

УДК 622.276.5.05

## Результаты внедрения водонабухающих пакеров

### The Results of Implementation of Water Swellable Packers



А.А. Исаев

**А.А. Исаев**, к.т.н.  
isaeff-oil@yandex.ru  
Тел. (8553) 39-39-95  
**Р.Ш. Тахаутдинов**  
**В.И. Малыхин**  
**А.А. Шарифуллин**,  
к.т.н.  
/ООО УК  
«Шешмайл»/

A.A. Isaev, PhD  
R.Sh. Takhautdinov  
V.I. Malykhin  
A.A. Sharifullin, PhD  
/"Sheshmaoil"  
Management  
Company LLC/



В.И. Малыхин



А.А. Шарифуллин

Проведены исследования различных рецептур изготавливаемой резины, образцы которых набухают в различных средах, сделан анализ осложнений в области крепления скважин, получены опытно-промышленные результаты от внедрения на скважинах водонефтенбухающих пакеров. На основе исследований разработаны состав водонефтенбухающей резины, конструкция пакера и способ изготовления пакера. Внедрение набухающих пакеров позволило снизить на скважинах обводненность по сравнению с ее базовыми значениями, а также исключить водоизоляционные работы.

**Ключевые слова:** набухающие пакеры, эластомеры, разобщение пластов, изоляция межпластовых перетоков, герметизирующая способность.

Various formulations of produced rubber, samples of which swell in various media, were investigated, analysis of well casing complications was carried out and results of field trial of water- and oil-swellable packers were obtained. Composition of a water- and oil-swellable rubber was developed based on the survey results. Introduction of swellable packers allowed decreasing water cut of wells compared to basic wells and eliminate water shut-off treatments.

**Key words:** swellable packers, elastomers, segregation of layers, isolation of crossflows between layers, sealing capacity.

**В** настоящее время крепление скважин проводят с различными целями:

- закрепление стенок скважины в интервалах неустойчивых пород;
- изоляция зон катастрофического поглощения промывочной жидкости и зон возможных перетоков пластовой жидкости по стволу;
- разделение интервалов, где геологические условия требуют применения промывочной жидкости с весьма различной плотностью;
- разобщение продуктивных горизонтов и изоляция их от водоносных пластов;
- образование надежного канала в скважине для извлечения нефти или подачи закачиваемой в пласт жидкости;
- создание надежного основания для установки устьевого оборудования.

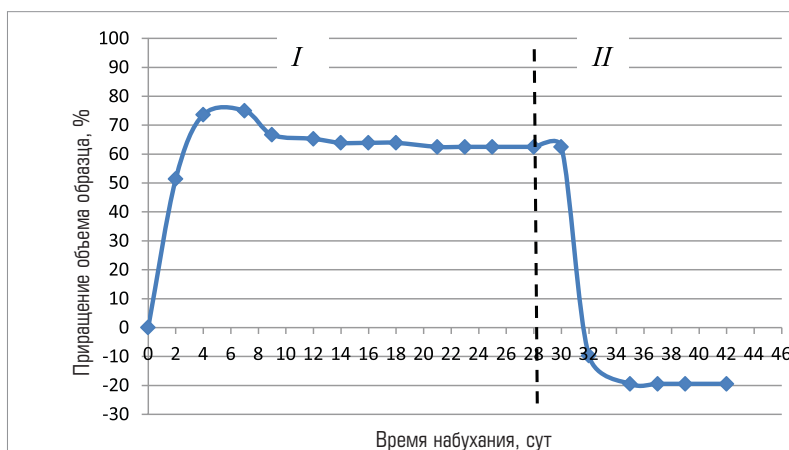
Цементный камень за обсадной колонной должен быть достаточно прочным и непроницаемым, иметь хорошее сцепление (адгезию) с поверхностью обсадных труб и со стенками ствола скважины.

