

© М.Т.Абасов, З.Я.Аббасов, В.М.Фаталиев, Н.Н.Гамидов, Г.Г.Мамедова, 2011

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СКВАЖИНЫ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.Т.Абасов, З.Я.Аббасов, В.М.Фаталиев, Н.Н.Гамидов, Г.Г.Мамедова

*Институт геологии НАН Азербайджана  
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В статье представлены результаты экспериментальных исследований показателей воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины «сухим» углеводородным газом. При этом процесс изучен детально и установлена целесообразность его применения с начального этапа разработки залежи в целях обеспечения максимального коэффициента извлечения конденсата.

Известно, что по мере эксплуатации газоконденсатной залежи в результате снижения пластового давления ниже давления начала конденсации системы более тяжелые углеводороды ( $C_{5+}$ ) переходят в жидкую фазу, а затем частично оседают в пласте. Влияние данного процесса более ощутимо в газоконденсатных залежах с высокими значениями начального конденсатосодержания пластовой системы (Гриценко и Ремизов, 1995; Изюмченко и др., 2010 и др.).

В работах (Зотов и Алиев, 1980; Мискевич, 2006; Абасов и др., 2009 b; Изюмченко и др., 2010; Николаев и Николаев, 2011) отмечено, что конденсатоотдача в газоконденсатных залежах, эксплуатирующихся в режиме истощения, не превышает 30-40% начальных запасов конденсата. Например, коэффициент конденсатоотдачи по залежи VII горизонта глубоководного газоконденсатного месторождения Булла-дениз Азербайджана не превышает 30%. В связи с этим значительное количество конденсата остается в пласте неизвлеченным.

В целях повышения конденсатоотдачи пластов применяются различные методы, в том числе и метод воздействия на выпавший в пласте ретроградный конденсат газами, состоящими из «сухого» углеводородного или широкой фракции легких углеводородов, таких как пропан-бутан (Гриценко и Ремизов, 1995; Абасов и др. 1998). В целях снижения потребности в углеводородном газе в некоторых случаях в него добавляют азот или углекислый газ в количествах, определенных экспериментальным путем (Гриценко и Ремизов, 1995; Абасов и др., 1998).

В лабораторных условиях нами проведены многочисленные эксперименты (Абасов и др., 1998) по изучению испаряемости выпавшего конденсата под воздействием газов различного состава, в том числе «сухого» углеводородного, физической сущностью которой является испарение выпавшего конденсата в присутствии газов, в которых жидкие углеводороды хорошо растворяются. При этом было установлено, что, несмотря на неоднократное воздействие на конденсат газами различного состава, извлечь его полностью не представляется возможным. Указанная тенденция объяснялась тем, что по мере испарения легких фракций конденсата его плотность возрастает (Гриценко и Ремизов, 1995; Абасов и др. 1998), а это требует закачки большого количества газа при более высоких давлениях.

В данной работе представлены результаты изучения воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины «сухим» газом на различных стадиях эксплуатации залежи.

Решение этой задачи, безусловно, возможно и с использованием существующих математических моделей, но, как было отмечено выше, сложный характер фазовых превращений при разработке газоконденсатной залежи не позволяет отразить эти процессы точными математическими зависимостями. Изучаемый процесс можно оценить и с использованием гидрогазодинамических моделей фильтрации газоконденсатной смеси, ориентирующихся на использовании эмпирических данных, например, бинарной модели фильтрации, которая успешно применялась для оценки показателей обработки призабой-

ной зоны скважины «сухим» углеводородным газом (Абасов и др., 2000).

Учитывая вышеизложенное, эксперименты проводились с использованием газоконденсатных систем, составленных на базе проб газа и конденсата из глубокозалегающей залежи VII горизонта месторождения Булла-дениз. В экспериментах при создании рекомбинированных проб использовались газ и конденсат с одинаковыми составами и свойствами.

Газ состоял из (в мольных процентах): метана – 92,45, этана – 5,81, пропана – 0,73, бутанов – 0,71 и пентанов  $C_{5+}$  – 0,3. При этом плотность газа составляла  $0,7651 \text{ кг/м}^3$ , а количество  $C_{5+}$  –  $9,156 \text{ кг/м}^3$ .

