

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НИЗКОЧАСТОТНОМ ВИБРОВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В НЕФТЕНАСЫЩЕННОМ ОБРАЗЦЕ

Дмитрий Сергеевич Евстигнеев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, младший научный сотрудник, научно-инженерный центр горных машин и геотехнологий, тел. (983)127-88-52, e-mail: dima503@pochta.ru

Борис Феранонтович Симонов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, доктор технических наук, зав. лабораторией силовых электромагнитных импульсных систем, тел. (383)217-01-26, e-mail: simonov_bf@mail.ru

Андрей Владимирович Савченко

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат технических наук, научно-инженерный центр горных машин и геотехнологий, тел. (923)245-75-50, e-mail: sav@eml.ru

Приведены результаты экспериментов по изучению фильтрационных процессов в отдельном геоблоке при низкочастотном виброволновом воздействии. Показано образование капиллярно запертых целиковых зон в гидрофильном пористом образце. Экспериментально установлено, что направленное низкочастотное виброволновое воздействие разрушает целик и увеличивает нефтеотдачу из геоблока.

Ключевые слова: двухфазная фильтрация, геоблок, виброволновое воздействие, целиковые зоны.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO FILTRATION PROCESSES UNDER LOW-FREQUENCY VIBROWAVE ACTION ON OIL- SATURATED SAMPLE

Dmitry S. Evstegneev

Federal State Budget Institution of Science, the Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny Prospect, Junior Research Worker of the Scientific and Engineering Center for Mining Machines and Geotechnologies, tel. (383)335-94-45, e-mail: dima503@pochta.ru

Boris F. Simonov

Federal State Budget Institution of Science, the Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny Prospect, Dr. Tech. Sc., Head of the Power Electromagnetic Pulse Systems Laboratory, tel. (383)217-01-26, e-mail: simonov_bf@mail.ru

Andrei V. Savchenko

Federal State Budget Institution of Science, the Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny Prospect, Cand. Tech. Sc., Head of the Department, Scientific and Engineering Center for Mining Machines and Geotechnologies, tel. (923)245-75-50, e-mail: sav@eml.ru

The results of experiments performed on the stand for studying the filtration processes under low-frequency vibrowave action on the oil-saturated sample are presented. It is established that the appearing pillar zones collapse due to which oil recovery increases.

Key words: filtration processes, vibrowave action, pillar zones, oil recovery.

Современная деятельность нефтяных компаний в России осложнена огромными технологическими проблемами, поскольку 65 % оставшихся к XXI веку российских запасов нефти и газа относятся к категории трудноизвлекаемых [1]. Одним из перспективных методов увеличения нефтеотдачи пластов является вибровоздействие на нефтяные пласты сейсмическими волнами в низкочастотном диапазоне 5–20 Гц, создаваемыми поверхностными или скважинными виброисточниками. Из блочно-иерархической концепции строения геосред, сформулированной М.А. Садовским и развитой В.Н. Опариним [2, 3, 4, 5] следует, что терригенные коллекторы, в нефтяном пласте, расчленены на обособленные объемы (геоблоки) макротрещинами, в которых фильтрация флюида может происходить одновременно как по матрице породы блоков, так и по межблоковым трещинам (рис. 1) [5].