Анализ осложнений в области крепления скважин показывает, что вследствие неправильного определения водонефтяного контакта (ВНК) около 30 % скважин содержат обводненную продукцию; 20 % осложнений связано с поглощением тампонажного раствора и, как следствие, недоподъемом цементного раствора; на межпластовые перетоки приходится около 25 %, на флюидопроявления – 10 % и 15 % связано с недоспуском колонн. Затраты на ликвидацию межпластовых перетоков требуют значительных затрат и составляют в среднем 16 % (по ООО УК «Шешмаойл») от стоимости скважины, поэтому качество крепления скважин имеет большое значение.

Эффективность изоляционных работ при создании водоизоляционного барьера или экрана при помощи тампонажного материала очень низка, цементный камень со временем растрескивается. Предлагаемый нами способ ограничения и ликвидации водопитока основан на использовании нефтеводонабухающих резин. Результаты лабораторных исследований различных образцов, а также проанализированная информация зарубежных источников показывают, что скорость набухания эластомеров зависит от ряда факторов, основными из которых являются структурный состав эластомера, состав жидкости, в которой происходит его набухание, степень доступа жидкости к поверхности эластомера, а также температурные условия.

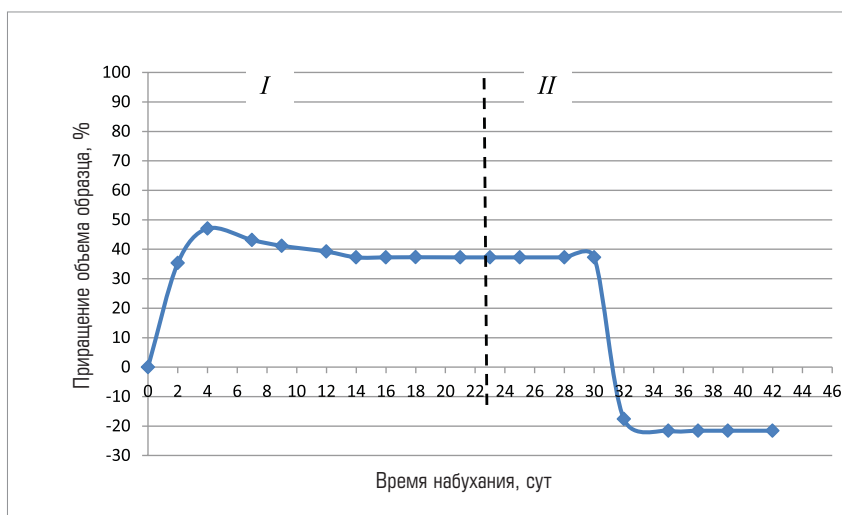
Известны водонефтенационабухающий эластомер производства ТАМ, который поставляет ПАО «Татнефть», и пакер ЗАО «Кварт» (г. Казань) [1], однако стоимость этих пакеров очень высока.

Отделом инноваций и экспертизы ООО УК «Шешмаойл» разработан водонефтенационабухающий пакер собственной конструкции, в котором уплотнительный элемент выполнен из эластомера, способного увеличиваться в объеме при контакте с определенными жидкостями (во-



**Рис. 1. Динамика набухания образцов при неограниченном доступе дистиллированной воды:**

*I – образцы находятся в воде; II – образцы извлечены из воды*



**Рис. 2. Динамика набухания образцов при неограниченном доступе пластовой воды:**

*I – образцы находятся в воде; II – образцы извлечены из воды*

дой или нефтью). Для исследований и испытаний рецептур резины на водонефтенационабухание создан стенд. Создана методика для определения динамики объемного набухания образцов в лабораторных условиях. Разработан и изготовлен стенд для определения времени и степени набухания манжет пакера в зависимости от минерализации прокачиваемой жидкости, нефти с различной вязкостью, продукции «нефть – вода» с различным процентным содержанием и давлением. Экспериментальные исследования проводились с использованием методики планирования экспери-

ментов. Обработка результатов экспериментов осуществлялась методами математической статистики и регрессивного анализа. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальной проверкой на лабораторных стендах.

