

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМОВ ДОБЫВАЕМОГО ПЕСКА СОВМЕСТНО С НЕФТЬЮ НА РАБОЧУЮ ДЕПРЕССИЮ

УДК 622.276.66

EFFECTS OF SAND PRODUCED WITH OIL ON PRESSURE DROP

Айткулов А.У., Ажиханов Н.Т.,
Турымбетов Т.А., Жолбасарова А.Т.

Каспийский государственный
университет технологии и
инжиниринга им. Ш. Есенова,
г. Актау, Республика Казахстан

A.U. Aytkulov, N.T. Azhikhanov,
T.A. Turymbetov, A.T. Zholbasarova
Esenov Caspian State Universities of
Technologies and Engineering, Aktau,
Republic of Kazakhstan

На основе фактических данных эксплуатации нефтяных месторождений с высоковязкой нефтью выполнен анализ состояния добычи нефти, результаты свидетельствовали о том, что вместе с добываемой продукцией извлекается достаточное количество песка, из-за разрушения скелета горной породы в районе призабойной зоны скважины.

Показано, что это приводит к возникновению различных осложнений, нарушающих технологические режимы работы как наземного, так и подземного оборудования и способствует снижению объемов добываемой нефти.

Установлена математическая модель, позволяющая установить оптимальную величину рабочей депрессии (энергии) пласта в призабойной зоне скважины с целью предотвращения разрушения скелета горной породы.

Рекомендовано для добычи минимального объема песка рабочую депрессию поддерживать на уровне призабойной зоны скважины.

On the basis of high viscosity oilfields operation records we have performed an oil crude production analysis the results of which showed that a considerable amount of sand is extracted together with produced oil due to destruction of the rock matrix in the bottom-bore area.

It is demonstrated that this leads to interrupting the surface and subsurface equipment operating practices and reducing oil production volumes.

A mathematical model for calculating the optimal value of pressure drop in the bottom-bore area is established to prevent the destruction of rock matrix.

It is recommended that pressure drop be maintained at bottom-bore area level.

Ключевые слова: месторождение, породы, коллекторы, песок, разрушение, дебит, скважина, нефть, пласт, жидкость.

Keywords: oil field, reservoir-rocks, sand, attack, output, well, oil, shelf, fluid.

Анализ фактических технологических показателей при эксплуатации месторождений углеводородов, имеющих высоковязкие нефти, со сложным составом [1,2,3,4,5,6] показал, что при фильтрации флюидов по продуктивным коллекторам во время процесса добычи возникают различные трудности, которые препятствуют эффективному вытеснению нефти из пласта горной породы. К таким осложняющим как геологическим, так и технологическим факторам относятся: многослойные, с различными фильтрационными параметрами пласты, макро- и микро неоднородные, со сложнопостроенными структурами продуктивные пласты и пропластки, слоистонеоднородные разрезы продуктивных толщ, сложная структура флюидов характеризующая состав нефти различными химическими соединениями (асфальтенов, парафинов и смол) в пластовых условиях, закупоривание перфорационных отверстий различными твердыми фазами, выделившимися из состава нефти в районе призабойной зоны скважины, многофазность фильтрационных потоков в многоинтервальных зонах, как по толщине, так и по площади залежи, высокая вязкость нефти, расчлененность разрезов по толщине и площади и т.д.

Указанные факторы, в основном, приводят к уменьшению продуктивности пласта и нарушению

технологического режима работы подземного и наземного оборудования соответственно скважин и промысла. В связи с этим, для улучшения состояния фильтрации флюидов в пластовых условиях и увеличения объемов добычи продукции применяются различные методы, а именно: дополнительные перфорации продуктивных пластов, множество физико-химических обработок призабойной зоны скважины, гидроразрыв пласта, вибро-волновые воздействия, увеличение или оптимальное управление пластовыми и забойными давлениями, как в нагнетательных, так и в добывающих скважинах, обработка забоя скважины жидкостями с повышенными температурами, создание горизонтального ствола для скважины, вскрывающей низкопродуктивные микро и макро неоднородные пласты и т.д. Указанные технологические методы позволили несколько улучшить процесс вытеснения нефти водой и различными жидкостями из пластов-коллекторов [1,2,3,4]. Тем не менее, в связи с открытием и вступлением в эксплуатацию нефтяных месторождений с высоковязкими продукциями, актуальным, в настоящее время, является слабосцементированность скелета горной породы в районе призабойной зоны пласта. Этот фактор был обнаружен в ходе выполнения первичных гидродинамических исследований и поисково-геолого-геофизических работ в продуктивных отложениях углеводородов из незначительных глубин недр. Результаты этих работ показали то, что продуктивные пласты из небольших глубин имеют высоковязкие нефти. Коллекторы из указанных глубин, в основном, обладают неустойчивыми рых-

лыми горными породами. Практика эксплуатации указанных продуктивных пластов и залежей, во время добычи жидкости из их коллекторов свидетельствовала о том, что призабойная зона скважины подвергается значительным, по величине и направлениям, нагрузкам и напряжениям, которые приводят к отрыванию частиц горной породы от основного массива в районе забоя скважины. При этом этот процесс начинается с самого начала вступления скважины в эксплуатацию [5,6].

