

# Освоение скважин методом инфрочастотно-волнового воздействия на призабойную зону пласта

**П.И. Кононенко**

к.э.н., учредитель компании<sup>1</sup>

**К.К. Квитчук**

заместитель генерального по технологии<sup>1</sup>

**В.Ф. Калинин**

д.г.-м.н., заместитель генерального директора по науке<sup>1</sup>

**В.П. Климашин**

к.г.-м.н., гл.геолог<sup>2</sup>

**Н.Д. Лихой**

к.г.-м.н., гл.геолог<sup>3</sup>

**Н.Н. Бурмистров**

начальник<sup>4</sup>

**Ю.Х. Шахбазов**

гл.инженер<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Ренфорс», Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «ГеоПромнефть», Саратов, Россия

<sup>3</sup>ООО «НК Проспект», Саратов, Россия

<sup>4</sup>ООО «Апертура», Саратов, Россия

**Метод виброобработки призабойной зоны пласта (ПЗП) предназначен для восстановления и увеличения естественной проницаемости породы — коллектора в призабойной зоне пласта, способствуя, особенно в сочетании с другими методами (химическими) интенсификации притоков нефти и газа, многократному повышению производительности и приемистости скважин, весьма значительному сокращению затрат времени и средств на их освоение.**

**Ключевые слова**

виброобработка призабойной зоны, пласт, химия, нефть, газ, производительность, сокращение времени

Механизм вибровоздействия на ПЗП состоит в формировании в ПЗП больших перепадов давления на забое скважины фронта отраженных волн, интерференция которых приводит в результате резонансных явлений к возникновению в ПЗП мощных гидравлических ударов, вызывающих микрогидро-разрывы пласта, образование в нем сети микротрещин [1–5] и др.

Влияние виброобработки пласта является многообразно, поскольку гидродинамические волны одновременно воздействуют как на породу пласта, так и на насыщающие пласт флюиды, что приводит:

- в колебательное движение частицы породы-коллектора, их смещение и, в конечном счете, к разуплотнению и разрыхлению породы и кольтманта, переводу его в подвижное состояние и выносу его из призабойной части продуктивного пласта;
- к изменению реологических свойств пластовых жидкостей, увеличению их подвижности;
- к снижению гидравлических сопротивлений в прискважинной зоне пласта при закачке специальных технологических жидкостей в пласт (кислотных растворов, поверхностно-активных веществ и др. реагентов);
- к интенсификации процессов разрушения водонефтяных эмульсий и других смесей;
- к замедлению процессов парафинизации, солеотложений и других негативных явлений в скважине и пласте.

Отличительной особенностью метода виброобработки ПЗП по сравнению с другими методами (ГРП, кислотные обработки и др.) является то, что с помощью гидродинамических генераторов возможно генерировать и передавать в глубь пласта на значительное расстояние без массопереноса достаточно высокие градиенты давления, необходимые для приведения в движение «целиков нефти» в застойных зонах, а также снижения вязкости нефти при разработке месторождений с высоковязкой нефтью.

Критическое значение величины вязкости жидкости в ПЗП, обуславливающее ее подвижность, определяется величиной амплитуды и частоты колебаний при виброобработке:

- с увеличением амплитуды и частоты колебаний вязкость жидкости снижается, в частности, глинистого раствора — на 45%;
- снижение вязкости жидкости до критического постоянного значения происходит плавно в течение непродолжительного времени вибровоздействия, составляющего  $T=45-75$  сек.

Метод вибровоздействия на ПЗП как разновидность физических методов обработки скважин более эффективен, по крайней мере, на 20–25%, по сравнению, механическими методами восстановления естественной проницаемости ПЗП, основанными на

создании высоких многократных депрессий на пласт.

Результаты опытно-промышленных работ по виброкислотной обработке ПЗП (85 обработок) на месторождениях Азнефть [7] также свидетельствуют о весьма высокой успешности их проведения, достигающей 77,0–91,5%, что в 1,5–2,0 раза превышает успешность проведения гидрокислотной обработки разрыва и кислотной обработки пласта.

