлозы (1,25%) приводит к формированию нетекучей структурированной пены с условной вязкостью, не поддающейся измерению по стандартному вискозиметру Марша, и устойчивостью до 8 суток. Исследование влияния различных типов растительных наполнителей показало, что измельченная солома сохраняет нетекучую структуру и снижает среднюю скорость разрушения пены до 0,9 см³/сут, что в 1,9 раза ниже, чем у состава без наполнителя, тогда как ореховая скорлупа снижает вязкость до 520 с и увеличивает скорость разрушения до 2,4 см³/сут. Особый интерес представляет поведение хлопковой шелухи, которая катастрофически снижает вязкость до 180 с и вызывает полное разрушение пены за 1 сутки со скоростью 40 см³/сут, что объясняется интенсивным поглощением жидкой фазы из-за высокой гидрофильности этого материала. Впервые установлена сильная прямая корреляция между условной вязкостью ППР и его устойчивостью с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,92$ для исследованной выборки, что позволяет использовать реологические измерения для прогнозирования долговременной стабильности пенных систем в пределах исследованного класса составов, хотя для подтверждения универсальности данной корреляции требуются исследования на расширенной выборке.

Анализ кинетики разрушения позволил выделить три характерные стадии для стабильных ППР: начальную стабилизацию с потерей объема 1-4% в первые двое суток, медленную коалесценцию с потерей 3-5% в течение следующих трех суток и структурное равновесие с потерей всего 1-2% в заключительные трое суток. Реологические механизмы стабилизации, выявленные в работе, включают формирование армированной волокнами соломы пространственной сетки, препятствующей коалесценции пузырьков и дренажу жидкости, тогда как изометрические частицы скорлупы нарушают целостность пенных пленок, а гидрофильная шелуха обезвоживает систему. Полученные результаты углубляют понимание физико-химических механизмов стабильности пенных растворов и могут быть использованы при проектировании составов для глушения скважин в условиях АНПД с заданными реологическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аммян В.А., Яковлев А.М. Пенные растворы в бурении. – М.: Недра, 1983. – 198 с.
2. Nasr-El-Din H.A., Al-Ajmi S.A., Al-Muntasheri A.A. Preventing drilling fluid induced reservoir formation damage // Energy & Fuels. – 2021. – Vol. 35(12). – P. 10078-10091.
3. Kelessidis V.C. Flow and stability of drilling foams // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 2004. – Vol. 122. – P. 67-78.

4. Sun X., Wang Z., Li J. High-temperature behavior of foam drilling fluids // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 133. – P. 562-570.
5. Al-Muntasheri A., Al-Kulaib M., Al-Maloof A. Impact of eco-friendly drilling additives on foaming properties for sustainable underbalanced foam drilling applications // *ACS Omega*. – 2024. – Vol. 9(4). – P. 4976-4989.
6. Tabatabaei S.A., Sadeghi M. Effect of crude oil contamination on the rheological properties of foam drilling fluid stabilized by gellan gum polymer // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2024. – Vol. 14(2). – P. 835-848.
7. Fang G., Liu G., Qu F. A novel biodegradable cross-linked polymer as loss-circulation material for high-temperature and high-salinity environment // *ACS Omega*. – 2023. – Vol. 8(30). – P. 27361-27369.
8. Geldiyewa Ç.G. Önemli gatlaklary wagtlaýyn petiklemek üçin kolmatantly köpürjikli erginleriň barlaglary // *Türkmenistanda ylym we tehnika*. – 2025. – № 2. – S. 79-84.
9. ВНИИКРнефть. Методика контроля параметров буровых растворов (РД 39-2-645-81). – Грозный: ВНИИКРнефть, 1981. – 62 с.
10. Liu H., Li Z., Zhao C. Well Killing Technology before Workover Operation in Complicated Conditions // *Energies*. – 2021. – Vol. 14(3). – P. 654-668.
11. Перейма А.А., Минликаев В.З., Гасумов Р.А. Глушение скважин с контролем поглощения // *Записки Горного института*. – 2025. – Т. 272. – С. 119-135.

REFERENCES

1. Amiyan V.A., Yakovlev A.M. (1983) *Pennye rastvory v burenii* [Foam solutions in drilling]. Moscow: Nedra. 198 p. (In Russian)
2. Nasr-El-Din H.A., Al-Ajmi S.A., Al-Muntasheri A.A. (2021) Preventing drilling fluid induced reservoir formation damage. *Energy & Fuels*. Vol. 35(12), pp. 10078-10091. (In English)
3. Kelessidis V.C. (2004) Flow and stability of drilling foams. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. Vol. 122, pp. 67-78. (In English)
4. Sun X., Wang Z., Li J. (2015) High-temperature behavior of foam drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Vol. 133, pp. 562-570. (In English)
5. Al-Muntasheri A., Al-Kulaib M., Al-Maloof A. (2024) Impact of eco-friendly drilling additives on foaming properties for sustainable underbalanced foam drilling applications. *ACS Omega*. Vol. 9(4), pp. 4976-4989. (In English)
6. Tabatabaei S.A., Sadeghi M. (2024) Effect of crude oil contamination on the rheological properties of foam drilling fluid stabilized by gellan gum polymer. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. Vol. 14(2), pp. 835-848. (In English)
7. Fang G., Liu G., Qu F. (2023) A novel biodegradable cross-linked polymer as loss-circulation material for high-temperature and high-salinity environment. *ACS Omega*. Vol. 8(30), pp. 27361-27369. (In English)
8. Geldiyewa Ç.G. (2025) Önemli gatlaklary wagtlaýyn petiklemek üçin kolmatantly köpürjikli erginleriň barlaglary [Studies of foam solutions with bridging agent for temporary blocking of productive formations]. *Türkmenistanda ylym we tehnika*. № 2, pp. 79-84. (In Turkmen)
9. ВНИИКРнефть. (1981) *Методика контролю параметров буровых растворов (RD 39-2-645-81)* [Methodology for drilling fluid parameter control (Guidance Document 39-2-645-81)]. Grozny: ВНИИКРнефть. 62 p. (In Russian)
10. Liu H., Li Z., Zhao C. (2021) Well Killing Technology before Workover Operation in Complicated Conditions. *Energies*. Vol. 14(3), pp. 654-668. (In English)
11. Pereyma A.A., Minlikaev V.Z., Gasumov R.A. (2025) Глушение скважин с контролем поглощения [Well killing with loss control]. *Записки Горного института*. Vol. 272, pp. 119-135. (In Russian)