Проблемы неустойчивости коллекторов и разрушение призабойной зоны скелета продуктивного пласта, как показывают лабораторные и промышленные исследования, связаны с возникновением дополнительных сил, которые отличаются от пластовых, и приводят к отрыванию отдельных песчинок от основных массивов породы. Как показали многочисленные лабораторные и промышленные эксперименты, в достаточно сцементированных песчаниках механизм разрушения скелета горной породы в районе призабойной зоны скважины происходит путем скалывания отдельных кусочков песчаника с поверхности перфорированного отверстия и их последующий вынос на поверхность [5].

Среди указанных факторов наиболее проблематичным является недостаточная уплотненность горных пород в призабойной зоне пласта в сочетании с высокой вязкостью добываемой нефти. Указанные факторы способствуют разрушению скелета горной породы в призабойной зоне пласта. Твердые фазы, т.е. пески, которые отрываются от основных твердых скелетов породы-коллектора, накапливаются на забое скважины, или часть из них добывается с нефтью (жидкостью) и откладывается на промышленном оборудовании, осложняя и нарушая, тем самым, оптимальный технологический режим его работы.

При эксплуатации продуктивных пластов нефтяных залежей со слабосцементированными коллекторами или с рыхлыми песками, очень часто возникают различные, осложняющие добычу флюидов процессы, которые приводят к снижению объемов добываемой нефти. Одним из них, является разрушение скелета горной породы, насыщенного высоковязкими и тяжелыми нефтями [6]. Этот процесс способствует появлению в составе добываемой нефти твердой фазы, т.е. песка, большинство которого откладывается в призабойной зоне пласта и снижает дебит скважины. В этих условиях, одним из наиболее часто используемых методов для ограничения количества, добываемого вместе с нефтью песка, (твердой фазы) является установка в призабойной зоне скважины фильтров различных конструкций. Как показывают результаты эксплуатации скважин с противопесочными фильтрами, установленными на их забоях, они на достаточно высоком уровне удерживают твердые фазы и снижают их количество при

добыче нефти. Однако, со временем, их приходится менять на новые фильтры или проводить ремонтные работы по очистке фильтров от некоторого количества песка, т.е. производить противокольматационные работы. Эти ремонтные работы направленные на восстановление продуктивности добывающих скважин связаны со значительными затратами финансовых средств. Другим способом, позволяющим удерживаться твердым фазам коллектора в скелете горной породы, является установление оптимальной величины энергии пласта (рабочей депрессии). Для этого необходимо произвести процесс моделирования изменения энергии пласта (рабочей депрессии пласта) при различных величинах гидродинамических параметров в призабойной зоне скважин.

Для процесса моделирования используем следующую расчетную схему. Примем, что частица песка, т.е. твердая фаза находится в фильтрационном канале в месте выхода его в ствол скважины. На частицу песка действуют две силы. Одна из них – сила потока флюидов, которая стремится переместить частицу по направлению движения потока жидкости; вторая – сила трения Кулона, препятствует перемещению частицы. Сила сцепления частицы песка с массивом породы в расчет не принимается. Условием равновесного состояния, т.е. покоя частицы песка и сохранности призабойной зоны скважины будет равенство сил.

$$F_n = F_{mp}, \quad (1)$$

где F_n – сила потока флюида, воздействующая на частицу песка; F_{mp} – сила трения. Согласно работе [7] указанные силы можно определить по следующим, взаимно связанным параметрам:

$$F_n = C \cdot A \cdot \rho_{фл} \cdot \vartheta^2; \quad F_{mp} = V_c \cdot (\rho_c - \rho_{фл}) \cdot g \cdot K_{mp}, \quad (2)$$

где C – коэффициент, значение которого зависит от формы частицы твердой фазы (песка); A – площадь сечения частицы в плоскости, перпендикулярной направлению потока; ρ_c и $\rho_{фл}$ – соответственно плотности материала частиц и флюида; ϑ – скорость течения флюида в зоне фильтра, т.е. на забое скважины; V_c – объем частицы, который находится в зоне фильтра, т.е. на забое скважины; g – ускорение свободного падения; K_{mp} – коэффициент трения.