Преимуществом нагнетательных скважин после виброкислотных обработок также увеличивается более чем в 1,5 раза по сравнению с обычными кислотными обработками.

Длительность эффекта после виброкислотной обработки также выше по сравнению с обычными кислотными обработками [2].

Характерно, что производительность скважин после виброкислотной обработки карбонатного пласта возрастает от 3 до 48 м<sup>3</sup>/сут., в то время как при обычной кислотной обработке карбонатного пласта в тех же условиях производительность скважин возрастает лишь от 3 до 12 м<sup>3</sup>/сут., что в 4 раза ниже по сравнению с виброкислотной обработкой пласта [2].

Виброобработка ПЗП осуществляется с помощью генератора волн давления гидродинамического типа (вибратора), спускаемого на забой скважины на колонне насосно-компрессорных труб (НКТ), преобразующего часть энергии потока жидкости, закачиваемой в скважину насосными агрегатами, в гидродинамические волны давления широкого спектра частот и амплитуд, распространяющихся в глубь пласта на достаточно большое расстояние.

На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено [1–8 и др.], что между геолого-физической характеристикой пласта и режимом вибровоздействия существуют определенные закономерности, предопределяющие эффективность процесса при его реализации.

В частности, при создании высокочастотных колебаний возмущения, обусловленные ими, резко убывают по мере удаления от источника создания волн и уже на расстоянии одного метра от него интенсивность их крайне невелика [8].

В отличие от этого низкочастотные волны распространяются на гораздо большие расстояния (на несколько километров).

В соответствии с этим выбирается оптимальный режим виброобработки, при котором волны будут преимущественно воздействовать или на призабойную зону, или на отдаленные участки пласта, либо на то и другое одновременно.

Характерно, что источник низкочастотных колебаний можно располагать как на забое скважины, так и на устье скважины.

При определенном режиме виброобработки может:

- существенно снизиться вязкость

- закачиваемой воды в пласт;
- резко измениться процесс транспортировки механических макро- и микрочастиц, содержащихся в закачиваемой воде (частицы, характерный размер которых в 1,6–3,3 раза меньше поперечного сечения поровых каналов, теряют способность застревать в них);
- снизиться до минимума влияние адгезионных сил, стесненность потока и др.;
- возрасти коэффициент приемистости пласта.

В результате попавшие в ПЗП механические частицы под действием вибровоздействия отесняются в глубь пласта на достаточно большое расстояние на 1,5–2,0 м и более, где происходит их рассеивание с резким уменьшением при этом их массовой концентрации по обратно квадратичной зависимости.

Вследствие этого кольматационное влияние их на приемистость скважины существенной роли не играет, и поэтому фильтрационная характеристика ПЗП при этом сохраняется достаточно высокой.

Поскольку энергия акустических (гидродинамических) волн при виброобработке, в конечном счете, превращается в тепло, то виброобработка пласта сопровождается в определенной мере и тепловым воздействием на него, также способствующим улучшению гидропроводности пласта.

При этом интенсивность колебаний в пласте определяется амплитудой колебания давления в пласте  $\Delta P$ , величина которой на расстоянии  $r$  от оси скважины составляет [4–6].

$$\Delta P = \Delta P_c \left( \frac{r_c}{r} \right)^{1/2} \quad (1)$$

где  $r_c$  и  $r$  — соответственно радиус скважины и расстояние от оси скважины до точки, в которой

определяется величина амплитуды  $\Delta P$ ;  $\Delta P_c$  — амплитуда давления (величина репрессии, депрессии на пласт) на стенке скважины.

При этом амплитуда колебаний давления на внешней границе зоны пониженной проницаемости, обеспечивающая эффективное разуплотнение породы с повышением ее проницаемости, должна удовлетворять условию [4–6].

$$\Delta P > H \rho_n \omega^2 \delta \quad (2)$$

где  $H$  — глубина залегания массива породы до кровли пласта;

$\rho_n$  — средняя плотность пород массива;

$\omega$  — частота колебаний;

$\delta$  — средневзвешенный размер зерен породы.

