НОВЫЙ ПОДХОД К ЛИКВИДАЦИИ МЕЖКОЛОННЫХ ДАВЛЕНИЙ В СКВАЖИНЕ

A NEW APPROACH TO ELIMINATING ANNULAR PRESSURE IN A WELL

Д. Р. Султанов
Dinar R. Sultanov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

А. Е. Баймаханов
Abilkasim E. Baimakhanov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Ф. Н. Янгиров
Farit N. Yangirov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Е. А. Баймаханов
Erzhan A. Baimakhanov

ТОО «Clinal»,
г. Нур-Султан, Казахстан

Clinal LLP,
Nur-Sultan, Kazakhstan

За почти вековую историю становления и развития нефтегазовой промышленности по всему миру накопился огромный фонд скважин с наличием межколонных давлений, особенно проблема межколонных давлений актуальна для газовых скважин или скважин с наличием в разрезе газовых пластов.

На данный момент устранение межколонного давления является одной из значимых проблем нефтегазовой промышленности не только России и Казахстана, но и всего мира. Для решения данной задачи был разработан и опробован в реальных промысловых условиях новый подход к ликвидации межколонных давлений, включающий в себя исследование, диагностику причин возникновения межколонных давлений и их ликвидацию.

Данный подход относится к нефтегазодобывающей промышленности, но также может быть использован в любой другой области, где возникает необходимость в проведении ремонтных или изоляционных работ в условиях высоких давлений.

Разработанный подход ликвидации межколонного давления включает в себя запатентованную технику и технологию, направленную на ликвидацию межколонных давлений, которая позволяет исследовать, диагностировать и ликвидировать источники межколонных давлений путем создания противодействия закачиванием в межколонное пространство скважин герметизирующей жидкости без остановки скважины. При этом закачка герметизирующей жидкости в межколонное пространство производится при помощи продавочной жидкости, то есть герметизирующая жидкость не закачивается, а продавливается, что позволяет раствору лучше достигать каналов и микротрещин.

Описанная технология была опробована на месторождениях Казахстана и показала свою эффективность даже на тех скважинах, на которых уже проводились мероприятия по ликвидации межколонных давлений по другим технологиям, но не дали результата.

Ключевые слова

межколонные давления;
ликвидация межколонных
давлений; качество крепи
скважины; исследование
межколонных давлений

Over the almost century history of the formation and development of the oil and gas industry, a huge pool of wells with annular pressures has accumulated around the world, especially the problem of annular pressures is relevant for gas wells or wells with gas reservoirs in the section. At the moment, the elimination of annular pressure is one of the significant problems of the oil and gas industry not only in Russia and Kazakhstan, but throughout the world. To solve this problem, a new approach to eliminating annular pressures was developed and tested in situ, which includes research, diagnostics of the causes of annular pressures and their elimination.

This approach applies to the oil and gas industry, but can also be used in any other area where there is a need for repair or isolation work under high pressure conditions.

The developed approach to eliminating annular pressure includes a patented technique and technology aimed at eliminating annular pressures, which makes it possible to investigate, diagnose and eliminate sources of annular pressures by creating back pressure by pumping sealing fluid into the annular space of wells without stopping the well. In this case, the pumping of the sealing liquid into the annular space is carried out using a displacement liquid, that is, the sealing liquid is not pumped in, but is pushed through, which allows the solution to better reach the channels and microcracks.

The described technology has been tested in the fields of Kazakhstan and has shown its effectiveness even in those wells where measures to eliminate annular pressure using other technologies have already been carried out, but have not yielded results.

За почти вековую историю становления и развития нефтегазовой промышленности по всему миру накопился огромный фонд скважин с наличием межколонных давлений (МКД), особенно проблема МКД актуальна для газовых скважин или скважин с наличием в разрезе газовых пластов.

На данный момент устранение межколонного давления является одной из значимых проблем нефтегазовой промышленности не только России и Казахстана, но и всего мира. Для решения данной задачи был разработан и опробован в реальных промысловых условиях новый подход к ликвидации МКД, включающий в себя исследование, диагностику причин возникновения МКД и их ликвидацию.

Данный подход относится к нефтегазодобывающей промышленности, но также может быть использован в любой другой области, где возникает необходимость в проведении ремонтных или изоляционных работ в условиях высоких давлений.