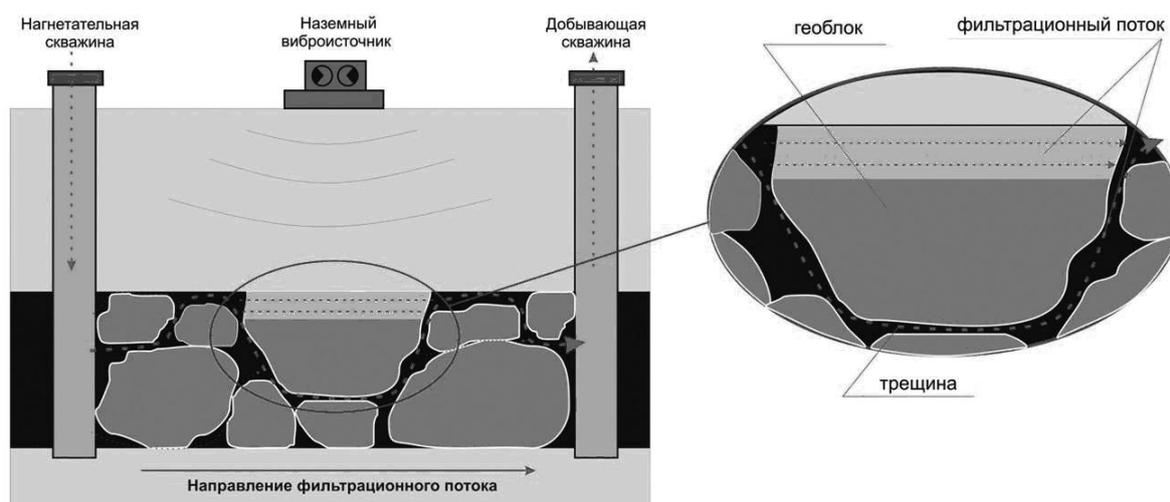


Рис. 1. Схема блочного строения нефтяного пласта

В блочной структуре нефтяного пласта рассмотрим отдельный геоблок прямоугольной формы окружённый по периметру лабиринтной трещиной. Будем предполагать, что по трещине движется преимущественно водная фаза, и, следовательно, давлению в водной фазе противостоит давление в капиллярах на границе геоблок-трещина. Капиллярное давление является функцией от нефтенасыщенности, и оно будет определять размеры целиковой зоны формирующейся в геоблоке после прорыва водной фазы. Эксперименты и расчёты, приведённые в работах [6, 7] показывают, что вытеснение нефти водой из отдель-

ного целика круглой формы приводит к перераспределению нефти в целике, максимальная концентрация которой наблюдается по периметру полуокружности. При этом нефть из целика будет выходить из той области, где разность давлений водной и нефтяной фазы выровняются, т.е. капиллярное давление станет нулевым. Из приведённых рассуждений следует, что целиковая зона будет формироваться в нижней части геоблока вследствие действия капиллярных и гравитационных сил, препятствующих полному вытеснению нефти из матрицы породы.

Направленное низкочастотное виброволновое воздействие целесообразно применять на уже сформировавшийся целик, с целью его разрушения и вовлечения в общий поток. Для того, чтобы сформировать такой целик и определить время начала направленного виброволнового воздействия, – подготовлен гидрофильный пористый образец в форме параллелепипеда, размеры которого 12x10,5x6,3 см, с размещенным в нём вибратором, в качестве которого был использован сейсмодатчик GMT-12.5 (собственная частота колебаний 12,5 Гц). По периметру образца организована лабиринтная трещина по которой движется вода, так как показано на рис. 2.

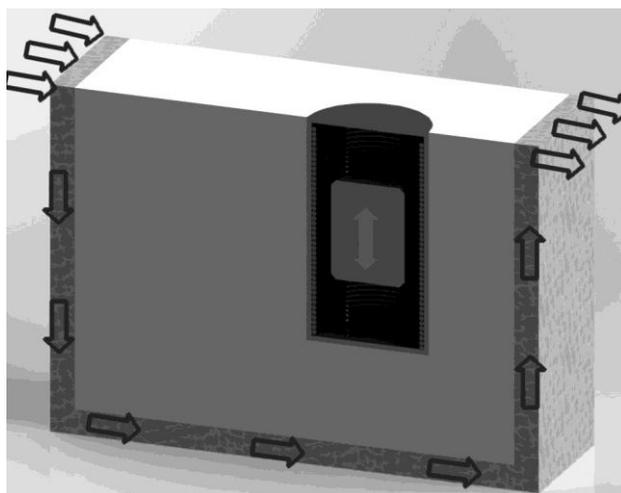


Рис. 2. Схема размещения вибратора внутри геоблока, обтекаемого водой

Пропитанный маслом, недорогим заменителем нефти, пористый образец помещён в специальную камеру, в которой организована лабиринтная трещина. На нагнетательной стороне образца действует гидростатическое давление $P_2=22540$ Па, а на эксплуатационной стороне через штуцер в мерную колбу при атмосферном давлении ($P_1=0$ Па) отбирается весь объём флюидов прошедший как через образец, так и по трещине. Фиксируется время, объём каждой из фаз и по полученным данным строятся графики временной зависимости объёмов флюидов прокаченных через образец, рис. 3.