Величина амплитуды давления (репрессии, депрессии) на стенке скважины  $\Delta P_c$  в соответствии с условиями (1) и (2) определится из выражения

$$\Delta P_c > H \rho_n \omega^2 \delta \left( \frac{r}{r_c} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Расчеты по формуле (3) показывают, что при заданных значениях плотности породы  $\rho_n = 2,5 \text{ г/см}^3$ , средневзвешенном размере зерен породы — коллектора пласта  $\delta = 0,1 \text{ мм}$ , глубине залегания продуктивного пласта  $H = 2000 \text{ м}$ , радиусе скважины  $r_c = 0,1 \text{ м}$  и радиусе внешней границы зоны пониженной проницаемости  $r = 0,5 \text{ м}$  режимные параметры виброобработки ПЗП, т.е. сочетание величины гидравлического удара (репрессии, депрессии) на пласт и частоты их передачи на пласт, обеспечивающие разуплотнение кольматанта в ПЗП, составляют соответственно: величина гидравлического удара  $\Delta P_c = 6–8 \text{ МПа}$  при частоте гидравлических ударов  $\omega = 50 \text{ Гц}$ .

Соответственно при глубине залегания пласта  $H = 1000 \text{ м}$  амплитуда колебаний (величина гидравлического удара), необходимая для разуплотнения кольматанта в ПЗП, снижается до  $\Delta P_c = 3–4 \text{ МПа}$ , т.е. практически в 2 раза при частоте гидравлических ударов  $\omega = 50 \text{ Гц}$  и неизменных остальных параметрах пласта.

Выбор оптимального режима виброобработки пласта из условия максимальной глубины обработки ПЗП производится по формуле (2)

$$X = \sqrt{\frac{k}{m \mu \beta_{ж} f}} \quad (4)$$

где  $k$  — проницаемость пласта;

$m$  — пористость пласта;

$\mu, \beta_{ж}$  — соответственно вязкость и сжимаемость жидкости, закачиваемой в пласт при виброобработке пласта;

$f$  — частота передачи гидравлических ударов на пласт;

$X$  — глубина виброобработки пласта с заметным изменением его фильтрационной характеристики.

Расчеты по формуле (4) показывают, что при  $k = 1 \text{ мкм}^2$ , пористости  $m = 0,15$ , вязкости рабочей жидкости  $\mu = 2 \text{ МПа сек}$  и сжимаемости рабочей жидкости  $\beta_{ж} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/МПа}$  и частоте работы вибратора  $f = (50–10) \text{ Гц}$ , глубина обработки пласта соответственно достигает  $X = 0,816–0,365 \text{ м}$ .

С целью повышения эффективности стимулирования притоков нефти и газа из пласта предусматривается в процессе проведения операции варьирование величины амплитуды и частоты колебаний давления в скважине, чтобы избежать приспособляемость породы к колебательному воздействию.

Для осуществления инфрочастотного волнового воздействия на ПЗП с целью интенсификации притоков нефти и газа при