По сравнению с существующими и применяемыми методами ликвидации МКД новый подход подразумевает объединение в единый технологический процесс: операций по диагностированию причин межколонных давлений, включающий метод стравливания и регистрации устьевых давлений, и задавливание изоляционных ремонтных растворов в межколонное пространство скважин как для изоляции переточных каналов, так и для создания

Keywords

annular pressures; elimination of annular pressures; well support quality; research of annular pressures

противодавления с целью предотвращения перетоков. Кроме того, предлагаемый подход подразумевает полную автономность выполнения операции по исследованию и ликвидации МКД, без применения электростанции. Еще одной особенностью нового подхода является полная безопасность и безаварийность проведения технологической операции за счет уникального способа закачки ремонтного изоляционного раствора.

На сегодняшний день в мире известны различные способы по предупреждению и ликвидации межколонных давлений, описанные в работах О.А. Горбачевой [1], Р.А. Тенна [2], Ф.А. Агзамова [3], А.Г. Филиппова [4], И.Г. Полякова [5], З.М. Фаттахова [6] и др.

Как известно, основными причинами межколонного давления являются:

1. Отсутствие герметичности устьевого и подземного оборудования (обсадной колонны);
2. Некачественная изоляция и разобщение пластов — негерметичное сцепления цемента с колонной и горной породой;
3. Низкое качество цементного кольца или его отсутствие;
4. Физико-химические процессы и фазовые переходы в межколонном пространстве (МКП).

В своей работе мы рассматриваем наиболее часто встречающиеся МКД, связанные с некачественной изоляцией и разобщением

проницаемых пластов, а также с низким качеством цементного кольца или его отсутствием. И основным методом ликвидации таких МКД является закачка в поровые каналы цементного камня изолирующей жидкости.

Наиболее близкой к разработанному подходу является метод описанный в работах О.А. Горбачевой [1]: установка для задавливания в межколонное пространство технологических растворов предназначена для ликвидации каналов, по которым флюид проникает в МКП. Основным узлом установки является цилиндрическая камера высокого давления с поршнем, установленным внутри камеры. С одной стороны поршня в камеру из ёмкости заливают технологический раствор, а с другой — с помощью дозирочного насоса высокого давления задавливают воду, которая воздействует на поршень и выдавливает из камеры раствор в МКП скважины. После полного выдавливания раствора рабочий цикл повторяется. Управление работой установки осуществляет оператор путём открытия и закрытия соответствующих вентилей. Контроль за изменением давления закачки ведётся по показаниям манометра, подключённого к линии высокого давления. Установка снабжена редукционным клапаном, который срабатывает, когда давление закачки раствора достигает установленного значения, а также контактным манометром, который позволяет вести задавливание раствора в автоматическом режиме.

Основными недостатками установки являются:

- многоцикловый характер проведения технологической операции;
- субъективизм управления процессом, так как его проводит оператор путём открытия и закрытия соответствующих вентилей, а контроль осуществляет по показаниям манометров;
- отсутствие контроля за давлениями в соседних пространствах скважины;
- нет информации о местоположении поршня в рабочей камере.

Также одним из недостатков описанного метода является отсутствие возможности приготовления раствора непосредственно перед проведением технологической операции (его доставляют в отдельной ёмкости) и отсутствует возможность автономного применения данного метода.

Указанные выше недостатки значительно осложняют работу с установкой, снижают опе-

ративность и эффективность проведения технологических операций, т.к. они в значительной степени зависят от опыта и профессионального мастерства оператора, управляющего процессом, приводят к различным осложнениям во время задавливания герметизирующей жидкости (ГЖ) в скважину. Кроме этого данная технология может быть применена только на скважинах, к которым подведена электроэнергия, а на месторождении имеется соответствующий растворный узел.

Новый подход [7] отличается автоматизацией задавливания ГЖ в МКП скважин, повышением надёжности и эффективности контроля за процессом и полной автономностью проведения работ, а также обязательным проведением диагностических исследований для выявления причин межколонных давлений. Для этого управление работой насосного агрегата автоматизировано. Создана система контроля за проведением технологической операции и за давлениями в различных пространствах скважины.