Если предположить то, что в районе забоя скважины способность коллектора пропускать через себя жидкость достаточно высокая, даже при наличии фильтра, то скорость течения флюида, с учетом радиальной фильтрации (круговой пласт), имеет вид [8]:

$$\vartheta = \frac{K \cdot \Delta P}{\mu \cdot r \cdot \ln \frac{R_k}{r_c}}, \quad (3)$$

K и μ – соответственно коэффициент проницаемости коллектора в призабойной зоне пласта и дина-

мическая вязкость флюида; ΔP и r – соответственно рабочая депрессия равная разности давлений на контуре кругового пласта и забое скважины, т.е. $\Delta P = P_k - P_c$ пласта в районе призабойной зоны скважины; R_k и R_c – соответственно радиусы контура питания кругового пласта и скважины с учетом несовершенства как по характеру, так и степени ее вскрытия. На основании формул (1), (2) и (3) определяем максимальное значение рабочей депрессии, при котором будет отсутствовать вынос песка из пласта:

$$\Delta P_m = \mu \cdot \ln \frac{R_k}{r_c} \cdot \left(\frac{r}{K}\right) \cdot \sqrt{\frac{V_c(\rho_n - \rho_{фл})g \cdot K_{мп}}{C \cdot A \cdot \rho_{фл}}}, \quad (4)$$

Условие неподвижности частиц песка в месте выхода фильтрационного канала в скважине, для предлагаемой схемы равновесия сил, выражается равенством: $\Delta P < \Delta P_m$.

Если скважина эксплуатируется без проявления твердой фазы, т.е. песка, то равенства (2) примут вид:

$$F_n = A \cdot \rho_{фл} \cdot \vartheta^2; \quad F_{мп} = V_c \cdot \rho_{фл} \cdot g \cdot K_{мп}; \quad (5)$$

Тогда рабочая депрессия $\Delta P_m^{\delta, n}$, при которой будет происходить установившаяся фильтрация добываемого флюида без появления твердой фазы, с учетом равенства указанных сил, определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_m^{\delta, n} = \mu \cdot \ln \frac{R_k}{r_c} \cdot \left(\frac{r}{K}\right) \cdot \sqrt{\frac{V_{фл} \cdot g \cdot K_{мп}}{A}} \quad (6)$$

Для оценки изменения исследуемого параметра ΔP_m по сравнению с условием (6), установим соотношение полученных зависимостей (4) и (6), которое примет вид:

$$\overline{\Delta P}_m = \frac{\Delta P_m}{\Delta P_m^{\delta, n}} = \frac{r}{r_c} \sqrt{\frac{V_r}{V_{фл}} \cdot \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{фл}} - 1\right)} \quad (7)$$

Согласно полученному соотношению (7) построен график, характеризующий изменения зави-

симости рабочих депрессий $\overline{\Delta P}_m$ и объемов добываемых жидкостей $\bar{V} = \frac{V_r}{V_{фл}}$ (рисунок 1).

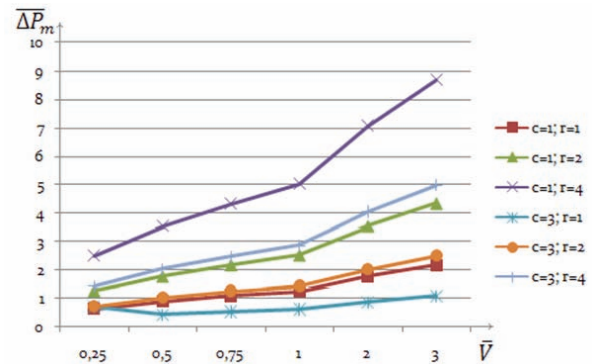


Рисунок 1. Зависимость изменения соотношений $\overline{\Delta P}_m$ от \bar{V}

Из полученной зависимости следует то, что увеличение добываемой жидкости из скважины приводит к росту рабочей депрессии в призабойной зоне пласта и этот процесс зависит от формы и шероховатости поверхности твердой фазы.