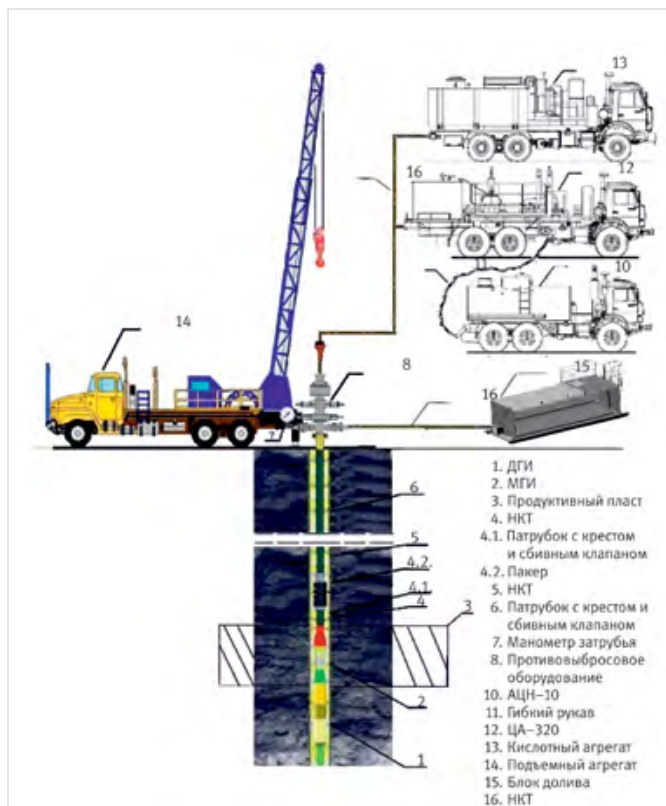


Рис. 1 — Схема обвязки устья скважин для проведения ОПЗ кислотным раствором с применением оборудования ЗАО «Ренфорс»

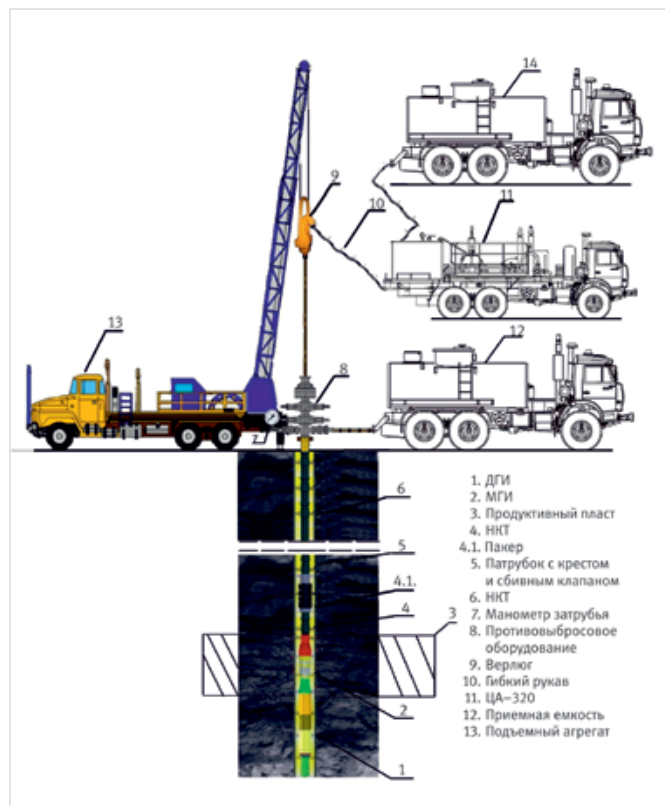


Рис. 2 — Схема обвязки устья при гидромониторной очистке перфоотверстий с использованием оборудования ЗАО «Ренфорс»

освоении скважин используется комплекс оборудования «Импульс RF», разработанный в ЗАО «Ренфорс».

Комплекс оборудования «Импульс RF» представлен:

- наземным оборудованием типа импульсно-волнового депрессатора (ИВД), устанавливаемым на поверхности на устье скважины (рис. 1–2);
- подземным оборудованием для виброкислотной обработки пласта и для импульсной гидромониторной плоско-веерной очистки перфорационных отверстий типа МГИ (мультипликатор гидравлических импульсов), спускаемым на колонне НКТ на забой скважины в интервал перфорации продуктивного пласта;
- модулем типа ДГИ (депрессатор гидравлических импульсов), входящим в комплект подземного оборудования для вибровоздействия на ПЗП и предназначенным для извлечения кольматанта и продуктов реакции из пласта после кислотной обработки ПЗП.

Технологические процессы инфрачастотного вибровоздействия на ПЗП могут осуществляться с использованием отдельных устройств комплекса «Импульс RF» без подъема скважинного оборудования и привлечения бригад капитального ремонта скважин.