Схема исследовательско-диагностической и ликвидационной лаборатории (ИДЛЛ) приведена на рисунке 1. Она состоит из дозирочного насоса 1, электроконтактного манометра 4, гасителя пульсаций 5, вентиля 8, датчиков давления 7 (в количестве 4 штук), электростанции 3, пульта контроля и управления работой насосного агрегата и регистрации данных с датчиков 2; пульт управления включает в себя автоматический частотный регулятор 9 насосной установкой, графический регистратор 10 для визуального наблюдения и сохранения данных. Всё оборудование исследовательско-диагностической и ликвидационной лаборатории монтируют на передвижной платформе 11 или в кузове автомашины (рисунки 2, 3).

Подготовка, работа исследовательско-диагностической и ликвидационной лаборатории и контроль за проведением технологической операции на скважине осуществляется в следующей последовательности. Электростанцию 3 запускают в работу, и трёхфазное напряжение подают на пульт управления 2. Подготовленный раствор из ёмкости поступает в насос 1, через счётчик жидкости 6 и гаситель пульсаций 5. Выход из дозирочного насоса 1 с помощью гибкого шланга высокого давления (или импульсной трубки) соединён с выходом из МКП между обсадными колоннами 7 и 9 дюймов или другим пространством скважины. Группу датчиков дав-

- 1 — дозировочный насос; 2 — блок контроля и управления; 3 — бензиновый генератор; 4 — электроконтактный манометр; 5 — демпфер; 6 — счётчик жидкости; 7 — датчики давления; 8 — вентиль; 9 — частотный регулятор; 10 — регистратор; 11 — ИДЛЛ-1; 12 — огнетушитель

Рисунок 1. Схема исследовательско-диагностической и ликвидационной лаборатории

- 1 — ИДЛЛ-1; 2 — дозировочный насос; 3 — регистратор параметров; 4 — линия подачи нагнетаемой жидкости; 5 — головка контейнера для закачки жидкости и срабатывания остаточной жидкости; 6 — линия передачи данных и датчики давления скважины; 7 — контейнер для закачки ГЖ; 8 — линия передачи данных остаточного давления контейнера; 9 — ёмкость для срабатывания и слива остаточной жидкости; 10 — вентиль контейнера

Рисунок 2. Схема размещения и подключения ИДЛЛ-1 к скважине

Рисунок 3. Расположение ИДЛЛ-1 на месторождении и сопровождающий автотранспорт

ления 7 подсоединяют к выходам из МКП между обсадными колоннами 9 и 12 дюймов и затрубного пространства (ЗТП) и трубным пространством. На контактом манометре 4 устанавливают нижний и верхний пределы рабочего давления. Дозировочный насос 1 запускают в работу. Изменения давления во всех пространствах контролируют с помощью группы датчиков давления 7, информация из которых поступает в пульт управления на графический регистратор. При достижении верхнего (установленного оператором на манометре 4) предела давления происходит автоматическое отключение работы дозировочного насоса. За счёт проникновения жидкости по микроканалам в МКП давление в линии снижается, и при достижении нижнего предела, установленного на контактом манометре 4, дозировочный насос автоматически включается в работу. Если давление в скважине превысит верхний предел, то автомат остановки дозировочного насоса не сработает.

Методика ликвидации МКД согласно новому подходу

1. Этап исследования и диагностики МКД

— Анализ геолого-технического состояния скважины: изучение материалов скважины (дело скважины, материалы по бурению, освоению, геофизических и гидродинамических

исследований скважины, а также материалы АКЦ (акустическая цементометрия).

— Взятие пробы флюида из межколонного пространства при стравливании МКД с последующим проведением геохимического анализа.

— На основе заключения геолого-технического анализа состояния скважины, анализа проб и выявления источников возникновения МКД происходит выбор, обоснование дальнейших работ по ликвидации МКД, который согласуются с недропользователем.

— Определение кривой восстановления давления (КВД) с помощью специальных датчиков, подсоединенных к контроллерам, через которые передается на программное обеспечение ИДЛЛ-1.

— Временная ликвидация МКД путем герметизации МКП (КМКП), КМКП — прекращение поступления флюида в МКП путем создания противодействия в МКП и закачки специальной жидкости для временной ликвидации МКД сроком от 20 до 30 дней.

— Промывка и определение приемистости МКП.

2. Этап ликвидации МКД

— Герметизация МКП — после определения приемистости МКП, на основании исследовательских работ, согласованных с недропользователем, в целях ликвидации МКД подбирается герметизирующая жидкость для закачки в МКП. Расчет объема ГЖ производят исходя из величины приемистости МКП.

