

А. Т. ГОРБУНОВ, Д. П. ЗАБРОДИН,

В. В. СУРИНА, А. В. СТАРКОВСКИЙ (ВНИИнефть)

В. П. ЩИПАНОВ (Тюменский индустриальный ин-т)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОТОРОЧЕК МИЦЕЛЛЯРНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ**

Одним из наиболее эффективных методов, позволяющих вовлечь в активную разработку остаточные запасы нефти, является метод заводнения с созданием оторочек мицеллярных растворов, предложенный в начале 60-х годов [1, 2]. Мицеллярные растворы - это вещества с очень низкими значениями поверхностного натяжения на границе с нефтью и водой, благодаря чему при закачке их в продуктивном пласте можно достичь полного вытеснения насыщающих жидкостей. При этом нефтенасыщенность коллектора не имеет решающего значения, что позволило применять мицеллярные растворы в качестве нефтewытесняющего агента на месторождениях, разрабатываемых с заводнением. Кроме того, данный метод может быть внедрен и на месторождениях, где воздействие на пласты не проводилось.

Оторочка мицеллярного раствора эффективно проталкивается буферной жидкостью - загущенной водой, за которой закачивается обычная вода. Вытесняемые нефть и вода движутся впереди оторочки мицеллярного раствора, образуя так называемый водонефтяной вал. Нефтенасыщенность в зоне его движения зависит от свойств коллектора и насыщающих жидкостей, свойств и размеров мицеллярной оторочки и не зависит от начальной нефтенасыщенности.

На рис.1 представлены схемы вытеснения насыщающих жидкостей оторочками мицеллярных растворов соответственно в не заводненном (а) и заводненном (б) пластах. Следует обратить внимание на полную аналогию схем в интервале между линией нагнетания и передним фронтом водонефтяного вала. Это означает, что по характеру отбираемой жидкости

различие между условиями а и б будет сохраняться лишь в начале процесса, т. е. до подхода водонефтяного вала к линии отбора (в первом случае отбирается больше нефти, а во втором - воды).

Когда водонефтяной вал достигает линии отбора, доля нефти в добываемой жидкости скачкообразно изменяется до определенной величины, которая равна нефтенасыщенности в зоне движения водонефтяного вала и остается постоянной до подхода оторочки мицеллярного раствора. С этого момента схемы движения и характер отбираемой жидкости перестают различаться, за исключением размеров водонефтяного вала [3].

Мицеллярный раствор состоит из нефтерастворимого ПАВ, содетергента, углеводородного растворителя, воды и соли.

Нефтерастворимое ПАВ - определяющий, компонент мицеллярного раствора, может быть анионным, катионным и неионогенным. Ввиду небольшой стоимости для приготовления мицеллярных растворов лучше применять нефтяные сульфонаты, средний молекулярный вес которых 400-525.

Содетергент оказывает такое же действие, как ПАВ, которое зависит от числа и расположения атомов углерода. Наиболее распространенные содетергенты - низшие спирты, содержащие меньше четырех атомов углерода в основной цепи (изопропиловый, метиловый, этиловый, вторичный бутиловый, третичный бутиловый) и некоторые кетоны, например ацетон.

В качестве углеводородного растворителя, применяют керосин, газоконденсат, легкие фракции нефти, нефть и т. д.

Действие солей зависит в основном от природы и структуры ПАВ. Ионы могут стабилизировать мицеллярный раствор или разрушать его. Наиболее широко используется, хлористый натрий.

Во ВНИИнефти совместно с Тюменским: индустриальным институтом было приготовлено несколько образцов мицеллярных растворов на отечественном сырье, различающихся природой ПАВ, строением содетергента, углеводородной составляющей и содержанием, воды. Различие

состава мицеллярных растворов обуславливает их разные свойства, которые проявляются в вязкостных характеристиках, в различной способности снижать поверхностное натяжение на границе с водой и нефтью и сохранять внешнюю углеводородную фазу при разбавлении водой.

Испытание полученных образцов для оценки их сравнительной эффективности с точки зрения вытеснения нефти из обводненного коллектора проводили на вертикальных моделях пористой среды длиной 95 см и диаметром 13,3 мм. Проницаемость насыпного песчаника составляла 6,0—8,0 Д, пористость 39,0—40,0%. Моделью нефти служила ромашкинская нефть вязкостью 6,8 сПз, в качестве пластовой и закачиваемой воды использовали 1%-ный раствор поваренной соли.