Опыт работ по повышению продуктивности скважин на месторождениях Западной Сибири и Саратовского Поволжья показал, что за счет применения оборудования для импульсной гидромониторной очистки перфорационных отверстий и последующей виброкислотной обработки ПЗП производительность скважин возрастает в 2–3 раза и более.

В частности, производительность скважины №237 Ново-Покурской площади после проведения работ по интенсификации притоков нефти и газа по технологии ЗАО «Ренфорс» возросла в 3,44 раза.

При этом на первом этапе была проведена операция по гидромониторной очистке перфорационных отверстий (ГМО) в импульсном режиме спецжидкостью на кислотной основе с помощью спущенного на колонне НКТ забойного устройства типа МГИ с генерацией плоских веерных струй в интервале перфорации пласта.

Очистка перфорационных отверстий прокачиваемой по колонне НКТ спецжидкостью осуществлялась при этом путем перемещения МГИ с определенной скоростью (5 см/сек) в интервале перфорации пласта от нижних отверстий к верхним, т.е. снизу вверх и обратно в течение 5 циклов.

В результате ГМО происходит форсированный вымыв кольматанта из перфорационных каналов и восстановление их пропускной способности, нарушенной в процессе кумулятивной перфорации пласта вследствие металлизации, кольматации и уплотнения породы на внутренней поверхности перфорационных каналов и в процессе последующих работ, связанных с накоплением кольматанта в перфорационных каналах и ПЗП при эксплуатации скважины.

На втором этапе была проведена виброкислотная обработка пласта с применением МГИ.

И на третьем этапе была проведена операция по форсированному извлечению продуктов реакции из пласта методом

свабирования в импульсном режиме с применением при этом депрессатора гидравлических импульсов.

Аналогичные работы по интенсификации притоков нефти и газа были проведены по скважине №1 Саратовской площади, в которой:

- на первом этапе была проведена операция по гидромониторной очистке перфорационных отверстий спецжидкостью на кислотной основе в импульсном режиме с помощью забойного устройства типа МГИ;
- на втором этапе была проведена последующая виброкислотная обработка малевских карбонатных отложений с закачкой в пласт специального кислотного раствора;
- и на третьем этапе осуществлено форсированное извлечение продуктов реакции из пласта в импульсном режиме с помощью ДГИ.

В результате проведенных работ производительность скважины возросла в 21,4 раза по сравнению с ее первоначальным дебитом, составившим 0,5 м<sup>3</sup>/сут.

Характерно, что до проведения виброобработки пласта по технологии ЗАО «РЕНФОРС» обычные солянокислотные обработки пласта не привели к получению промышленного притока нефти из пласта.

При проведении работ по интенсификации притоков нефти и газа в скважине № 106 Южно-Генеральской площади методом гидромониторной очистки перфорационных отверстий спецжидкостью на кислотной основе в импульсном режиме и последующей виброкислотной обработке верейских терригенных отложений и извлечения продуктов реакции из пласта с помощью ДГИ была восстановлена проницаемость ПЗП и получен промышленный приток нефти дебитом  $Q_n = 7,3 \text{ м}^3/\text{сут}$  с обводненностью продукции в пределах 5–8%, в которой до проведения работ по виброобработке пласта наблюдался слабый приток нефти  $Q_n < 0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$  с водой (6–8%) и скин-фактор составлял величину  $S = 8,854$ .

В скважине № 39 Гуселской площади после проведения работ по интенсификации притоков нефти и газа методом ГМО и виброкислотной обработки семилукских карбонатных отложений была восстановлена гидродинамическая связь пласта со скважиной и получен приток пластового флюида, который до проведения указанных работ отсутствовал.

