

## **ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ ОБВОДНЕННЫХ ГАЗЛИФТНЫХ СКВАЖИН**

Кабилов М.М., Ли Г.С., Нгуен Х.Н., Каддури Абд С.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*В статье обоснована целесообразность использования иштуцерных диспергаторов специальной конструкции для улучшения структуры газожидкостной смеси уменьшения потерь на трения. Приведены результаты промысловых исследований на скважинах..*

В условиях месторождений Западной Сибири газлифтный способ эксплуатации показал хорошие результаты: уменьшилось количество ремонтов скважин, упростилось обустройство скважин и т.д. На Правдинском и Федоровском месторождениях в условиях массового применения газлифта достигнуты достаточно высокие коэффициенты полезного действия компрессорных подъемников.

Вместе с тем по мере роста обводненности продукции скважин эффективность работы газлифтных подъемников снижалась. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, физические свойства трехкомпонентных смесей отличаются от газонефтяных. При интенсивном выделении растворенного газа в присутствии воды происходит образование эмульсии, вязкость которой может быть как больше, так и меньше вязкости нефти. Абсолютное значение эффективной вязкости системы "нефть-газ-вода" будет зависеть от процентного содержания в смеси каждого компонента, вязкости их, дисперсности системы и т.д. Во-вторых, по мере роста обводненности продукции скважин происходит изменение относительной скорости движения газа и возрастание средней плотности нефте-газо-водяной смеси. Все эти процессы в стволе газлифтных скважин происходят в условиях уменьшения общего количества газа, поступающего из пласта вместе с нефтью.

Таким образом, рост обводненности продукции скважин сопровождается увеличением суммарных потерь давления, снижением эффективности работы газа, увеличением расхода газа высокого давления и уменьшением дебитов скважин. В связи с этим одной из проблем эксплуатации обводненных скважин

газлифтным способом является повышение эффективности использования энергии, подводимой к скважине с рабочим агентом. Решение этой проблемы возможно следующими способами:

1) снижение до минимума потерь энергии на дросселирование газа в пусковых и рабочих клапанах. Это достигается путем создания конструкций пусковых клапанов, гарантирующих освоение скважин с последующим закрытием пусковых отверстий, выбором оптимальной глубины установки пусковых и рабочих клапанов;

2) снижение до минимума потерь энергии в потоке за счет уменьшения относительной скорости движения газовой фазы и предотвращения образования высоковязких эмульсий. Для этой цели можно применять искусственное диспергирование газовой фазы, растворение части газа в жидкости при рабочем давлении, изменение свойств жидкой фазы и межфазной границы раздела за счет применения добавок, влияющих на относительную скорость газовой фазы, стойкость пены, вязкость эмульсии и структуру нефте-газо-водяного потока.

Наиболее просто можно объяснить роль искусственного диспергирования газовой фазы в повышении коэффициента полезного действия газлифтного подъемника исходя из следующей формулы [1]:

$$\eta = \frac{1}{\frac{FC_s}{Q} \frac{P_1 - P_2}{H\rho_{cm}} + 1}, \quad (1)$$

где  $\eta$  - коэффициент полезного действия газлифтного подъемника;

$C_s$  - относительная скорость для газа;

$Q$  - расход жидкости;

$F$  - площадь поперечного сечения подъемника;

$P_1$  - давление в начале подъемника;

$P_2$  - давление на устье скважины;

$H$  - длина подъемника;

$\rho_{cm}$  - средняя плотность газожидкостной смеси.

Величины  $F$  и  $Q$  в условиях одной и той же скважины можно менять в небольших пределах. Что же касается относительной скорости  $C_s$ , которая зависит

от структуры газожидкостного потока, то изменение ее возможно в широких пределах.

В УфНИИ с соавторами впервые был предложен метод повышения к.п.д. компрессорного лифта, основанный на применении диспергаторов. В лабораторных условиях и в нескольких скважинах Шкаповского месторождения был испытан глубинный диспергатор, состоящий из набора штуцеров, собранных в отрезке насосно-компрессорных труб.

Однако промысловые исследования по выбору диспергаторов были проведены в ограниченном количестве скважин. Поэтому результаты экспериментов не могли быть использованы для скважин Правдинского и Федоровского месторождений, работающих в несколько иных условиях и дающих нефть с водой.

Учитывая важность решения проблемы эффективной эксплуатации обводненных газлифтных скважин в условиях месторождений Западной Сибири и слабую изученность процессов, происходящих в лифте при установлении глубинного диспергатора, были проведены промышленные испытания работы различных конструкций диспергаторов на скважинах Правдинского месторождения.