Эксперименты проводили по следующей методике. В модель пористой среды, содержащую нефть и связанную воду (в среднем соответственно 80 и 20% объема пор), закачивали воду, в результате чего нефтенасыщенность уменьшалась до 24-28%. После этого нагнетали порцию мицеллярного раствора в количестве 5% объема пор. Затем закачивали буферную жидкость (45-50% объема пор) для защиты мицеллярной оторочки от разрушения проталкивающей водой. В течение опыта градиент давления поддерживали на уровне 0,6-0,8 ат/м.

Буферная жидкость представляла водный раствор частично гидролизованного полиакриламида специально подобранной вязкости.

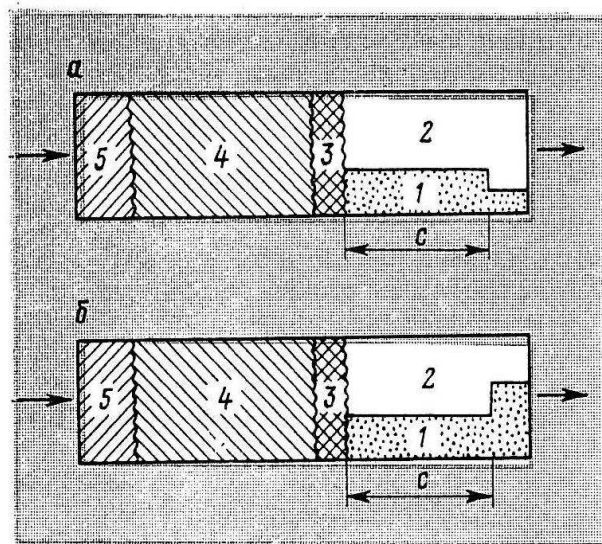


Рис. 1. Схема вытеснения нефти оторочкой мицеллярного раствора.

*a* — прямое вытеснение; *b* — вытеснение из за- водненного пласта; 1 — вода; 2 — нефть; 3 — оторочка мицеллярного раствора; 4 — буферная жидкость; 5 — проталкивающая вода; *c* — во- донефтяной вал

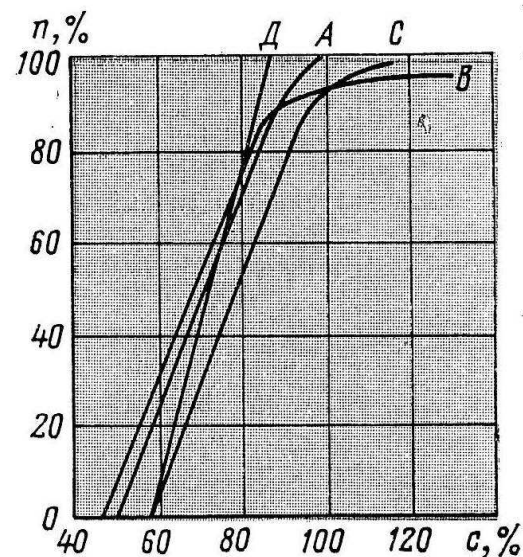


Рис. 2. Результаты определения сравнительной эффективности мицеллярных растворов.

A, B, C, D — типы растворов

Подбор проводили на основе соотношения подвижностей на границе мицеллярного раствора и буферной жидкости [4]. Для устойчивого продвижения этой границы необходимо, чтобы подвижность буферной жидкости была меньше или равнялась подвижности мицеллярного раствора, т. е.

$$\frac{k_B}{\mu_B} \leq \frac{k_{м.р}}{\mu_{м.р}},$$

где  $k$  и  $k_{м.р}$  — фазовые проницаемости соответственно для буферной жидкости вязкостью  $\mu_B$  и мицеллярного раствора вязкостью  $\mu_{м.р}$ . Если в зонах мицеллярного раствора и буферной жидкости в результате их смешивания происходит однофазная фильтрация, а фазовые проницаемости для этих жидкостей равны абсолютной проницаемости породы ( $k_B = k_{м.р} = k$ ), подвижность можно регулировать подбором вязкости буферной жидкости, исходя из условия  $\mu_B > \mu_{м.р}$ .

На рис. 2 показано изменение степени извлечения остаточной нефти  $\eta$  в зависимости от количества закачиваемых мицеллярных растворов  $c$ .

Следует отметить высокую эффективность вытеснения нефти - в приведенных примерах более 90% остаточной нефти извлекалось при объемах закачки (мицеллярный раствор + буферная жидкость + проталкивающая вода) менее одного порового объема; конечный коэффициент вытеснения нефти достигал 96-100%. При этом основная часть остаточной нефти добывается в «чистом» виде - до прорыва эмульсии (прямолинейный участок кривых на рис. 2), а оставшая (от 3 до 10%) - с эмульсией, представляющей смесь нефти, компонентов мицеллярного раствора, воды и буферной жидкости.