В скважине № 4 Клиновской площади после проведения работ по интенсификации притоков нефти и газа из мосоловских карбонатных отложений в подошвенной части пласта в интервале перфорации 2211–2222 м методом гидромониторной очистки перфорационных отверстий спецжидкостью на кислотной основе в импульсном режиме с помощью забойного устройства типа МГИ и последующей виброкислотной обработки пласта с закачкой в пласт специального кислотного раствора, и последующего форсированного извлечения продуктов реакции из пласта в импульсном режиме с помощью депрессатора гидравлических импульсов (ДГИ) получен промышленный приток нефти.

Дебит скважины составил  $Q_{ж} = 135 \text{ м}^3/\text{сут}$  при работе скважины на штуцере  $d = 12 \text{ мм}$  при величине депрессии на пласт в пределах  $\Delta P = 2,53 \text{ МПа}$ .

Обводненность продукции колебалась в пределах 25–54%, так как подошвенная вскрытая перфорационная часть пласта находится в зоне водонефтяного контакта (ВНК).

До проведения работ по интенсификации притоков нефти и газа по технологии ЗАО «Ренфорс» наблюдался приток фильтра бурового раствора из пласта дебитом  $Q = 1,5–2,0 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Характерно, что при вскрытии подошвенной части пласта в процессе бурения скважины наблюдалось интенсивное поглощение бурового раствора, а при испытании этого интервала пласта пластоиспытателем в открытом стволе скважины через 5 суток после его вскрытия был получен приток фильтрата бурового раствора с пленкой нефти из интервала опробования пласта 2193,4–2211,0 м дебитом  $Q_{ж} = 105,8 \text{ м}^3/\text{сут}$  при депрессии на пласт в пределах  $\Delta P = 9,355 \text{ МПа}$ .

### Итоги

До проведения виброобработки пласта по технологии ЗАО «Ренфорс» обычные солянокислотные обработки пласта не приводили к существенному повышению производительности скважины.

### Выводы

При проведении работ по гидромониторной очистке перфорационных отверстий в импульсном режиме и последующей виброкислотной обработке пласта и извлечения продуктов реакции из пласта с помощью ДГИ была восстановлена гидродинамическая связь пласта со скважиной и получены промышленные притоки нефти и газа по скважинам Саратовского Поволжья.

### Список

#### используемой литературы

1. Вахитов Г.Г., Симкин Э.М. Использование физических полей для извлечения нефти из пластов. М: Недра, 1977. 159 с.
2. Гадиев С.М. Использование вибрации в добыче нефти. М: Недра, 1977. 159 с.
3. Коломоев А.В. Предупреждение и ликвидация прихватов в разведочном бурении. М: Недра, 1985. 220 с.
4. Калинин В.Ф. Литолого-физические критерии выбора оптимальной технологии повышения продуктивности скважин физико-химическими методами. М: Ренфорс, 2013. 240 с.
5. Калинин В.Ф., Матвеев Л.М. Способ возбуждения пласта. Патент РФ №2005167. Официальный патентный бюллетень №47–48. Москва, 1993. 14 с.
6. Калинин В.Ф., Матвеев Л.М. Способ изоляции высокопроницаемых пород. Патент РФ № 2018630. Официальный бюллетень комитета РФ по патентной и товарным знакам. Бюл. №16. 1994. 14 с.
7. Зайцев Ю.В., Крель В.С. Кислотная обработка песчаных коллекторов. М: Недра, 1972. 176 с.
8. Кондратьев А.С., Шарифуллин Ф.М. Виброволновые методы повышения дебита нефтяных скважин. Сборник докладов. Методы воздействия на призабойную зону пласта, повышение надежности работы внутрискважинного оборудования и увеличение межремонтного периода работы скважин. С. 92–100.