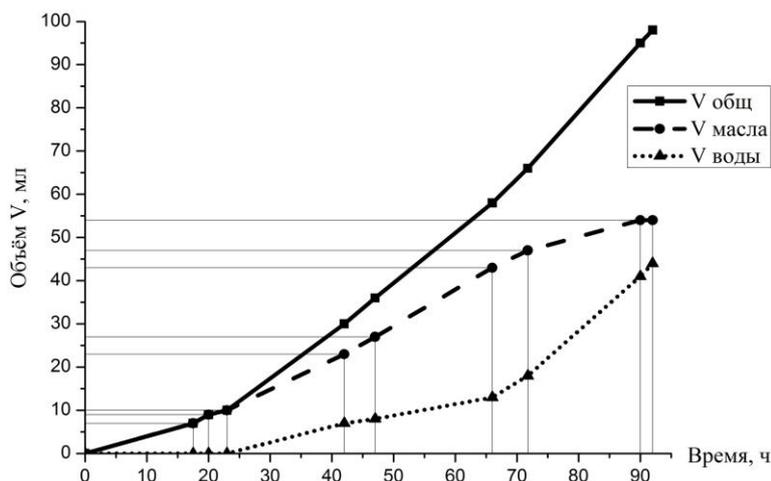


Рис. 3. Графики временной зависимости объемов флюидов прокаченных через образец

Анализируя графики можно сказать, что через 24 часа наблюдается полное вытеснение масла водой из трещины, а начало прорыва водной фазы из образца наблюдается примерно через 70 часов после начала эксперимента. В период времени с 90 по 92 часа прирост масла составил 0 мл, и можно считать, что целик сформировался. Проверить это возможно распилив образец "на сухую" и зафиксировать положение фронта вытеснения воды и размеры целиковой зоны, рис. 4.

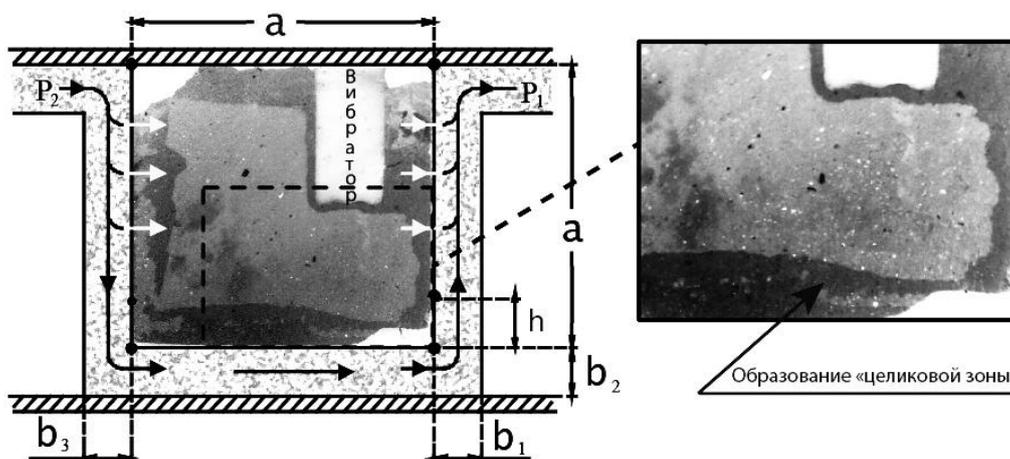


Рис. 4. Схема размещения образца в камере и результат распила после прорыва водной фазы. Светлый фон – водная фаза, темный – масло. (Всего масла в образце 177,45 г, добыто масла из образца 44,65 г, 74,8% масла осталось в образце, $h=11\div 15$ мм)

Сформировавшийся целик не является устойчивым образованием и с течением времени концентрация масла в нём уменьшается, так как сквозь него дви-

жется вода. Контуры целиковой зоны остаются, при этом максимальная концентрация масла, – в нижней части блока вдоль вытесняющего потока. На момент времени 145,5 часов положение целиковой зоны выглядит так как показано на рис. 5.