Эксперименты проводились в бомбе pVT с рекомбинированной системой без наличия пористой среды с начальным конденсатосодержанием  $200 \text{ г/м}^3$ . При этом использовался газ из промыслового сепаратора и стабильный конденсат плотностью  $747,5 \text{ кг/м}^3$ , отобранный на начальной стадии ввода залежи в разработку. Эксперименты проводились на стандартной pVT установке УГК-3 согласно известной инструкции (Зотов и Алиев, 1980) в следующей последовательности. Вначале система нагревалась до заданной температуры ( $95^\circ\text{C}$ ), и после стабилизации температуры давление поднималось ступенями ( $3,0\text{--}5,0 \text{ МПа}$ ) до полного исчезновения жидкой фазы в pVT-бомбе. При этом после каждого повышения давления система перемешивалась в течение 15 минут, затем она держалась в покое до установления термодинамического равновесия, которое определялось стабилизацией уровня жидкости в бомбе pVT.

В связи с тем, что эксперименты проводились без пористой среды, значение давления начала конденсации системы определялось по традиционному методу, имея в виду, что действительное его значение на 20-25% больше (Абасов и др. 2009 а) определяемого в бомбе pVT. В данном случае эта величина давления определялась при исследовании каждой газоконденсатной системы и служила контролем идентичности исследуемых систем, во всех случаях она была равной  $28,0 \text{ МПа}$ .

После повышения давления до  $30,0 \text{ МПа}$  и установления термодинамического равновесия оно пошагово снижалось на  $5,0 \text{ МПа}$ , т.к. при таком его снижении, во-первых, обес-

печивались достаточное количество газа и конденсата для проведения стандартных физико-химических анализов и, во-вторых, – необходимое количество экспериментальных точек для установления искомым закономерностей при статистическом анализе результатов исследований. В экспериментах темп снижения давления в системе выбирался согласно термодинамическим критериям подобия (Эфрос, 1963) – по количеству проходящего из сепаратора газа за единицу времени, как например, равным  $8,33 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$  (допустимое в интервале  $8,33\text{--}16,67 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ) (Абасов и др., 2009 а; Абасов и др., 1998).

Таким образом, давление на первом этапе снижалось от  $30,0 \text{ МПа}$  до  $25,0 \text{ МПа}$  и при этом отдельно отбирались пробы газа сепарации и дегазации для определения их количества, состава и физико-химических свойств. Здесь также определялось количество добываемого конденсата и его физические свойства.

В целях сокращения объема экспериментальных работ процесс дифференциального истощения залежи сопровождался изучением испарения выпавшего конденсата «сухим» газом после каждого шага снижения давления, и после установления термодинамического равновесия системы в бомбу pVT подкачивался «сухой» углеводородный газ и тем самым давление поднималось до его начального значения –  $30,0 \text{ МПа}$ . Вновь система находилась в покое для установления термодинамического равновесия, затем давление снижалось до  $25,0 \text{ МПа}$  и проводились соответствующие физико-химические анализы отобранных проб для изучения состава и свойств продуктов испарения. Отметим, что при изучении количества испарившегося конденсата на каждой стадии снижения давления нами принималось, что в этом количестве испарившегося конденсата имеется и доля оставшегося в бомбе pVT газа. В данном случае имеющиеся технические трудности (например, невозможность измерения плотности оставшегося в pVT-бомбе насыщенного конденсата, определения значения давления однофазного состояния системы и т.д.) не позволяют разделить количество испарившегося конденсата на добытый за счет подкачиваемого «сухого» газа и газ, оставшийся в бомбе после каждого этапа снижения давления. Как

видно из таблиц 1 и 2, после каждого этапа снижения давления свойства оставшейся в бомбе газоконденсатной смеси существенно отличаются от добытой продукции в процессе дифференциального истощения залежи. Например, если рекомбинированная система характеризовалась начальным конденсатосодержанием  $200 \text{ г/м}^3$  или  $267,83 \text{ см}^3/\text{м}^3$ , то после первого этапа снижения давления от 30,0 до 25,0 МПа оно составляло  $274,34 \text{ см}^3/\text{м}^3$ , что означает, что давление начала конденсации системы будет существенно больше по сравнению с исходным его значением, так как, с одной стороны, выросло конденсатосодержание и с другой – плотность оставшегося в бомбе конденсата.