## Well development by using technology infra-frequency wave action on the bottomhole formation zone

UDC 622.276

### Authors:

**Peter I. Kononenko** — founder<sup>1</sup>  
**Kim K. Kvitchuk** — deputy of director for technology<sup>1</sup>  
**Vyacheslav F. Kalinin** — ph.d., deputy director for science<sup>1</sup>  
**V.P. Klimashin** — ph.d., head geologist<sup>2</sup>  
**N.D. Likhoy** — ph.d., head geologist<sup>3</sup>  
**N.N. Burmistrov** — head<sup>3</sup>  
**Yu.Kh. Shakhbazov** — chief engineer<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Renfors, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Geopromneft, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>NK Prospect, Saratov, Russian Federation

<sup>4</sup>Apertura, Saratov, Russian Federation

### Abstract

Vibration treatment method of bottomhole formation zone (BFZ) is designed to restore and increase the natural permeability of the reservoir rock in the bottomhole formation zone, contributing especially in combination with other methods (chemical) stimulation of oil and gas, a multiple increase productivity and injectivity, very a significant reduction in time and cost for their development.

### Results

Before the formation vibration treatment by the technology of JSC "Renfors" normal hydrochloric acid treatment of the formation did not lead to a significant increase in well productivity.

### Conclusions

At work on hydro monitor cleaning of the perforations in the pulsed mode of vibration and subsequent acid treatment

of the formation and extraction of the reaction products from the reservoir via the depressant hydraulic pulse has been restored hydrodynamic bond formation with a well prepared and commercial oil and gas wells in the Saratov Volga region.

### Keywords

vibration treatment method, bottomhole formation zone, BFZ, oil, gas, productivity, reducing the time

- Vahitov G.G., Simkin E.M. *Ispol'zovanie fizicheskikh poley dlya izvlecheniya nefti iz plastov* [Using physical fields to extract oil from reservoirs]. Moscow: Nedra, 1977, 159 p.
- Gadiev S.M. *Ispol'zovanie vibratsii v dobyche nefti* [Using vibration in oil production]. Moscow: Nedra, 1977, 159 p.
- Kolomoets A.V. *Preduprezhdenie i likvidatsiya prikhvatov v razvdochnom burenii* [Prevention and elimination of sticking exploration drilling]. Moscow: Nedra, 1985, 220 p.
- Kalinin V.F. *Litologo-fizicheskie kriterii vybora optimal'noy tekhnologii povysheniya produktivnosti skvazhin fiziko-khimicheskimi metodami* [Lithologic and physical criteria for choosing the optimal technology to improve the productivity of wells by physicochemical methods]. Moscow: Renfors, 2013, 240 p.
- Kalinin V.F., Matveenko L.M. *Sposob vozbu-zhdeniya plasta* [Method of driving the reservoir]. RF patent number 2,005,167. Official Patent Bulletin №47-48. Moscow, 1993, 14 p.
- Kalinin V.F., Matveenko L.M. *Sposob izol'yatsii vysokopronitsaemykh porod* [Way to isolate high-permeability rocks]. RF patent number 2,018,630. Official Bulletin of the Russian Committee for Patent and Trademark Office. Bull. Number 16. 1994. 14 p.
- Zaitsev Y., Krol V.S. *Kislotnaya obrabotka peschanykh kollektorov* [Acidizing sandstone reservoirs]. Moscow: Nedra, 1972, 176 p.
- Kondratyev A.S., Sharifullin F.M. *Vibrovolnovye metody povysheniya debita neftyanykh skvazhin* [Vibration wave methods to improve oil well production rate]. Collection of reports. Methods for treatment of the bottomhole formation zone, increasing the reliability of downhole equipment and increase the turnaround time of the wells. pp. 92–100.

# НЕДРА ЯКУТИИ-2014



НЕФТЬ и ГАЗ.

ГОРНОЕ ДЕЛО.

УГОЛЬ МАЙНИНГ.

ЭКОЛОГИЯ.

ЗОЛОТОДОБЫЧА.

СПЕЦТЕХНИКА.

11 - 13 ноября 2014г.

г.ЯКУТСК

Организаторы:



Торгово-промышленная палата Республики САХА (Якутия)



Выставочная компания ООО "СахаЭкспоСервис" г. Якутск



Выставочная компания ООО "СибЭкспоСервис-Н" г. Новосибирск

тел: (383) 3356350  
 e-mail: ses@avmail.ru  
 www.ses.net.ru