

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ «ТЕМПОСКРИН-ПЛЮС» И «ТЕМПОСКРИН-ЛЮКС» МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ

В.Б. Демьяновский^{1,2}, А.А. Бохан^{1,2}, Д.А. Каушанский^{1,2}
1 – ИПНГ РАН, 2 – ООО НТФ «Атомбиотех»
e-mail: demian20@yandex.ru, anya_bohan@mail.ru, dak@ipng.ru

Технология «Темпоскрин» [1, 2], в основе которой лежит процесс управления потоками подземных флюидов, направлена на решение проблемы высокой обводненности скважин (с целью снижения обводненности добываемой продукции). Управление потоками происходит за счет закачки в пласт вместе с водой системы, содержащей дисперсные гели «Темпоскрин-Плюс» и «Темпоскрин-Люкс».

Применяемые полимеры по своим физико-механическим свойствам занимают промежуточное положение между жидкостью и твердыми телами, и провести между ними границу с использованием существующих методов оказывается затруднительно. В связи с этим, применение метода ротационной вискозиметрии не позволяет корректно оценить их физико-механические свойства, из-за того, что размер гелевых частиц в полимерно-гелевых системах сопоставим с размером зазора между шпинделем и стенками рабочего цилиндра, вследствие чего результаты исследований оказываются неустойчивыми и плохо воспроизводимыми. Применение известных методов в определении модуля упругости требует изготовления образцов определенной стандартной формы, а для гелей системы «Темпоскрин» существующими методами не удается получить стандартную форму.

В данной работе авторы рассматривают возможность использования метода индентирования для изучения механических свойств полимерно-гелевых систем.

Индентирование – это испытание материала методом вдавливания в поверхность образца индентора, которое применяется к нанобъемам материала. Индентирование производится вдавливанием с заданным усилием в изучаемый образец индентора, обладающего известными механическими свойствами – формой и модулем упругости. [3].

В процессе измерения методом индентирования регистрируется изменение глубины проникновения, затем на основании этих данных и известной геометрии наконечника датчика определяется площадь вдавливания. При проведении индентирования измеряются такие параметры, как нагрузка и глубина проникновения. Затем результаты измерений можно отобразить в виде графика, что позволяет получить

зависимость смещения от нагрузки. Полученные графики позволяют определить механические характеристики материала.

В технике индентирования используют инденторы различной формы — в виде цилиндра с плоским торцом, сферы, конуса, пирамиды. Индентор для измерения твердости по Бриннелю и Роквеллу представляет собой шарик; по Виккерсу – усеченную четырехгранную пирамиду; индентор Берковича – трехгранную алмазную пирамиду и т.д. [3].

В данной работе использован в качестве индентора диск, в котором рабочая поверхность совпадает с рабочей поверхностью цилиндра в теоретической модели. Связь между глубиной проникновения и нормальной силой в дисковом и цилиндрическом инденторе одинаковые. Из-за малого модуля упругости поверхность геля испытывает сильные деформации. При использовании в качестве индентора цилиндра деформация происходит за счет контактирования с боковой поверхностью цилиндра. В случае дискового индентора площадь контакта в процессе индентирования остается постоянной.

В данной работе принято, что связь между глубиной проникновения и нормальной силой определяется формулой [4]

$$F = \frac{2aE*d}{1-\nu^2}, \quad (1)$$

где F – нормальная сила, a – радиус основания диска, E – приведенный модуль упругости, d – глубина проникновения диска, ν – коэффициент Пуассона (для эластичных материалов коэффициент Пуассона принимается равным 0,5).

Также среднее прижимное давление поверхности индентора к ПГС можно найти из отношения силы к площади поверхности основания диска:

$$\sigma = \frac{F}{\pi a^2}. \quad (2)$$

За величину безразмерной деформации принимается отношение величины глубины проникновения индентора к радиусу основания диска:

$$\varepsilon = \frac{d}{a}. \quad (3)$$

Используя формулы 1–3, рассчитывается механический показатель – модуль упругости:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (4)$$

В качестве примера построена зависимость нагрузки, приложенной к гелю, от деформации образца полимерно-гелевой системы «Темпоскрин-Плюс», с содержанием

геля 100%, приготовленной на воде с минерализацией 17 г/л и концентрацией реагента 2%. Коэффициент линейной корреляции, равный 0,9988 (рис. 1), указывает на линейную зависимость, а следовательно, на возможность использования формулы (4) для определения модуля упругости геля.