Очевидно, что для доведения такой системы до однофазного состояния требуется давление больше 30,0 МПа. Это значит, что если оставшуюся в бомбе смесь сжимать без закачки «сухого» газа в пределах указанного интервала давления, затем истощать ее до 25,0 МПа, получим небольшое количество конденсата. Другими словами, при воздействии на оставшуюся в бомбе систему «сухим» газом доля испарившегося конденсата за счет закачки «сухого» газа в отобранной продукции будет несравнимо больше, чем за счет оставшегося в бомбе газа до закачки и поэтому этим количеством можно пренебречь.

Так завершался первый этап планируемых экспериментальных исследований, после чего система освобождалась от газоконденсатной смеси, затем заполнялась новой пробой для продолжения последующих работ.

Очередные эксперименты проводились по вышеприведенной схеме пошагового снижения дифференциального истощения залежи. Например, во второй серии экспериментов вначале давление поднималось до 30,0 МПа, и определялось давление начала конденсации, затем, соблюдая вышеприведенные правила, давление снижалось до 25,0 МПа и до 20,0 МПа, и определялись количество газа и конденсата и их свойства, после чего закачкой «сухого» газа давление в системе повышалось до 25,0 МПа и вновь снижалось до 20,0 МПа с обязательным проведением всех физико-химических анализов отбираемого газа и конденсата.

Таким образом, было проведено 5 серий экспериментов, из которых некоторые повторялись для экспертизы результатов на воспроизводимость. Полученная в результате проведенных экспериментов информация дала возможность оценить показатели процессов до и после воздействия на конденсат «сухим» углеводородным газом и выбрать вариант, при котором количество добываемого испарением конденсата становится максимальным.

Как было отмечено выше, при экспериментальных исследованиях были измерены стандартные физико-химические величины добываемого газа и конденсата. В таблицах 1 и 2 приведены сведения о полученных экспериментальных данных на каждом шаге снижения давления при выполнении процесса дифференциального истощения залежи до (табл. 1) и после (табл. 2) закачки «сухого» газа в систему.

**Таблица 1**

Результаты исследований по дифференциальному истощению залежей до воздействия (до закачки) на конденсат «сухим» газом

Ступени изменения давления (МПа)	Количество добываемого конденсата ( $10^{-6} \text{ м}^3$ )	Количество добываемого газа ( $10^{-3} \text{ м}^3$ )	Плотность добываемого конденсата ( $\text{кг/м}^3$ )	Количество оставшегося в бомбе PVT конденсата ( $10^{-6} \text{ м}^3$ )	Количество оставшегося в бомбе PVT газа ( $10^{-3} \text{ м}^3$ )	Отношение добываемого конденсата к начальному (%)
30-25	3.5	15.6	745.2	28.6	104.25	10.9
25-20	3.2	16.5	733.2	25.4	87.75	9.97
20-15	2.4	19.8	721.8	23.0	67.95	7.48
15-10	1.2	23.2	708.1	21.8	46.75	3.74
10-5	0.6	28.3	686.2	21.2	18.45	1.87

Таблица 2

Результаты исследований по дифференциальному истощению залежей  
после воздействия на конденсат «сухим» газом

Ступени изменения давления (МПа)	Количество добываемого конденсата ( $10^{-6}\text{м}^3$ )	Количество добываемого газа ( $10^{-3}\text{м}^3$ )	Плотность добываемого конденсата ( $\text{кг/м}^3$ )	Количество оставшегося в бомбе PVT конденсата ( $10^{-6}\text{м}^3$ )	Количество оставшегося в бомбе PVT газа ( $10^{-3}\text{м}^3$ )	Отношение добываемого конденсата к начальному (%)
30-25	3.1	16.3	749.3	25.5	104.25	9.65
25-20	2.9	18.7	738.2	22.5	87.75	9.03
20-15	1.8	22.3	725.6	21.2	67.95	5.61
15-10	0.9	24.0	710.7	20.9	46.75	2.80
10-5	0.6	29.5	687.1	20.7	18.45	1.87

Как видно из этих таблиц, в обоих случаях полученные результаты находятся в соответствии с классическими закономерностями, присущими процессу дифференциального истощения газоконденсатной залежи, т.е. наблюдается рост количества добываемого газа и убывание количества добываемого конденсата и его плотности по мере снижения давления. При этом в связи с ростом количества выпавшего в бомбе pVT конденсата отношение добытого конденсата к начальному его запасу по мере снижения давления тоже снижается.