В качестве диспергаторов газа могут применяться различные устройства: эжекторы, пористые материалы, различные насадки, шайбы с малыми диаметрами и др. Основные требования, предъявляемые к таким устройствам, определяются следующими соображениями. При введении газа в нижнюю часть подъемника через специальное устройство для его дробления в жидкости затрачивается работа, которая может быть определена через объемный расход жидкости и газа. Очевидно, основным критерием целесообразности применения диспергатора является сопоставление эффекта, получаемого в результате его применения, с энергетическими затратами, пошедшими на дробление газа. Для решения этой задачи, прежде всего, необходимо установить предельные нормы диспергирования газа и жидкости.

Как известно, величина относительной скорости газа определяется дисперсностью газа в жидкости. Однако влияние относительной скорости на

подъем жидкости зависит также от параметров, определяющих технологически режим подъемника ( $f, Q, V$ ).

Поскольку эмульсионная структура наиболее предпочтительна, одним из условий ее сохранения у устья подъемника является:

$$d_{\text{нкт}} > d_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $d_{\text{нкт}}$  - диаметр подъемных труб;

$d_{\text{п}}$  - диаметр пузырька газа у устья скважины.

Если предположить, что рост пузырька газа в подъемнике по мере его перемещения к устью подчиняется закону Бойля-Мариотта и диффузионные процессы, способствующие его росту, отсутствуют, то связь между давлением у башмака  $P_1$  и устья подъемника  $P_2$ , а также между радиусом пузырька у устья и его размером у башмака может быть представлена в виде:

$$R_2 = R_1 \sqrt[3]{\frac{P_1}{P_2}}, \quad (3)$$

Выбор типа диспергатора для получения желаемых структур смеси в подъемных трубах определяется в основном двумя моментами:

- возможностью его использования при осуществлении требуемого технологического процесса;
- удовлетворительным к.п.д. диспергатора.

Расчеты показывают, что для получения структуры газожидкостной смеси, в которой размеры газовых пузырьков у устья не превышают 1 мм, необходимо (при  $P_1/P_2 = 100$ ) после диспергатора создавать пузырьки диаметром не более 0,2 мм.

Для определения полезной работы, необходимой для получения структуры заданной дисперсности, можно поступить следующим образом. Предположим, что объем газа  $V$  при давлении  $P$  дробится каким-либо образом в жидкости на  $n$  равновеликих объемов (сфер) радиусом  $r$ . В каждой сфере газ подвергается дополнительному сжатию за счет действия лапласовых сил и, таким образом, после дробления уже находится под давлением  $P + \Delta P$ , где  $\Delta P = 2\sigma/r$ .

Если предположить, что процесс дробления идет в изотермических условиях в связи с тем, что теплоемкость газа в десятки раз меньше теплоемкости

жидкости, а поверхность контактирования газа и жидкости велика, то можно записать равенство:

$$PV = \frac{4}{3} \pi r^3 n(p + \Delta p), \quad (4)$$

из которого получим:

$$n = \frac{3vp}{4\pi r^3 (p + \Delta p)}, \quad (5)$$

Тогда полезная работа, затраченная на диспергирование газа, может быть определена равенством [1]:

$$A = \sigma \cdot 4\pi r^2 n = \frac{3vp\sigma}{pr + 2\sigma} \quad (6)$$

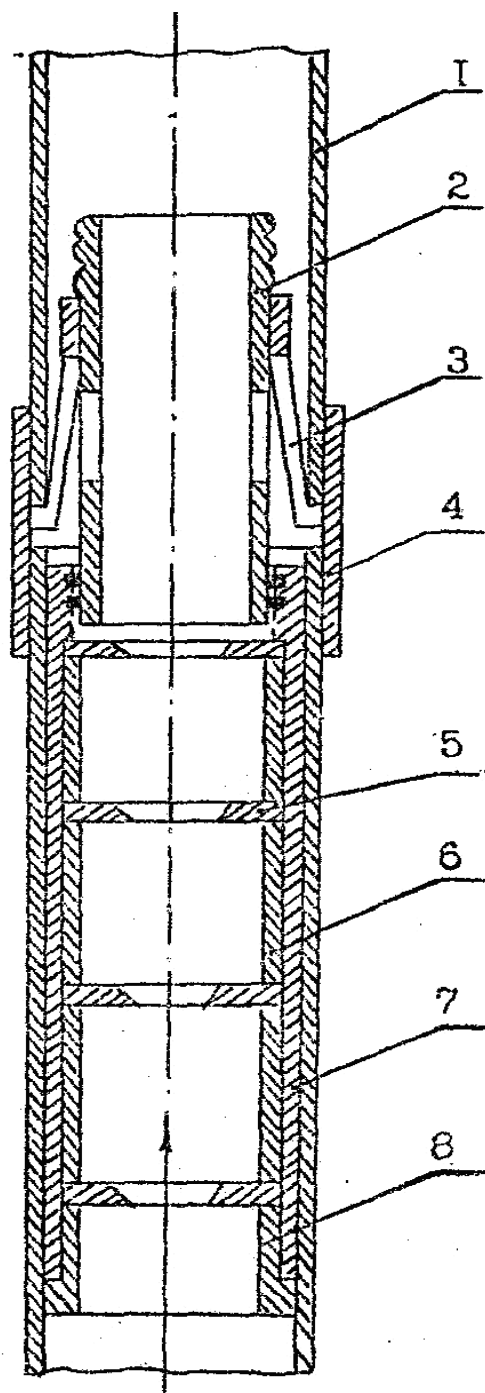
Понятно, что общая работа, затраченная на дробление газа в жидкости, может превышать полезно затраченную работу в десятки и даже сотни раз.

Тип и конструкция диспергаторов, предназначенных для создания благоприятных структур нефте-газо-водяной смеси в подъемных трубах газлифтных скважин, зависят от множества факторов. В технической литературе приводятся описания принципиальной конструкции различных диспергаторов: эжекторных, различных насадок, пористых и шайбных. На основе анализа результатов экспериментальных исследований работы диспергаторов, выполненных разными авторами, было установлено, что в условиях газлифтных скважин наиболее перспективными являются штуцерные диспергаторы (рис. 1). Штуцерный диспергатор состоит из корпуса 6, верхний конец которого заканчивается внутренним буртиком и резьбой. Нижний конец корпуса штуцера также заканчивается резьбой. Первый сверху штуцер (шайба с отверстием) 5 устанавливается на выступе корпуса. Заданное расстояние между штуцерами обеспечивается втулками 7. После установки последнего штуцера, втулки и штуцеры зажимаются хвостовиком 8. Таким образом, количество штуцеров и расстояние между ними легко подобрать изменением линейных размеров корпуса и втулок. В верхний конец корпуса штуцера ввертывается переводник с ловильной шейкой для производства спуско-подъемных операций методом канатных работ. Диспергатор фиксируется на заданной глубине между концами насосно-компрессорных труб с помощью стопора.

Одним из требований к глубинным диспергаторам, предназначенным для использования в газлифтных скважинах, является возможность их спуска на канатных инструментах. Для этого рекомендуется использовать специальный спуско-подъемный инструмент для стопора, представленный на рис. 2 спуско-подъемных инструмент состоит из спуско-подъемного стакана, служащего для сжатия лепестков стопора, корпуса 6, пружины 5, плунжера 4 и ловильной шейки 1. Пружина и плунжер необходимы для освобождения стопора из спуско-подъемного стакана. Освобождение стопора производится "встряхиванием". Подъем диспергатора производится методом канатных работ также с помощью спуско-подъемного снаряда. При спуске данного снаряда до стопора производятся небольшие удары вниз с помощью ясса, при этом лепестки стопора снижаются, а ловильная шейка залавливается цанговым патроном. После того, как лепестки стопора полностью войдут в спуско-подъемный стакан, диспергатор можно поднимать.