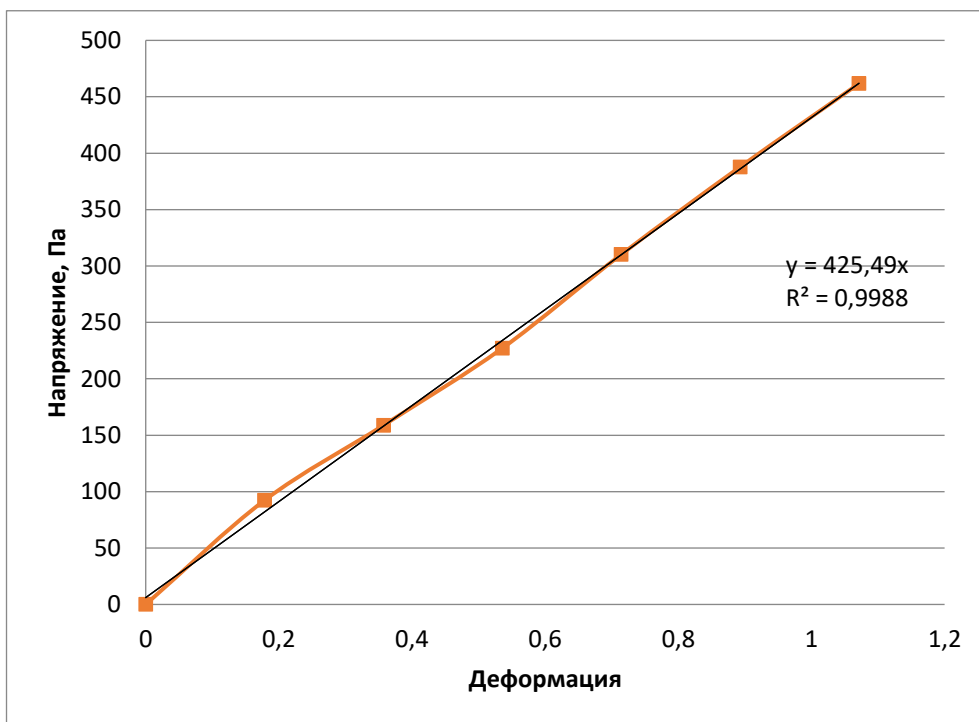


Рис. 1. Зависимость напряжения от деформации образца Темпоскрин-Плюс при прямой нагрузке индентора

Реагент смешивается со 100 мл дистиллированной воды в разных пропорциях при непрерывном перемешивании при комнатной температуре в цилиндрическом сосуде объемом 200 мл и диаметром 50 мм. Через 60 минут, после прекращения перемешивания, реагент в порошкообразном виде разбухает, образуя гидрогели в водной среде.

В качестве исходных образцов полимера использованы промышленные порошкообразные реагенты «Темпоскрин», «Темпоскрин-Плюс», «Темпоскрин-Люкс». В качестве водной среды использованы водно-солевые растворы, моделирующие пластовую воду хлор-кальциевого типа – типичные для области применения этих реагентов.

Приготовленные образцы были испытаны методом индентирования. В качестве индентора использован диск диаметром 28 мм, соосно закрепленный на стержне диаметром 2 мм. Для приготовленных полимерно-гелевых систем визуально определялась доля геля. На рис. 2 представлена фотография образцов полимерно-гелевой системы

«Темпоскрин-Плюс» и «Темпоскрин-Люкс», приготовленных на пластовой воде с минерализацией 17 г/л и концентрацией реагента 2%.

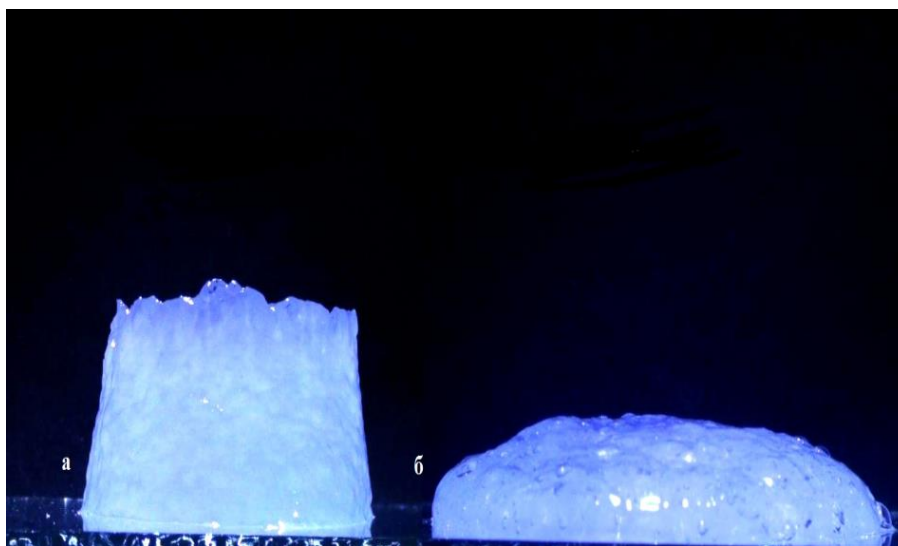


Рис. 2. Образцы полимерно-гелевой системы:
а – «Темпоскрин-Плюс»; б – «Темпоскрин-Люкс»

Для проведения испытания использовалась установка, схема которой представлена на рис. 3.