Здесь почти во всех случаях отношение количества добытого конденсата к начальному его запасу до закачки газа больше по сравнению с данными после закачки «сухого» газа, кроме интервала давления 5-10 МПа, где эти величины равны друг другу.

На рис.1 дается сравнение величины конденсатосодержания добытой смеси на одинаковых шагах снижения давления в процессе дифференциального истощения газоконденсатной залежи до (1) и после (2) закачки в систему «сухого» углеводородного газа.

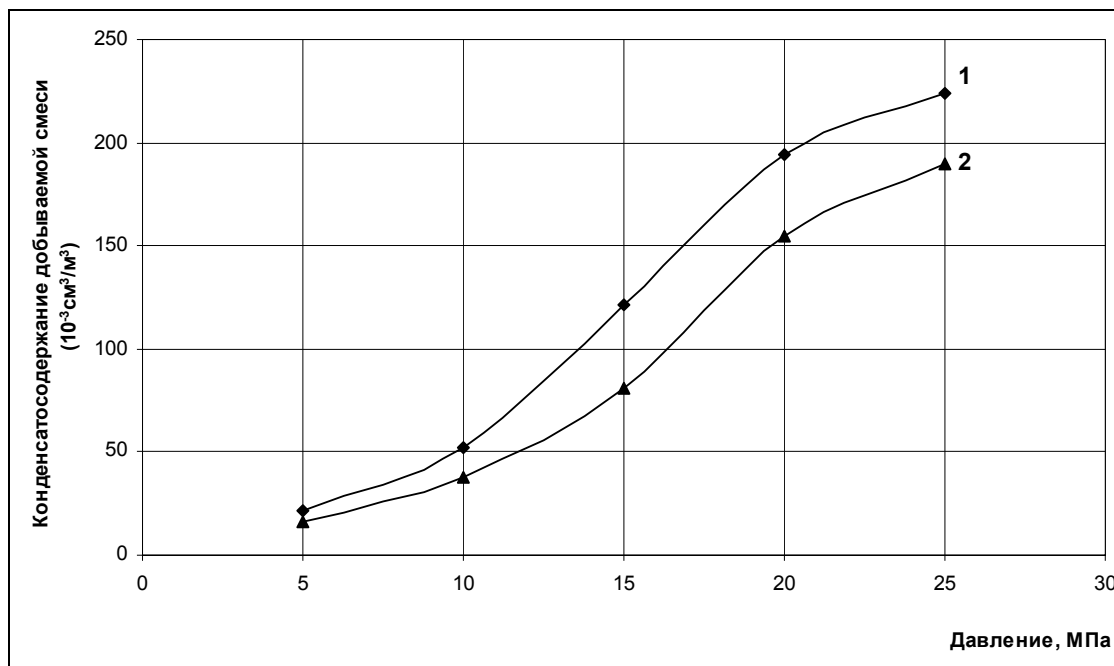


Рис. 1. Тенденции изменения конденсатосодержания смеси в зависимости от давления до (1) и после (2) закачки «сухого» углеводородного газа

Как видно из рис.1, при всех значениях давления конденсатосодержание добываемой смеси до закачки «сухого» газа больше, чем после закачки. Эта разница при высоких значениях давления более ощутима и по мере его снижения она сводится к минимуму. Абсолютно противоположная картина наблюдается на рис.2, где показаны зависимости количества оставшегося в бомбе pVT конденсата, приходящего на единицу объема смеси от давления. Здесь количество оставшегося в бомбе pVT конденсата в единице объема смеси до закачки «сухого» газа больше по сравнению с объемом после его закачки, при котором наблюдается уменьшение этой разницы по мере убывания давления.