Манжеты пакера изготавливаются методом горячего прессования. Для изготовления манжет служит пресс-форма, в которую насыпается резиновая крошка.

Полученные первые образцы материала помещались в дистиллированную и в пластовую воду. Изменение массы образцов наблюдалось в течение 30 суток.

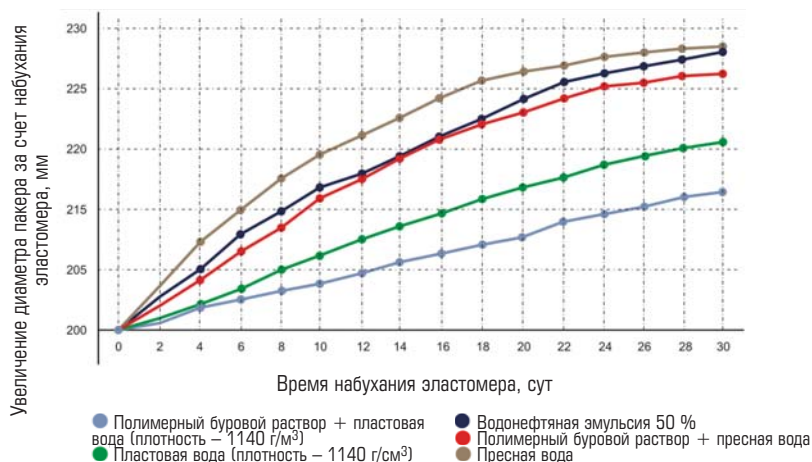


Рис. 3. Динамика увеличения диаметра пакера «Шешма-ВНН» за счет набухания эластомера при неограниченном доступе различных типов жидкостей

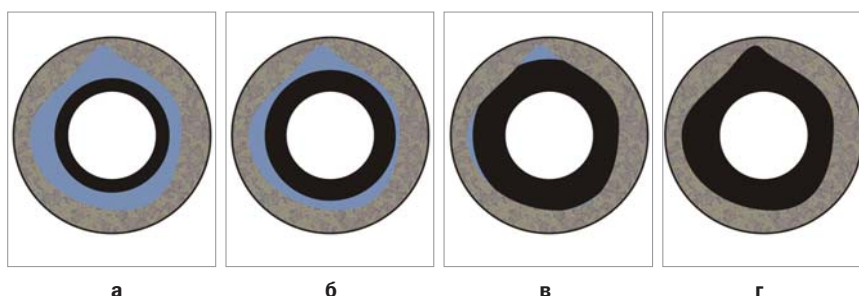


Рис. 4. Процесс набухания резины в скважине:

а – начало доступа жидкости; б – через 10 сут; в – через 20 сут; г – через 30 сут



Рис. 5. Процесс насыпания резиновой крошки в пресс-форму



Рис. 6. Пресс гидравлический вулканизационный

В ходе проведения лабораторных исследований выяснилось, что водонабухание составляет порядка 65 % в дистиллированной воде и 40 % в пластовой, т.е. удовлетворяет техническим требованиям (рис. 1 и 2).

В процессе строительства скважины на эластомер пакера могут

влиять различные технологические жидкости, особенно буровой раствор, поэтому проведено исследование влияния набухания эластомера при взаимодействии с различными жидкостями. Быстрое набухание эластомера за счет воздействия на него бурового раствора в процессе спуска эксплуатационной колонны

перед цементированием скважины может привести:

- к снижению (полной потере) циркуляции и увеличению давления нагнетания при цементировании обсадной колонны;

- к уменьшению толщины цементного кольца в месте установки пакера.

С целью снижения скорости набухания эластомера при контакте с буровым раствором в процессе крепления скважины был проведен подбор композиции материалов эластомера (рис. 3).