Для дальнейших исследований был выбран образец мицеллярного раствора А, который в указанных условиях полностью вытесняет остаточную нефть и отличается от остальных растворов низким содержанием наиболее дорогостоящих и дефицитных компонентов - ПАВ и содетергента (не более 10 и 2% вес. соответственно). Кроме того, вязкость этого раствора, в отличие от большинства других, при его обращении в эмульсию типа «нефть в воде» возрастает незначительно, что позволяет обеспечить надежный контроль подвижности мицеллярного раствора и буферной жидкости на границе их раздела.

На рис. 3 приведены результаты исследования влияния размера оторочки мицеллярного раствора на количество вытесненной остаточной нефти. Эксперименты проводили в тех же условиях, но вязкость ромашкинской нефти составляла 4,15 сПз.

При увеличении оторочки до 1,75% порового объема отмечалось резкое увеличение доотмытой нефти, однако дальнейший рост размеров оторочки мицеллярного раствора не вызывал заметного повышения коэффициента вытеснения нефти.

Величина мицеллярной оторочки влияет не только на количество добытой нефти, но и на темп отбора: при больших оторочках нефтенасыщенность в зоне движения водонефтяного вала несколько выше, что в период подхода вала к линии отбора приводит к увеличению доли

нефти в извлекаемой жидкости и соответственно к уменьшению объема закачки, необходимого для отбора одного и того же количества нефти. Этому способствует также более ранний прорыв водонефтяного вала на выходе из модели. Однако и при этом прирост доли нефти в зоне движения водонефтяного вала и ускорение его прорыва наблюдаются лишь в результате изменения размера оторочки мицеллярного раствора до 1,75% порового объема; дальнейшее увеличение размеров существенно не влияет на показатели процесса вытеснения.

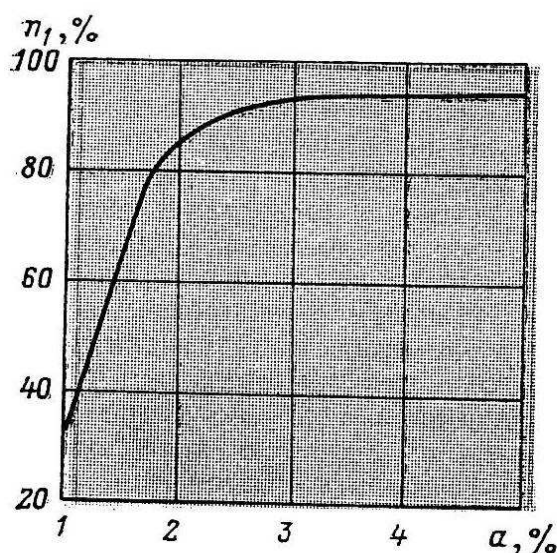


Рис. 3. Зависимость количества нефти, вытесненной до прорыва эмульсии  $n_1$ , от размера оторочки

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Впервые на основе отечественных промышленных продуктов получены углеводородные мицеллярные растворы, обеспечивающие высокую эффективность процесса вытеснения остаточной нефти. При этом минимальный размер оторочки мицеллярного раствора, необходимый для полного вытеснения нефти, не извлекаемой при обычном заводнении, не превышает 3-5% объема пор линейного образца. Очевидно, в условиях реальных коллекторов, имеющих большую или меньшую неоднородность и проницаемость на 2-3 порядка ниже проницаемости песка,

использовавшегося при исследовании, а также в присутствии пластовых вод повышенной минерализации приведенные количественные показатели несколько изменятся. Уточнение влияния указанных факторов, а также пластовых температур на показатели вытеснения нефти мицеллярными растворами требует отдельного изучения. Тем не менее, уже сейчас можно утверждать, что применение в широких масштабах мицеллярных растворов (например, аналогичных образцу А) на старых месторождениях позволит повысить «степень извлечения остаточной нефти».

#### Список литературы

1. New method sweeps out oil remaining after waterflood. «Oil and Gas J.», September, 1966, N 12, p. 78.
2. Gogarty W. B., Tosch W. C Miscible - type waterflooding: oil recovery - with micellar solution. IPT, December, 1968, p. 1407—1414.
3. Применение мицеллярных растворов для увеличения нефтеотдачи пластов при заводнении. РНТС, сер. «Нефтепромысловое дело». М., ВНИИОЭНГ, 1975. 44 с. Авт.: Д. П. Заб-Тэодин, А. Н. Кацонис, А. В. Старковский, М. П. Арушанов.
4. Gogarty W. B., Meabon A. P., Milton N. W. Mobility control, design for miscible — type waterflood using mi-cellar solutions. IPT, February, 1970, p. 141 — 147.