ӨСІМДІК ТОЛТЫРҒЫШТАРЫ БАР КӨБІКТІ ПОЛИМЕРЛІ ЕРІТІНДІЛЕРДІҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ БҰЗЫЛУ КИНЕТИКАСЫ

*Деряев Аннагулы Реджеп оглы, Гельдыева Чинар Гуванч қызы

"Түрікменгаз" мемлекеттік концернінің табиғи газ ғылыми-зерттеу Институты,

Ашхабад, Түрікменстан

e-mail: annagulyderyayew@gmail.com, geldiyevachinar@gmail.com

Аңдатпа. Аномальді төмен қабаттық қысым (АҚТҚ) жағдайында ұңғымаларды тұншықтыруға арналған өсімдік толтырғыштары бар көбікті полимерлі ерітінділердің (КПЕ) реологиялық сипаттамалары мен бұзылу кинетикасы зерттелді. Өртүрлі тұрақтандырғыштары (сұйық шыны, NaCl) және өсімдік толтырғыштары (ұсақталған сабан, жаңғақ қабығы, мақта қауызы) бар құрамдардың шартты тұтқырлығы анықталды. Сұйық шыныны натрий хлоридімен ауыстыру қабаттасуға жоғары төзімділігі бар ақпайтын құрылымның пайда болуына әкелетіні анықталды (8 тәулік). Алғаш рет 8 тәулік ішінде көбіктің бұзылуының кинетикалық қисықтары алынды, олар үш кезеңді көрсетеді: бастапқы тұрақтану (0-2 тәулік), баяу коалесценция (2-5 тәулік) және құрылымдық тепе-теңдік (5-8 тәулік). Ұсақталған сабанды енгізу жүйенің бастапқы тұтқырлығын арттыратыны және толтырғышсыз құраммен салыстырғанда бұзылу жылдамдығын 40% - ға баяулататыны көрсетілген. Мақта қауызы, керісінше, тұтқырлықты күрт төмендетеді және көбіктің коллапсын тездетеді (1 тәулікте толық бұзылу). КПЕ шартты тұтқырлығы мен оның тұрақтылығы арасындағы тікелей корреляция анықталды ($R^2 = 0,92$ зерттелген іріктеме үшін). Реологиялық зерттеулер КПЕ блокадалау әсерінің механизмін түсіндіреді: өсімдік бөлшектерімен арматураланған жоғары тұтқыр құрылымды көбік матрицасының пайда болуы фильтрацияға тиімді кедергі жасайды. Анықталған бұзылу кезеңдері зерттелген құрамдарға тән және басқа көбікті жүйелерде тексеруді талап етеді.

Түйін сөздер: реология; бұзылу кинетикасы; көбікті ерітінді; шартты тұтқырлық; көбік тұрақтылығы; өсімдік толтырғыштары; АҚТҚ.

RHEOLOGICAL PROPERTIES AND DESTRUCTION KINETICS OF FOAM POLYMER SOLUTIONS WITH PLANT-BASED FILLERS

*Deryaev Annaguly, Geldiyeva Chynar

Scientific Research Institute of Natural Gas of the State Concern "Turkmengaz", Ashgabat,
Turkmenistan

e-mail: annagulyderyayew@gmail.com, geldiyevachinar@gmail.com

Abstract. Rheological characteristics and destruction kinetics of foam polymer solutions (FPS) with plant-based fillers intended for well killing under abnormally low formation pressure (ALFP) conditions were studied. The relative viscosity of compositions with various stabilizers (liquid glass, NaCl) and plant fillers (crushed straw, nutshells, cotton husk) was determined. It was found that replacing liquid glass with sodium chloride leads to the formation of a non-flowing structure with high resistance to stratification (8 days). For the first time, kinetic curves of foam destruction over 8 days were obtained, showing three stages: initial stabilization (0-2 days), slow coalescence (2-5 days), and structural equilibrium (5-8 days). It was shown that the introduction of crushed straw increases the initial viscosity of the system and slows down the destruction rate by 40% compared to the composition without filler. Cotton husk, on the contrary, sharply reduces viscosity and accelerates foam collapse (complete destruction in 1 day). A direct correlation was established between the relative viscosity of FPS and its stability ($R^2 = 0.92$ for the studied sample set). Rheological studies explain the mechanism of the blocking action of FPS: the formation of a highly viscous structured foam matrix reinforced with plant particles creates an effective barrier to filtration.

The identified destruction stages are characteristic of the studied compositions and require verification on other foam systems.

Key words: rheology; destruction kinetics; foam solution; relative viscosity; foam stability; plant-based fillers; ALFP.