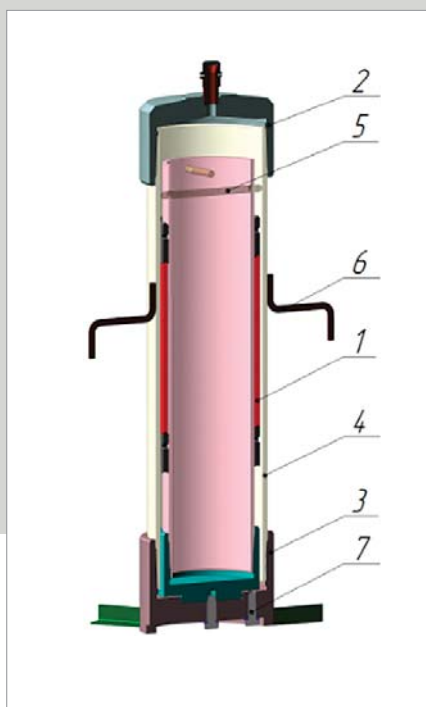
Исследования показали, что максимальное приращение объема эластомера, применяемого в водонефтенабухающих пакерах «Шешма-ВНН», происходит не в первые 4–8 сут., а равномерно в течение 30 сут., что позволяет избежать возникновения проблем, описанных выше. На рис. 4 представлено моделирование набухания резины в скважине.

## Изготовление пакеров

Манжеты пакера изготавливаются методом горячего прессования. Для изготовления манжет служит пресс-форма (рис. 5), в которую насыпается резиновая крошка.

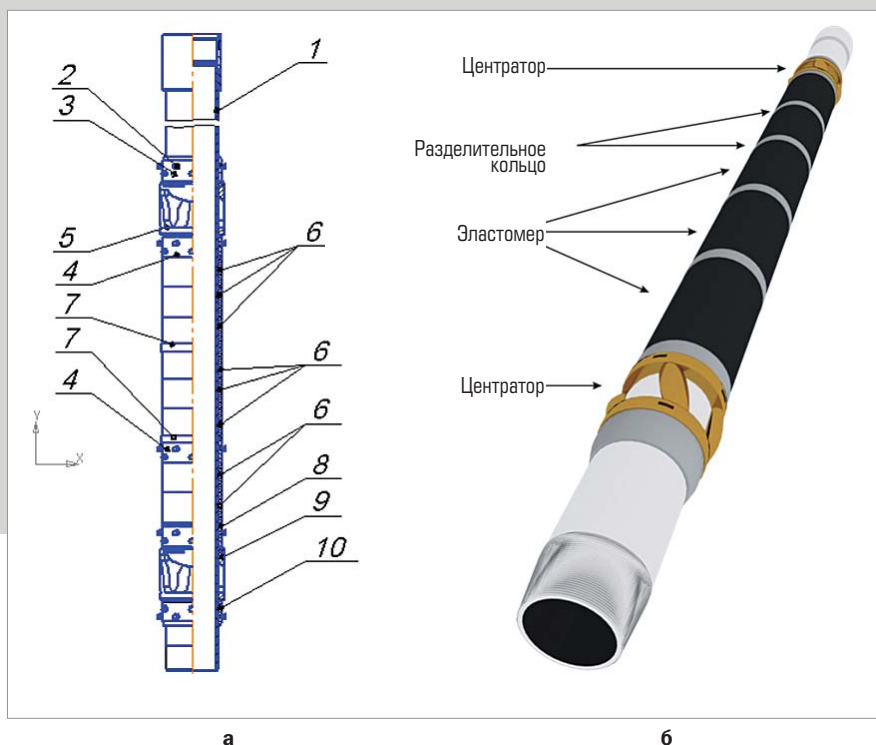
После лабораторных испытаний следующим этапом стало промышленное внедрение пакеров с манжетами из разработанной резиновой крошки. Для изготовления манжет служит гидравлический пресс (рис. 6), который состоит из станины, двух нагревательных и двух охлаждающих плит, блоков регулирования температуры и давления. Обогрев верхней и нижней плит происходит до температуры не менее 180 °С, которая регулируется с помощью датчиков температуры, установленных на панели приборов пресса.