Напомним, что начальное значение конденсатосодержания в экспериментах принималось  $200 \text{ г/м}^3$  или  $267,83 \text{ см}^3/\text{м}^3$ . На первом шаге снижением давления от 30,0 МПа до 25,0 МПа конденсатосодержание добываемой газоконденсатной смеси уменьшается от 267,83 до 224,36  $\text{см}^3/\text{м}^3$ . Очевидно, что это является следствием начала процесса конденсатовыделения из системы, т.к. интервал снижения давления находится в пределах выделения микроразродышей конденсата (Абасов и др., 2009 а), а также свободных капель, соответствующих давлению начала конденсации системы, определяемому традиционными ме-

тодами ( $P_{нач.к.}^T - 28,0 \text{ МПа}$ ). Это означает, что в бомбе pVT уже имеется осевший конденсат и поэтому конденсатосодержание добываемой смеси уменьшается по сравнению с начальным его значением, а количество конденсата в единице объема смеси, оставшегося в бомбе, наоборот, возрастает (в соответствии с общим балансом системы). Другими словами, при давлении 30,0-25,0 МПа из системы в первую очередь конденсируются сравнительно более тяжелые углеводороды, и поэтому плотность выделившегося конденсата выше по сравнению с начальной его плотностью. После этого в бомбу pVT подкачивается «сухой» углеводородный газ, и давление системы повышается до 30,0 МПа, при этом количество конденсата в единице объема газовой фазы снижается от 274,34 до 238,68  $\text{см}^3/\text{м}^3$ . В связи с этим снижается и величина давления начала конденсации до 26,8 МПа ( $P_{нач.к.}^T$ ), которая на 1,2 МПа меньше по сравнению с начальным (28,0 МПа). В связи с процессом дифференциальной конденсации вторично при давлении 25,0 МПа, несмотря на снижение конденсатосодержания добываемой смеси, убывает и количество конденсата в единице объема оставшейся в бомбе pVT смеси (потому что конденсатосодержание системы при вторичной

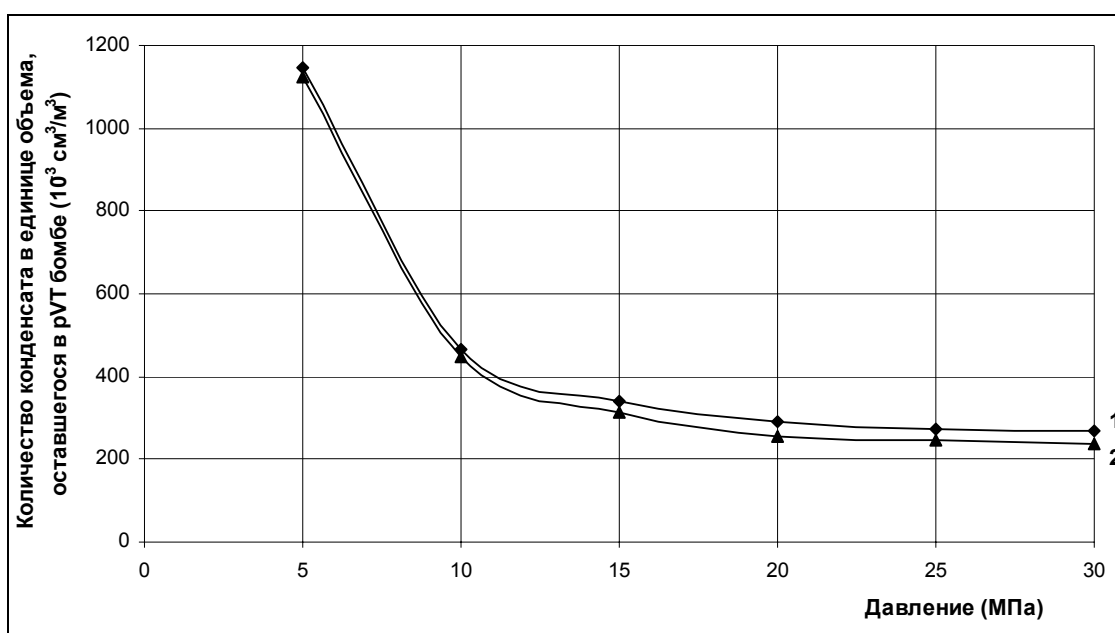
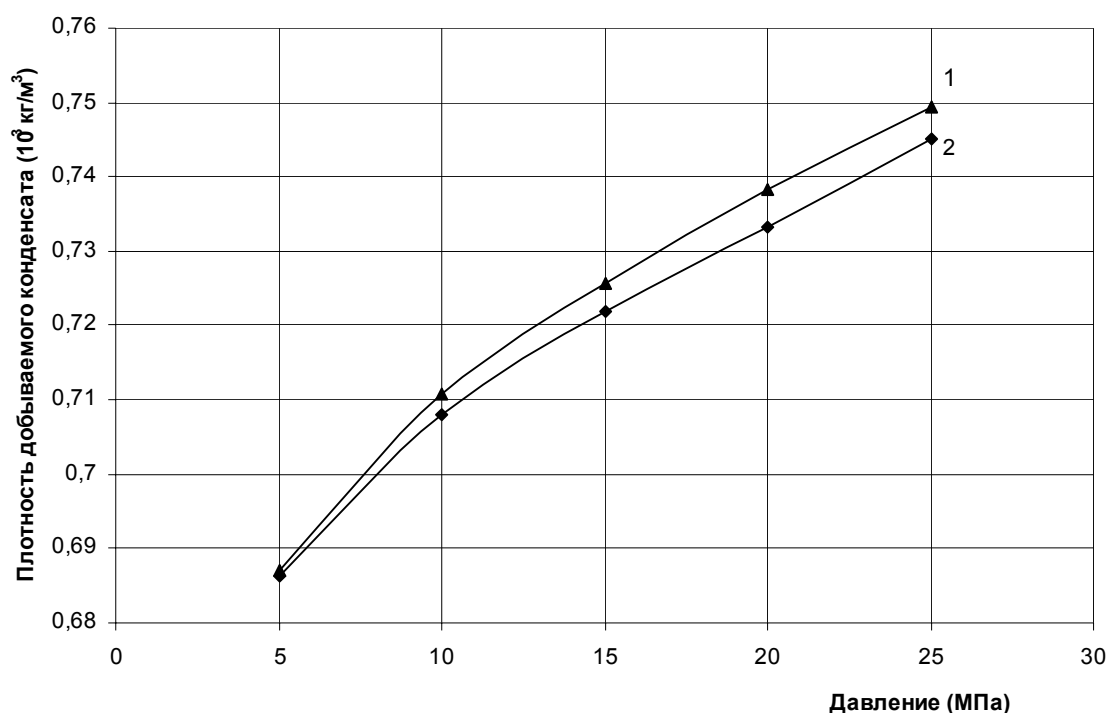