— На основе заключения исследовательских работ составляется Программа работ и согласовывается с недропользователем. После проведения нескольких процессов консервации и успешного завершения работ процесс ликвидации МКД считается завершенным

— Ликвидация межколонного давления скважины: по истечению установленного срока производится так называемая расконсервация МКП — очистные работы устьевого пространства без какого-либо воздействия на саму колонну. После расконсервации МКП скважины с ликвидированным МКД, скважина сдается Недропользователю по акту приема-сдачи скважины.

Определение объема и давления закачки приводится на основании анализа данных, полученных при исследовании скважины, а именно: после запуска дозировочного насоса закачивают раствор до давления в МКП, равного определенному по КВД (P_{max}). Затем

закачку прекращают (t_1) и ведут запись падения давления до определённой величины или наступления стабилизации (P_{min}). После этого запускают дозировочный насос и ведут закачку раствора (жидкости) до восстановления начального давления P_{max} . При этом фиксируют объём (Q) закачанной жидкости и время (t_2) от остановки работы насоса до момента восстановления давления ($t_1 - t_2$). Если принять, что объём закачанной жидкости ушёл на замещение пустотного пространства в МКП, то приёмистость определяется как частное от деления объёма закачанной жидкости на суммарное время падения и восстановления давления. А среднее давление закачки определяют как полсуммы максимального и минимального давлений, которые были получены при проведении работ.

В общих чертах метод определения представлен ниже на рисунке 4 и в формулах.

t_1 — время от остановки работы насоса;
 t_2 — время восстановления давления;
 Q — объём закачанной герметизирующей жидкости при восстановлении давления

Рисунок 4. График для определения приемистости и среднего давления закачки

Формула определения приемистости $q_{пр}$:

$$q_{пр} = \frac{Q}{t_2 - t_1}, (\text{л/ч}). \quad (1)$$

$$P_{ср} = \frac{P_{min} + P_{max}}{2} (\text{МПа}). \quad (2)$$

Преимущества нового подхода ликвидации МКД:

1. Мобильность и автономность лаборатории ликвидации МКД «ИДЛЛ-1»;
2. Проведение исследований без привлечения бригады капитального ремонта скважин;
3. Проведение исследований и ликвидации МКД без остановки скважины;
4. Возможность создания противодействия и увеличения приемистости МКП;

5. Безопасность технологического процесса;
6. Постоянный мониторинг МКД.

Вывод

Новый подход ликвидации межколонного давления включает в себя запатентованную технику и технологию, направленную на ликвидацию межколонных давлений, которая позволяет исследовать, диагностировать и ликвидировать источники МКД путем создания противодействия закачиванием в межколонное пространство скважин герметизирующей жидкости без остановки скважины. При этом

закачка герметизирующей жидкости в межколонное пространство производится при помощи продавочной жидкости, то есть герметизирующая жидкость не закачивается, а продавливается, что позволяет раствору лучше достигать каналов и микротрещин.

Описанная технология была опробована на месторождениях Казахстана и показала свою эффективность даже на тех скважинах, на которых уже проводились мероприятия по ликвидации МКД по другим технологиям, но не дали результата.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбачева О.А. Разработка и внедрение методов контроля и исследований скважин с межколонными давлениями на Астраханском ГКМ: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: 2012. 194 с.
2. Тенн Р.А. Методы диагностики и ликвидации межколонных флюидопроявлений при строительстве скважин на месторождениях и ПХГ: дис. ... канд. техн. наук. Ставрополь: 1999. 205 с.
3. Агзамов Ф.А., Аль-Сурури Я.М., Комлева С.Ф. Экспериментальная оценка герметичности межколонного пространства газовых скважин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2000. № 5. С. 58–65.
4. Пат. 2153571 РФ, МПК Е 21 В 33/13. Способ восстановления герметичности межколонного пространства скважин / З.М. Фаттахов, А.Г. Филиппов, И.Г. Поляков, В.В. Кунавин, И.А. Костанов. 98117107/03, Заявлено 14.09.1998; Оpubл. 27.07.2000. Бюл. 21.
5. Пат. 2399644 РФ, МПК С 09 К 8/50. Герметизирующая композиция для изоляционных работ в скважине / И.Г. Поляков, П.В. Гладков, В.В. Кунавин, С.Н. Мохов, Л.В. Швеи, Г.Ф. Тукаева, В.А. Суковитцын, В.Г. Васильев, Д.Н. Грин'чак, О.А. Горбачева. 2009127620/03, Заявлено 17.07.2009; Оpubл. 20.09.2010. Бюл. 26.
6. Фаттахов З.М. Разработка методов предупреждения, исследования и контроля межколонных проявлений на скважинах Астраханского ГКМ: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2001. 163 с.
7. Патент на полезную модель 2045 Казахстан, МПК Е 21 В 21/00. Исследовательско-диагностическая и ликвидационная лаборатория / А.Е. Баймаханов, Е.А. Баймаханов. 2016/0659.2 Заявлено 07.10.2015; Оpubл. 28.02.2017. Бюл. 4. URL: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=273305> (дата обращения: 25.03.2021).