Для предотвращения прилипания прессуемого образца к пластинам формы между пластинами и навеской материала при сборке формы смазываются антиадгезионной смазкой. Далее между



**Рис. 7. Стенд для гидравлического испытания манжет водонефтенабухающего пакера «Шешма-ВНН»:**

1 – пакер набухающий; 2 – крышка в сборе; 3 – основание в сборе; 4 – корпус; 5 – штифт центровочный; 6 – ручка; 7 – болт



**Рис. 8. Набухающий пакер:**

а – сборочный вид; б – вид в аксонометрии

охлаждающими плитами устанавливается пресс-форма, которая помещается на нижнюю нагреваемую плиту, и на нее опускается верхняя нагреваемая плита. В течение определенного времени образцы выдерживаются под давлением, затем на необходимое время подается охлаждающая вода, после чего давление с плит снимается, форма извлекается, после ее разборки извлекаются образцы.

В среднем время на изготовление манжеты составляет 15 мин при температуре 180 °С и давлении прессования 15 МПа. Отделом инноваций и экспертизы ООО УК «Шешмаойл» был разработан способ крепления манжет на ствол пакера. Коммерческое название набухающего пакера – пакер «Шешма-ВНН». Манжеты и пакер «Шешма-ВНН» изготавливаются силами ООО «Механика-Сервис» на производственной базе с. Новошешминск (Республика Татарстан).

Разработан стенд (рис. 7) для гидравлического испытания манжет водонефтенабухающего пакера «Шешма-ВНН» и проведены испытания.

Порядок проведения гидравлических испытаний заключается в следующем: в стенд (см. рис. 7) залить воду посредством наполнения через отверстие штуцера крышки 2, предварительно необходимо отвернуть пробку. После долива пробку установить обратно. Далее стенд оставить для разбухания эластомера. Периодически производить долив жидкости через заливное отверстие штуцера. Перед испытаниями вывернуть болт 7, смещенный относительно оси, который закрывает сливное отверстие в основании. Слить воду из нижней подпакерной зоны стенда. Для проведения гидравлических испытаний долить необходимое количество воды через штуцер крышки 2 до полного удаления воздуха. Штуцер подсоединить к источнику давления. Повышать давление в течение 1-2 мин. Испытательное давление не должно

превышать 20,0 МПа. Выдержать стенд под установленным давлением в течение 10 мин. Не допускается появление утечек или подтеков жидкости из нижней части испытательного стенда.

Проведенные испытания подтвердили работоспособность пакера.

### Устройство и принцип действия набухающего пакера

Набухающий пакер (рис. 8) состоит из полого ствола 1, на котором с помощью крепежных деталей 2 и клея-герметика закреплены защитное и разделительное кольца 3 и 4, установлен центратор 5. Вплотную к кольцу разделительному 4 на полой ствол 1 установлены уплотнительные элементы 6, затем кольцо-фиксатор 7. Между группой уплотнительных элементов 6 установлены кольца-фиксаторы 7 и закреплены кольца разделительные 4. Количество последовательно установленных уплотнительных элементов 6,



Рис. 9. Пакер в транспортной упаковке



Рис. 10. Пакер в скважине

Таблица 1

Технические характеристики пакера «Шешма-ВНН»

| Диаметр ствола скважины, мм | Диаметр трубы пакера, мм | Диаметр пакера, мм | Толщина эластомера, мм |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|
| 144                         | 114                      | 133                | 9,5                    |
| 156                         | 114                      | 145                | 15,5                   |
| 216                         | 146                      | 200                | 27,0                   |
| 216                         | 168                      | 200                | 16,0                   |

колец-фиксаторов 7 и разделительных колец 4 определяется длиной пакера. Уплотнительные элементы 6 выполнены из разбухающего эластомера. За последним разделительным кольцом 8 установлены центратор 9 и защитное кольцо 10. В средней части набухающего пакера при длине пакера свыше 5 м обычно устанавливается дополнительный центратор. При необходимости уплотнительные элементы 6 могут быть выполнены из эластомера, разбухающего в воде или нефти, а также комбинированного эластомера, состоящего из двух частей, одна из которых выполнена из эластомера, разбухающего в воде, а другая – из эластомера, разбухающего в нефти; при этом части разделены между собой кольцом-фиксатором 7.