Рис. 2. Изменение количества конденсата в единице объема оставшейся в бомбе pVT смеси от давления до (1) и после (2) закачки «сухого» газа

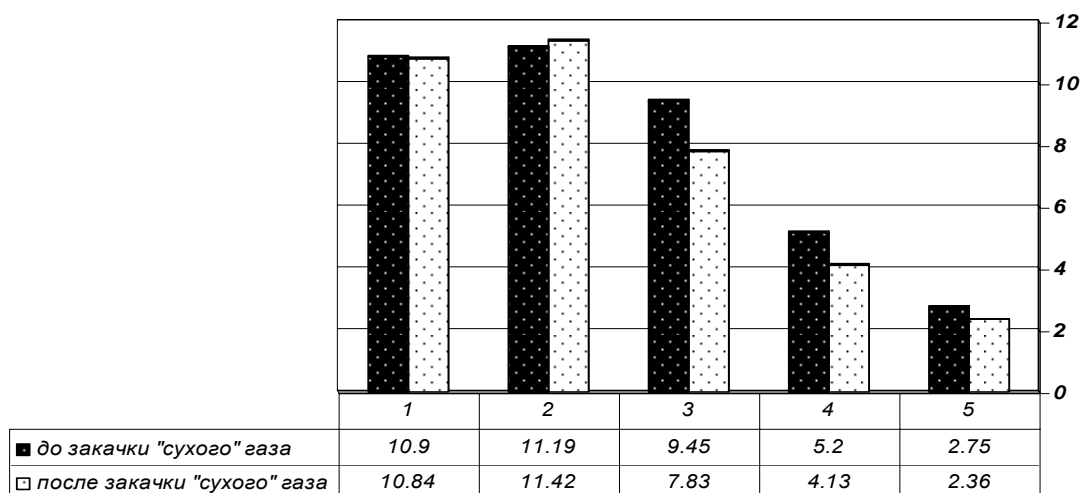


**Рис. 3.** Изменение плотности добываемого конденсата в зависимости от давления до (1) и после (2) закачки «сухого» газа

конденсации системы было меньше по сравнению с первым). Как видно из таблицы 1, то же самое наблюдается на всех шагах снижения давления. Только при величине давления, соответствующего концу процесса истощения, из-за небольшого количества испаряемой жидкости до и после закачки «сухого» газа

количества добываемого конденсата незначительно отличаются друг от друга.