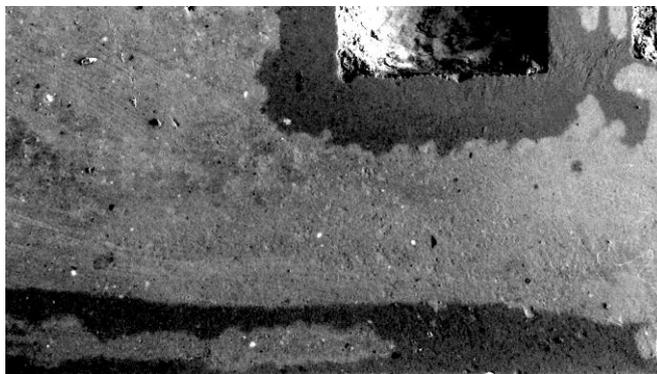


Рис. 5. Результат распила образца после прорыва водной фазы (движение воды слева направо).
Светлый фон – водная фаза, тёмный – масло

Для разрушения целиковой зоны применим низкочастотное виброволновое воздействие с частотой 12,5 Гц направленное поперёк фильтрационного потока. Временной интервал вибровоздействия составил 48,5 часов (с 94,5 по 143 час), рис. 6.

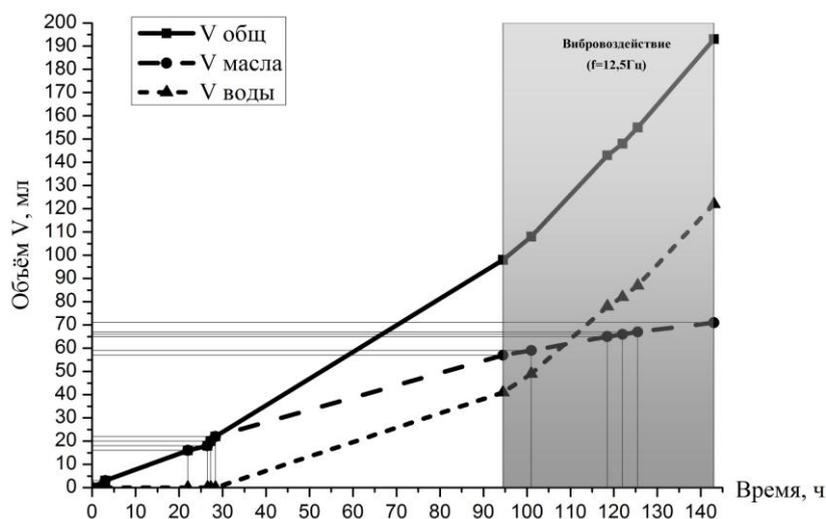


Рис. 6. Графики временной зависимости объемов флюидов прокаченных через образец

Положение фронта вытеснения воды и размеры целиковой зоны определим распилив образец "на сухую", рис. 7.

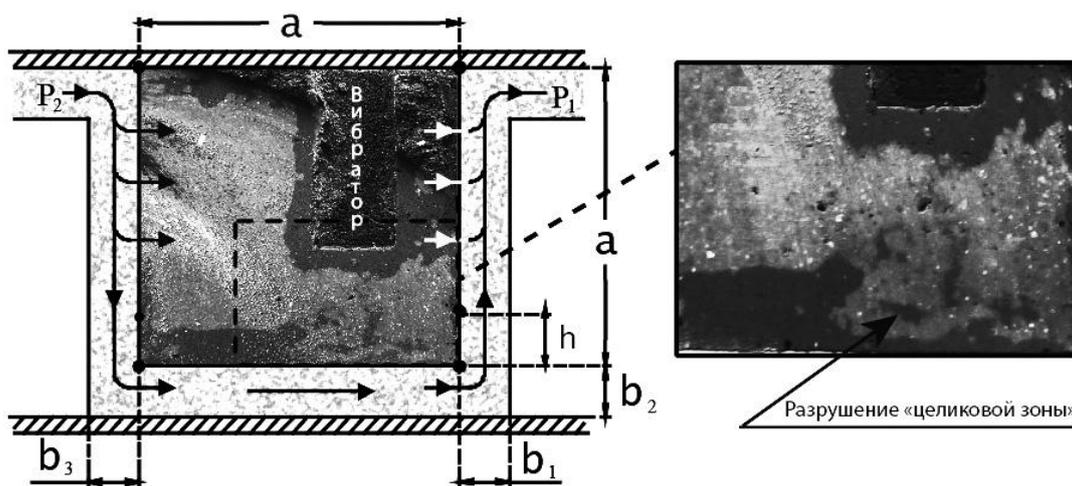


Рис. 7. Схема размещения образца в камере и результат распила после прорыва водной фазы. Светлый фон – водная фаза, тёмный – масло. (Всего масла в образце 180,1 г, добыто масла из образца без вибровоздействия 50,25 г, добыто масла после вибровоздействия 11,5 г, дополнительно добыто масла $(11,5/50,25) \cdot 100 = 23\%$)