Пакер поставляется на скважину в транспортной упаковке (рис. 9). Пакер 11 в составе колонны обсадных труб (рис. 10) спускают в открытый ствол скважины в интервал, например, между водоносным и нефтяным пластами, требующими разобщения их в период эксплуатации скважины. В процессе освоения

и эксплуатации скважины уплотнительные элементы 6, взаимодействуя с пластовой жидкостью из водоносного пласта, набухают до плотного контакта с поверхностью ствола, разобщают пласты и ограничивают поступление воды в зону фильтра и нефтяной пласт. Процесс набухания продолжается при эксплуатации скважины по мере образования новых каналов и поступления в них воды.

Таким образом, пакер надежно герметизирует законное пространство скважины и служит для разобщения затрубного пространства в процессе всего периода освоения и эксплуатации скважины.

Пакер «Шешма-ВНН» изготавливается трех типоразмеров для применения в скважинах с эксплуатационной колонной: диаметром 114, 146 и 168 мм. Расстояние между разобщаемыми горизонтами должно быть от 1 м и более. Основные технические характеристики пакера представлены в табл. 1.

В 2013 г. из 39 пробуренных скважин по результатам освоения в 11 скважинах были обнаружены межпластовые перетоки; соответственно, брак составил 28,2 % от общего количества построенных скважин. Внедрение пакеров «Шешма-ВНН» производилось с марта 2014 г. на всех без исключения пробуренных скважинах добывающих компаний под управлением ООО УК «Шешмаойл». Для создания равных условий анализа рассматривалось по 39 скважин, построенных до и после внедрения пакеров «Шешма-ВНН», в результате была доказана 100%-ная эффективность их использования.

Водоизоляционные работы (ВИР) на скважинах, оборудованных пакерами «Шешма-ВНН», на стадии освоения после перфорации эксплуатационной колонны не проводились, в то время как без применения законных пакеров в 2013 г. проводились ВИР на скважинах на стадии освоения:

- в ОАО «Шешмаойл» – на 6 скважинах;
- в ЗАО «Геотех» – на 5;
- в ЗАО «Геология» – на 3.

Информация о внедрении набухающих пакеров представлена в табл. 2, всего за 2014–2017 гг. внедрено 180 пакеров «Шешма-ВНН».

В табл. 3 представлена информация по эффективности внедрения водонабухающих пакеров на скважинах ООО УК «Шешмаойл», в среднем у всех добывающих компаний обводненность на скважинах меньше на 37,5 %, чем на скважинах без водонабухающих пакеров.

Преимущества разработанного пакера:

- повышение качества крепления скважины;
- обеспечение максимального периода безводной эксплуатации скважины без проведения дополнительных водоизоляционных работ;
- более замедленное набухание эластомера по сравнению с аналогичными пакерами;

■ низкая стоимость по сравнению с аналогичными пакерами.

С 2017 г. в ООО УК «Шешмаойл» начались работы по созданию рецептур водо- и нефтенабухающих эластомеров с гораздо большими коэффициентами набухания и с максимально коротким сроком набухания. Это необходимо для перекрытия заколонного пространства между эксплуатационной колонной и стенкой скважины без применения цемента. Данные пакеры находят спрос при строительстве горизонтальных скважин бурением, когда их устанавливают на хвостовой части эксплуатационной колонны в горизонтальной части скважины без применения цементных растворов. Планируется создать рецептуры водонабухающей и нефтенабухающей резины с коэффициентом набухания не менее 400 % и с временем набухания в воде (до 400 % при температуре 25 °С) не более 24 ч, а также провести испытание комплекса их эксплуатационных (сорбционных, механических, теплофизических и др.) характеристик на базе лабораторной партии набухающей резины.