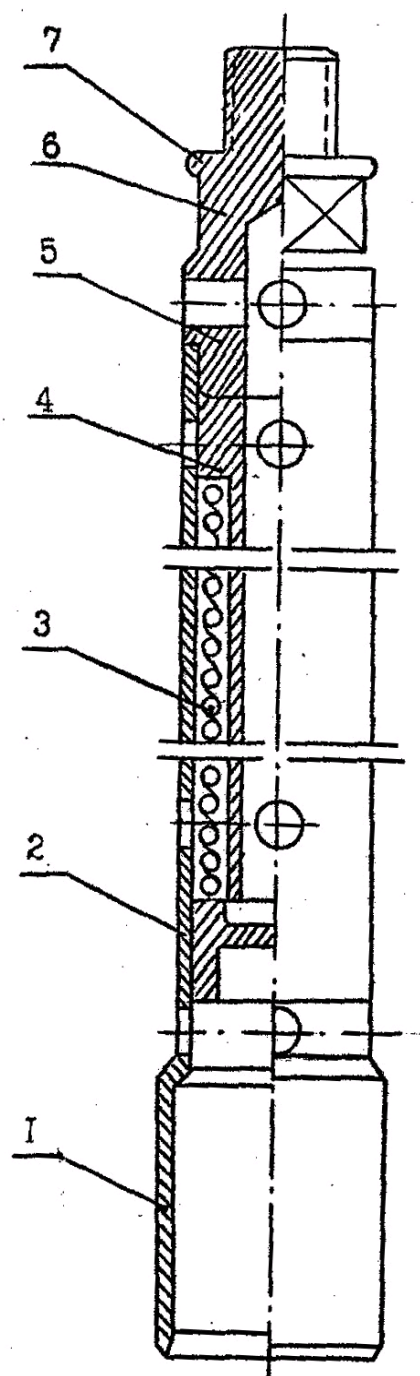
Эффективность работы диспергаторов, выражающаяся в уменьшении удельного расхода рабочего газа, зависит от многих факторов:

1. продуктивной характеристики пласта, пластового давления, обводненности продукции скважин, физико-химических свойств нефти, газа и воды;
2. режима работы газлифтной скважины: дебита по жидкости, расхода газа высокого давления, устьевого давления и глубины ввода газа;
3. конструкции применяемого диспергатора (диаметра штуцера, количество штуцеров, расстояние между штуцерами) и глубины его установки в подъемных трубах.



- 1 - насосно-компрессорные трубы;  
 2 - стопор;  
 3- переводник с ловильной шейкой;  
 4-муфта; 5 - штуцер;  
 6 - стопорное кольцо;  
 7 - корпус диспергатора;  
 8 - хвостовик

Рисунок 1. Установка стопора с диспергатором в подъемных трубах (НКТ)



- 1 - спуско-подъемный стакан;  
 2 - корпус; 3 - пружина;  
 4 - плунжер; 5 - переводник;  
 6 - шейка под ключ;  
 7 - ловильная шейка

Рисунок 2. Спуско-подъемный инструмент для стопора

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к постановке и анализу многофакторного эксперимента по определению максимума снижения удельного расхода газа при различных сочетаниях факторов. Однако выполнение полного многофакторного эксперимента связано с проведением огромного количества весьма трудоемких промысловых опытов. Поэтому задача выбора условий эффективного применения диспергаторов может быть упрощена и сведена к следующему:

1. подбор скважины, в которой может быть получен эффект от применения диспергатора;
2. выбор рациональной конструкции диспергатора (диаметра и количества штуцеров);
3. выбор режима работы скважины с диспергатором, обеспечивающего максимальное уменьшение расхода газа высокого давления.

Исследование влияния диспергаторов на структуру потока было проведено на 25 газлифтных скважинах Правдинского месторождения. Выбранные скважины отличались дебитом, коэффициентами продуктивности, обводненностью продукции и некоторыми другими рабочими параметрами. В табл. 1 приведены характеристики экспериментальных скважин.

Комплекс исследований был произведен при широком диапазоне изменения количества и диаметров штуцеров. При этом количество штуцеров изменялось от 2 до 10, а диаметры их от 10 до 30 мм. В процессе экспериментов производились измерения дебитов скважин по жидкости, расхода газа низкого и высокого давления, регистрации устьевого и рабочего давления. Были фиксированы забойные давления и поинтервальные замеры давления в подъемных трубах.

При замере дебитов по жидкости давление сепарации в замерном газонефтяном сепараторе поддерживалось постоянным, что свидетельствовало о наличии стационарного режима работы скважины. Для обеспечения качественного измерения основных рабочих характеристик скважин замеры производились круглосуточно. При этом скважина на каждом режиме работала не менее 16 часов. Измерения рабочего и устьевого давлений производились двухперьевым самопишущим манометром.



Поиск оптимальной конструкции диспергаторов производится методом эволюционного планирования Бокса, позволяющего достаточно быстро и при небольшом числе испытаний находить решение задачи.

До установки диспергатора скважины исследовались по методике АЗНИИДН. Затем в скважину спускали диспергатор и исследования повторяли. После каждого изменения конструкции диспергатор строились характеристические кривые скважины. По окончании исследований характеристические кривые, полученные без диспергатора и с диспергатором, сравнивались.