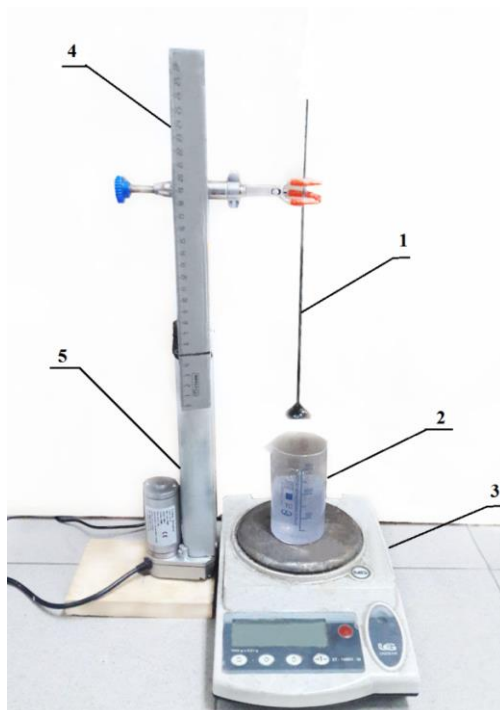


Рис.3. Схема установки для исследований механических свойств гелей методом индентирования:
1 – индентор с диском у основания, 2 – гель под нагрузкой, 3 – весы, 4 – шкала, 5 – линейный электропривод

В установке использованы лабораторные весы марки UNIGRAM ET-300П. Время стабилизации показаний весов при изменении нагрузки от 0 до 200 грамм – не более 5 сек.

Механические испытания проводись с помощью измерения показаний весов при перемещении индентора вдоль его оси с интервалом 5 мм, при этом перемещения производились в прямом (нагрузка) и обратном (разгрузка) направлении.

В табл. 1 приведены результаты измерения модуля упругости систем «Темпоскрин» с использованием метода индентирования и расчета модуля по формуле (4). Как видно из приведенных данных, значительные модули упругости (400–500 Па) показывают только системы с содержанием реагента 2% и долей геля, близкой к 100% (+5%). Это связано с тем, что в разбавленных полимерно-гелевых системах отдельные гелевые частицы не связаны между собой и при нагрузке индентором выдавливаются из объема образца, находящегося под индентором.

Таблица 1

Результаты определения модулей упругости полимерно-гелевых систем типа «Темпоскрин»

№	Состав полимерно-гелевой системы				Модуль упругости, Па	Доля геля, %
	Тип реагента	Концентрация реагента, %	Тип соли	Концентрация соли, %		
1	Темпоскрин	1	NaCl	2	3	47
2	Темпоскрин	1	NaCl	5	5	44
3	Темпоскрин	1	CaCl ₂	2	0	34
4	Темпоскрин	1	CaCl ₂	5	0	37
5	Темпоскрин-Плюс	1	Дистиллированная вода	0	520	100
6	Темпоскрин-Люкс	1	Дистиллированная вода	0	425	94
7	Темпоскрин-Плюс	2	NaCl	5	565	100
8	Темпоскрин-Люкс	2	NaCl	5	0	100
9	Темпоскрин-Плюс	2	CaCl ₂	5	0	56
10	Темпоскрин-Люкс	2	CaCl ₂	5	26	91

Проделанная работа позволяет сделать вывод о возможности использования метода индентирования для определения упругих свойств полимерно-гелевых систем. Также

этим методом можно оценить силу взаимодействия между дисперсными гелевыми частицами в этих системах.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности», № АААА-А16-116031750016-3).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каушанский Д.А., Демьяновский В.Б.* Инновационная технология ограничения водопритока в добывающих скважинах «Темпоскрин-Плюс» [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы нефти и газа: Науч. сет. изд. 2018. Вып. 1(20). 9 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 30.10.2018).

2. *Каушанский Д.А.* Улучшение показателей разработки нефтяных месторождений при использовании полимерно-гелевых систем «Темпоскрин» // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2008, № 7. С. 36–46.

3. ГОСТ Р 8.748-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик материалов при инструментальном индентировании. Часть 1. Метод испытаний.

4. *Лукьянова А.Н.* Моделирование контактного взаимодействия деталей: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 87 с.