## Выводы

■ Установлено, что 30 % осложнений скважин связано с поглощением тампонажного раствора и, соответственно, недоподъемом цементного раствора, 25 % – с межпластовыми перетоками, 20 % – с неправильным определением водонефтяного контакта, 15 % связано с недоспуском колонны и 10 % – с флюидопроявлением.

■ Водонабухание резины составляет в пределах 80 % в пластовой воде и 105 % в дистиллированной.

Таблица 2

Информация о внедрении набухающих пакеров

| Добывающая компания | Внедрение первого пакера |                | Общее количество внедренных пакеров |      |      |      |       |
|---------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------|------|------|------|-------|
|                     | № скважины               | Дата внедрения | 2014                                | 2015 | 2016 | 2017 | Всего |
| АО «Геология»       | 10078                    | 16.03.2014     | 15                                  | 11   | 2    | –    | 28    |
| АО «Шешмаойл»       | 3778                     | 12.07.2014     | 15                                  | 37   | 19   | 12   | 83    |
| АО «Геотех»         | 17                       | 03.08.2014     | 3                                   | –    | 1    | 9    | 13    |
| ООО «НК-Геология»   | 40206                    | 02.10.2014     | 3                                   | 2    | 4    | 2    | 11    |
| АО «Иделойл»        | 1561                     | 11.02.2015     | –                                   | 11   | 7    | –    | 18    |
| ЗАО «Охтин-ойл»     | 2003                     | 16.05.2015     | –                                   | 5    | 5    | 3    | 13    |
| АО «Елабуганефть»   | 4920                     | 05.10.2016     | –                                   | –    | 2    | –    | 2     |
| АО «Кондурчанефть»  | 8758                     | 08.10.2016     | –                                   | –    | 3    | 9    | 12    |
| ИТОГО               |                          |                | 36                                  | 66   | 43   | 35   | 180   |

Таблица 3

Информация об обводненности

| Добывающая компания | Обводненность, % |                        |
|---------------------|------------------|------------------------|
|                     | Базовые скважины | С пакерами «Шешма-ВНН» |
| АО «Шешмаойл»       | 30               | 6                      |
| АО «НК-Геология»    | 29               | 28                     |
| АО «Геотех»         | 27               | 2                      |
| АО «Геология»       | 60               | 18                     |
| АО «Иделойл»        | 15               | 5                      |
| СРЕДНЕЕ             | 32               | 12                     |

■ Степень набухания разработанной резины в нефти – 120 %.

■ Манжеты изготавливаются методом горячего прессования на гидравлическом прессе с определенными временем, температурой и давлением.

■ Разработан надежный способ крепления манжет на пакер.

■ Определена положительная устойчивость резины к кислотным составам.

■ На 180 скважинах в 8 добывающих компаниях, находящихся в Республике Татарстан, внедрены новые конструкции водонефтенабухающих пакеров, которые непо-

средственно в пластовых условиях позволяют создавать зоны (экран, барьер) с повышенным фильтрационным сопротивлением и исключать межпластовые перетоки, подтягивание подошвенных вод.

■ Водоизоляционные работы на стадии освоения после перфорации эксплуатационной колонны с набухающими пакерами не проводились. Обводненность скважин с набухающими пакерами (12 %) ниже по сравнению с обводненностью базовых скважин (32 %).

■ Получены сертифицирующие документы и отправлена заявка на патент РФ.

## Литература

1. Пат. РФ № 2581593 Способ эксплуатации скважинного нефтепромыслового оборудования / Тахутдинов Ш.Ф. и др. – Заявитель и патентообладатель ОАО «Татнефть», № 2015124355/03; заявл. 23.06.2015.