Как видно из рис. 7, направленное низкочастотное виброволновое воздействие разрушило целиковую зону, но вместе с тем оно воспрепятствовало продвижению масла из не охваченного виброволновым полем целика, находящегося выше по потоку. В связи с этим проведен эксперимент в котором после прорыва водной фазы начиная с 95 часа по 142 часа было применено направленное низкочастотное виброволновое воздействие на целик, а затем начиная с 142 по 147,5 часа вибровоздействия не проводилось. Образец распилен "на сухую" и положение фронта вытеснения воды, а также размеры целиковой зоны приведены на рис. 8.

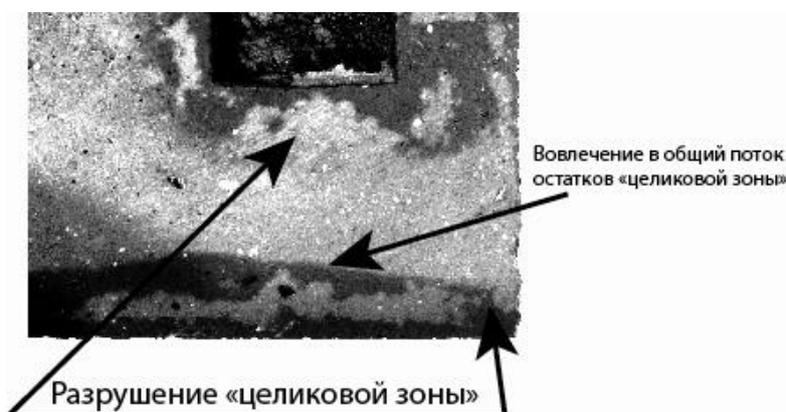


Рис. 8. Результат распила образца после прорыва водной фазы (движение воды слева направо). Светлый фон – водная фаза, тёмный – масло

В этом эксперименте наблюдается эффект последствия, заключающийся в том, что остатки целика, не охваченные направленным виброволновым полем, вовлекаются в общий поток, продолжая увеличивать количество извлеченного масла из образца.

Заключение. Образующиеся в процессе вытеснения водой нефти из геоблоков целики со временем уменьшаются в размерах и частично вовлекаются в поток. Целиковые зоны не являются устойчивыми образованиями, а направленное низкочастотное виброволновое воздействие способствует их наискорейшему разрушению и вовлечению в общий фильтрационный поток. Вибровоздействие может воспрепятствовать продвижению нефти из целика, не охваченного виброволновым полем, находящегося выше по потоку. Однако после прекращения вибровоздействия, под действием приложенного градиента давления, не охваченная направленным виброволновым полем часть целика продолжает разрушаться, увеличивая количество извлеченной нефти из геоблока. В дальнейшей работе будут измерены амплитуды и частоты, при которых наблюдалось разрушение целиковой зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 15-05-08824а и № 14-05-31395-мол_а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа. – Москва–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ин-т комп. исследований, 2010. 692 с.
2. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы. // ДАН СССР. Т. 247, №4. 1979. С. 829-833.
3. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г. Писаренко В.Ф. О свойстве дискретности горных пород. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. № 12. 1982. – С. 3-19.
4. Опарин В.Н., Юшкин В.Ф., Акинин А.А., Балмашнова Е.Г. О новой шкале структурно-иерархических представлений как паспортной характеристике объектов геосреды // ФТПРПИ, ИГД СО РАН. № 5. 1998. – С. 16-33.
5. Геомеханические и технические основы увеличения нефтеотдачи пластов в виброволновых технологиях / Опарин В.Н., Симонов Б.Ф., Юшкин В.Ф. [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2010. 404 с.
6. Данаев Н.Т., Корсакова Н.К., Пеньковский В.И. Массоперенос в прискважинной зоне и электромагнитный каротаж пластов. – Алма-Ата, Казахский ун-т, 2005. 180 с.
7. Пеньковский В.И., Корсакова Н.К., Симонов Б.Ф., Савченко А.В. Остаточные нефтенасыщенные зоны продуктивных пластов и способы воздействия на них с целью вовлечения в разработку. // ФТРПИ, ИГД СО РАН. №5. 2012. – С. 41-45.

© Д. С. Евстигнеев, Б. Ф. Симонов, А. В. Савченко, 2016