Выводы

Результаты исследования показали, что с увеличением параметра максимальная рабочая депрессия, при которой не будет добыто твердой фазы, т.е. песка из забоя скважины, растет по сравнению с соответствующей рабочей депрессией без появления песка. При этом характер изменения исследуемого параметра, в основном, зависит от коэффициента, зависящего от формы частицы и соотношений радиусов, где начинается изменение величин пластовых давлений. Как видно из графика для добычи минимального объема песка рабочую депрессию необходимо поддерживать на уровне рабочей депрессии в районе забоя скважины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теория и практика выбора объектов для разработки горизонтальными скважинами и основные итоги их эксплуатации на месторождении Башкортостана / Асмоловский В.С. и др. //Разработка нефтяных и нефтегазовых месторождений. Состояние, проблемы и пути их решения: материалы совещ., г. Альметьевск, сент. 1995. М.: ВНИИОЭНГ, 1996. С. 278-291.
2. Методы извлечения остаточной нефти/ Сургучев М.Л. и др. М.: Недра, 1991. 347 с.
3. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2000. 653 с.: ил.
4. Мерзляков В.Ф. Обоснование и совершенствование технологий разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. М.: ООО «Недра- Бизнесцентр», 2000. 267 с.
5. Зотов Г.А., Динков А.В., Черных В.А. Эксплуатация скважин в неустойчивых коллекторах. М.: Недра, 1987. 172 с. ил.
6. Айткулов А.У. Повышение эффективности процесса регулирования разработки нефтяных месторождений. М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2000. 272 с.
7. Мардонов Б.М., Културсинов Ж., Рахматов Р. К оценке продуктивности пластов с неустойчивыми коллекторами и пескопроявлениями в призабойной зоне скважин. г. Атырау//Вестник Атырауского ин-та нефти и газа (АИНГ). 2003. № 3-4.С.130-134.
8. Айткулов А.У. Основы подземной гидромеханики и разработки нефтяных месторождений. Алматы, 2003. 332 с.

REFERENCES

1. Teoriya i praktika vybora ob'ektov dlya razrabotki gorizonta'nyimi skvazhinami i osnovnye itogi ih ekspluatatsii na mestorozhdenii Bashkortostana /Asmolovskii V.S. i dr. //Razrabotka neftyanyh i neftegazovyh mestorozhdenii. Sostoyanie, problemy i puti ih resheniya: materialy sovesh., g. Al'met'evsk, sent. 1995. M.: VNIIOENG, 1996. S. 278-291. [in russian].
2. Metody izvlecheniya ostatochnoi nefti/ Surguchev M.L. i dr. M.: Nedra, 1991. 347 s. [in russian].

3. Persiyancev M.N. Dobycha nefiti v oslozhnennykh usloviyakh. M.: OOO «Nedra-Biznescentr». 2000. 653 s.: il. [in russian].

4. Merzlyakov V.F. Obosnovanie i sovershenstvovanie tehnologii razrabotki mestorozhdenii s trudnoizvlekaemyimi zapasami. M.: OOO «Nedra-Biznescentr», 2000. 267 s. [in russian].

5. Zotov G.A., Dinkov A.V., Chernyh V.A. Ekspluatatsiya skvazhin v neustoichivyykh kollektorakh. M.: Nedra, 1987. 172 s. il. [in russian].

6. Aitkulov A.U. Povyshenie effektivnosti processa regulirovaniya razrabotki nefityanykh mestorozhdenii. M.: OAO VNHOENG, 2000. 272 s. [in russian].

7. Mardonov B.M., Kultursynov Zh., Rahmatov R. K ocenke produktivnosti plastov s neustoichivymi kollektorami i peskoproyavleniyami v prizaboynoi zone skvazhin. g. Atyrau//Vestnik Atyrauskogo in-ta nefiti i gaza (AING). 2003. № 3-4.S.130-134. [in russian].

8. Aitkulov A.U. Osnovy podzemnoi gidromekhaniki i razrabotki nefityanykh mestorozhdenii. Almaty, 2003. 332 s. [in russian].

Айтқұлов А. У., д-р техн. наук, чл- корр. Национальной инж. акад. Республики Казахстан, профессор кафедры «Нефтегазовое дело и геология». Каспийский государственный ун-т технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан
A.U. Aitkulov, D. Eng., Associate Member of National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Professor of Petroleum Engineering and Geology Chair, Esenov Caspian State University of Technologies and Engineering, Aktau, Republic of Kazakhstan

Ажиханов Н. Т., д-р техн. наук, проф. Каспийского государственного университета технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан

Azhikhanov N.T., D.Eng., Professor of Esenov Caspian State University of Technologies and Engineering, Aktau, Republic of Kazakhstan

Турымбетов Т. А., канд. техн. наук, доц. Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан
T.A. Turymbetov, Candidate of Engineering, Assistant Professor of Esenov Caspian State University of Technologies and Engineering, Aktau, Republic of Kazakhstan

Жолбасарова А.Т., канд. техн. наук, доцент кафедры «Нефтегазовое дело и геология». Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан
A.T. Zholbasarova, Candidate of Engineering, Assistant Professor of Petroleum Engineering and Geology Chair, Esenov Caspian State University of Technologies and Engineering, Aktau, Republic of Kazakhstan