Как было отмечено выше, эффективность работы диспергаторов определяется путем сопоставления характеристических кривых лифта и оценки значений относительной скорости для газа без диспергатора и с диспергатором. Характеристические кривые  $Q_{ж} (V_r)$  для группы исследовавшихся скважин приведены на (рис. 3).

Из представленных графиков видно, что применение диспергаторов в большинстве случаев уменьшает удельные расхода газа в рабочей области кривых. Однако это достигается не во всех режимах работы скважин. Имеются случаи, когда использование диспергатора не дает эффекта (скв. 67, 474, 496, 700, 705). Это обстоятельство указывает на необходимость поиска рациональных границ применения глубинных штуцерных диспергаторов.

В большинстве случаев характеристические кривые для газлифтной скважины с диспергатором и без диспергатора пересекаются. Как показали исследования, расширение интервалов изменения расхода газа высокого давления позволяет получить две точки пересечения характеристических кривых.

Некоторое увеличение удельного расхода газа при работе лифта с диспергатором в области малых расходов газа объясняется недостаточной компенсацией потерь энергии в диспергаторе за счет уменьшения потерь на скольжение. При больших удельных расходах газа, очевидно, применение диспергатора неэффективно из-за неустойчивости образовавшейся структуры газожидкостного потока.

Таблица 1

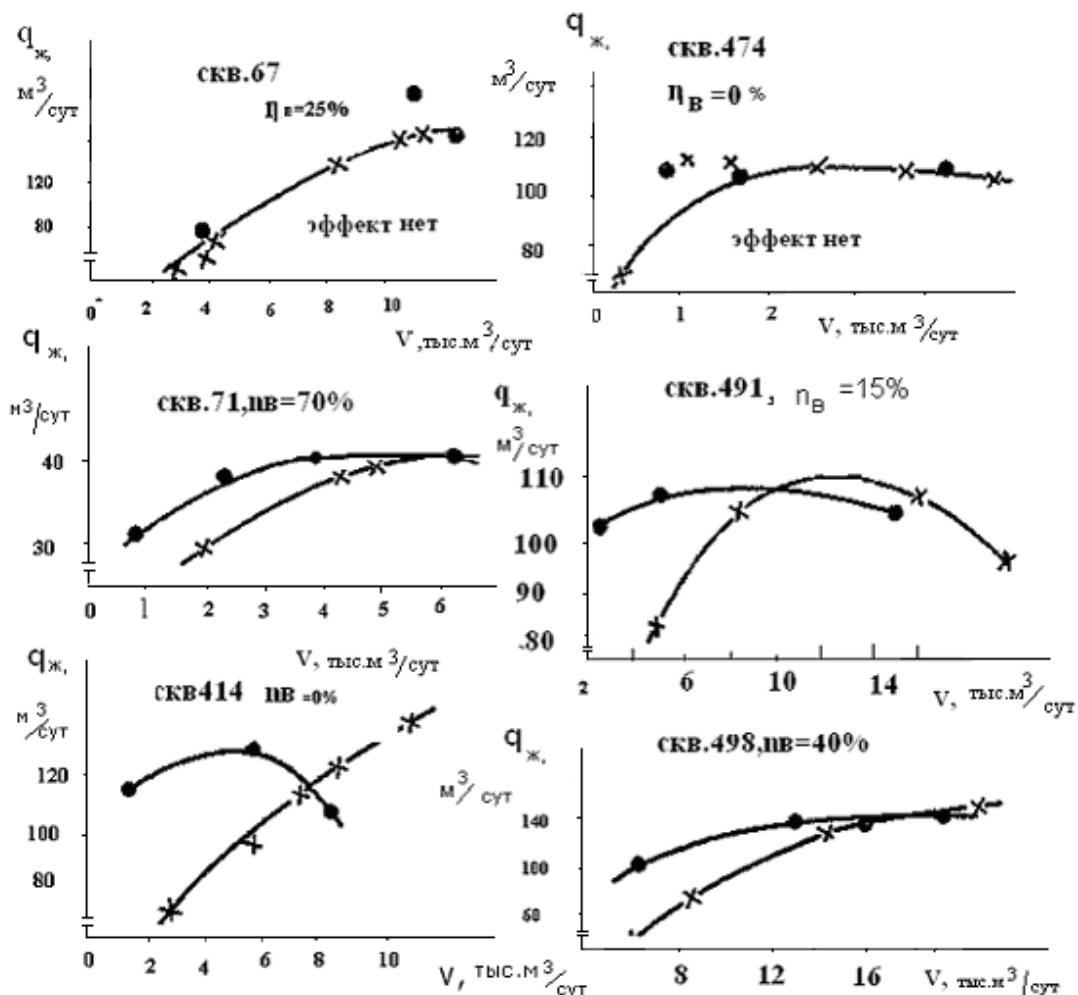
**Характеристика скважин Правдинского месторождения  
по изучению эффективности работы диспергаторов**