На рис. 3 представлена зависимость изменения плотности добываемого конденсата до и после закачки «сухого» газа на различных ступенях снижения давления.



**Рис. 4.** Отношение добытых количеств конденсата (%) до и после закачки «сухого» газа на различных ступенях изменения давления. 1 – 30,0-25,0 МПа, 2 – 25,0-20,0 МПа, 3 – 20,0-15,0 МПа, 4 – 15,0-10,0 МПа, 5 – 10,0-5,0 МПа

Как видно из рис. 3, плотность добываемого конденсата после закачки «сухого» газа бывает всегда меньше, чем до закачки, но с падением давления разница между плотностями конденсата до и после закачки «сухого» газа сокращается. Это объясняется улучшением испаряющей способности закачиваемого «сухого» газа с ростом давления.

Вышеотмеченное показывает, что закачка «сухого» газа предпочтительна на начальной стадии эксплуатации залежи, так как в этот период значение пластового давления более высокое и конденсат лучше испаряется и переходит в газовую фазу.

На рис. 4 представлена гистограмма отношений количества добытого конденсата в процентах на каждом шаге снижения давления к количеству стабильного конденсата до и после закачки «сухого» газа (начальный – стабильный).

Основное количество добытого конденсата приходится на интервал давления 30,0- 20,0 МПа из-за того, что основная масса конденсата выпадает в этом интервале, и поэтому закачка «сухого» газа здесь характеризуется более высоким количеством отобранного испарением конденсата.

### Вывод

Впервые экспериментально изучен процесс воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины «сухим» углеводородным газом на всех этапах эксплуатации залежи и показана целесообразность его проведения с начальной стадии разработки.

### ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., АБАСОВ, Ш.Д., ГАМИДОВ, Н.Н. 1998. Исследование влияния различных факторов на испаряемость углеводородных конденсатов. *Известия АН Азербайджана, серия наук о Земле*, 2, 48-53.
- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ФАТАЛИЕВ, В.М., ГАМИДОВ, Н.Н., МАМЕДОВА, Г.Г. 2009а. О фазовых превращениях при разработке газоконденсатных залежей. *Доклады РАН*, 427, 6, 802-805.
- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А. 2009б. К методике определения конденсатоотдачи газоконденсатной залежи по данным эксплуатации. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 3, 34-38.
- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., ГАМИДОВ, Н.Н., РЗАЕВА, В.Г., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А. 2000. Повышение производительности газоконденсатных скважин обработкой их призабойной зоны «сухим» углеводородным газом. В матер. межд. конф. матем. Центра им. Н.И.Лобачевского: *Краевые задачи аэро-гидромеханики и их приложения*, посвященной 90-летию со дня рождения Г.Г.Тумашева. Казань, 21-24 ноября, Том 7.
- ГРИЦЕНКО, А.И., РЕМИЗОВ, В.В. 1995. Руководство по восстановлению продуктивности газоконденсатных скважин. ВНИИгаз. Москва. 65.
- ЗОТОВ, Г.А., АЛИЕВ, З.С. (под ред.). 1980. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин. Недр. Москва.
- ИЗЮМЧЕНКО, Д.В., ЛАПШИН, В.И., НИКОЛАЕВ, В.А., ТРОИЦКИЙ, В.М., ГАТИН, Р.И. 2010. Конденсатоотдача при разработке газоконденсатных залежей. *Газовая промышленность*, 1, 24-27.
- МИСКЕВИЧ, В.Е. 2006. Экспериментальное исследование растворимости конденсата, выделившегося в пласте. *Газовая промышленность*, 4, 42-46.
- НИКОЛАЕВ, О.В., НИКОЛАЕВ, В.А. 2011. Влияние эффектов релаксации на извлечение углеводородов из пласта при разработке газоконденсатного месторождения. *Газовая промышленность*, 2, 12-14.
- ЭФРОС, Д.А. 1963. Исследования фильтрации неоднородных систем. Гостоптехиздат. Ленинград. 350.