REFERENCES

1. Gorbacheva O.A. *Razrabotka i vnedrenie metodov kontrolya i issledovaniy skvazhin s mezhkolonnymi davleniyami na Astrakhanskoye GKM*: dis. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2012. 194 p.

yami na Astrakhanskoye GKM: dis. kand. tekhn. nauk [Development and Implementation of Methods for Monitoring and Testing Wells with Annular Pressures at the Astrakhan Gas Condensate Field: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2012. 194 p. [in Russian].

2. Tenn R.A. *Metody diagnostiki i likvidatsii mezhkolonnykh flyuidoproyavleniy pri stroitel'stve skvazhin na mestorozhdeniyakh i PKhG: dis. kand. tekhn. nauk* [Methods for Diagnostics and Elimination of Annular Fluid Showings During Well Construction in Fields and Underground Storage Facilities: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Stavropol, 1999. 205 p. [in Russian].

3. Agzamov F.A., Al-Sururi Ya.M., Komleva S.F. *Eksperimental'naya otsenka germetichnosti mezhkolonnogo prostranstva gazovykh skvazhin* [Experimental Assessment of the Tightness of the Annular Space of Gas Wells]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz – Oil and Gas Studies*, 2000, No. 5, pp. 58–65. [in Russian].

4. Fattakhov Z.M., Filippov A.G., Polyakov I.G., Kunavin V.V., Kostanov I.A. *Sposob vosstanovleniya germetichnosti mezhkolonnogo prostranstva skvazhin* [Method for Restoring Tightness of Annular Space of Wells]. Patent RF, No. 2153571, 2010. [in Russian].

5. Polyakov I.G., Gladkov P.V., Kunavin V.V., Mokhov S.N., Shvets L.V., Tukaeva G.F., Sukovitsyn V.A., Vasilev V.G., Grin'chak D.N., Gorbacheva O.A. *Germetiziruyushchaya kompozitsiya dlya izolyatsionnykh rabot v skvazhine* [Borehole Sealing Composition]. Patent RF, No. 2399644, 2010. [in Russian].

6. Fattakhov Z.M. *Razrabotka metodov preduprezhdeniya, issledovaniya i kontrolya mezhkolonnykh proyavleniy na skvazhinakh Astrakhanskogo GKM: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of Methods for Prevention, Research and Control of Annular Occurrences at the Wells of the Astrakhan Gas Condensate Field: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2001. 163 p. [in Russian].

7. Baimakhanov A.E., Baimakhanov E.A. *Issledovatel'sko-diagnosticskaya i likvidatsionnaya laboratoriya* [Research Diagnostic and Liquidation Laboratory]. Utility Model Patent Kazakhstan, No. 2045, 2017. Available at: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=273305> (accessed 25.03.2021). [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
ABOUT THE AUTHORS

Султанов Динар Ризифович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Dinar R. Sultanov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Well Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mai: dingood@mail.ru

Баймаханов Абилкасим Елеусизович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Abilkasim Ye. Baimakhanov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Well Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mai: a.baimakhanov@clinal.kz

Янгиров Фарит Наилевич, канд. техн. наук, декан горно-нефтяного факультета, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Farit N. Yangirov, Candidate of Engineering Sciences, Dean of the Mining and Petroleum Engineering Faculty, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mai: bngs-ufa@mail.ru

Баймаханов Ержан Абилкасимович, исполнительный директор, ТОО «Clinal», г. Нур-Султан, Казахстан

Erzhan A. Baimakhanov, Executive Director, Clinal LLP, Nur-Sultan, Kazakhstan

e-mai: eric_abl@mail.ru