№ скважин	Диаметр лифта, мм	Обводненность продукции, %	Пластовое давление, МПа	Глубина ввода газа, м	Конструкция диспергатора	Глубина спуска диспергатора, м
67	60	25	22,3	-	2шт x 20мм	1348
71	60	70	21,0	1966	4 x 20	1012
414	60	20	21,0	1733	4 x 20	1350
472	60	30	19,5	2150	2 x 20	1570
474	60	б/в	17,2	-	5 x 30	1290
491	60	15	20,0	-	2 x 20	1517
496	60	40	19,0	1996	2 x 20	1375
535	60	10	20,0	1660	2 x 20	1312
591	60	60	15,5	1630 2100	3 x 20	1322
606	60	20	19,5	-	2 x 20	1400
635	60	б/в	19,8	2011	4 x 20	1350
700	60	30	18,2	1970	4 x 20	1183
701	60	40	18,2	1996	4 x 20	1360
705	48	25	19,2	1870	3 x 15	1370

На скв. 792 Правдинского месторождения были, проведены исследования работы лифта при различных конструкциях диспергатора. По результатам этих опытов построены графики зависимости дебита скважины от расхода газа, высокого давления (рис. 5). Графики построены для различных конструкций диспергаторов, спущенных на одну и ту же глубину 800 м. Из приведенных графиков видно, что степень эффективности работы диспергатора зависит от ее конструкции и от расхода рабочего газа. Наибольшее уменьшение удельного расхода рабочего газа на этой скважине получено при использовании диспергатора конструкции 8 x 20.

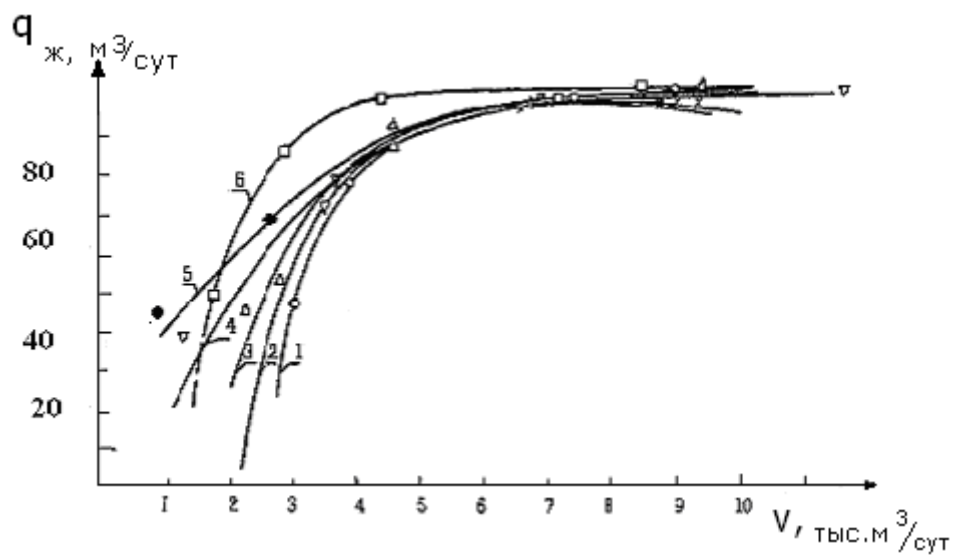
Таким образом, изменяя конструкцию штуцерного диспергатора, можно управлять эффективностью работы газлифтной скважины.

Аналогичные исследования были проведены на скв. 67 и 792 при двух значениях глубины спуска диспергаторов. Установлено, что на работу скважин, кроме конструкции диспергатора, влияет и глубина ее установки в подъемных трубах.



x - работа без диспергатора; • - то же с диспергатором

Рисунок 3. Характеристические кривые газлифтных скважин Правдинского месторождения



1-без диспергатора; 2-4x10; 3-4x20; 4-6x25; 5-10x25; 6-8x10

Рисунок 4. График зависимости дебита скважины 792 от расхода газа высокого давления при различных конструкциях диспергаторов

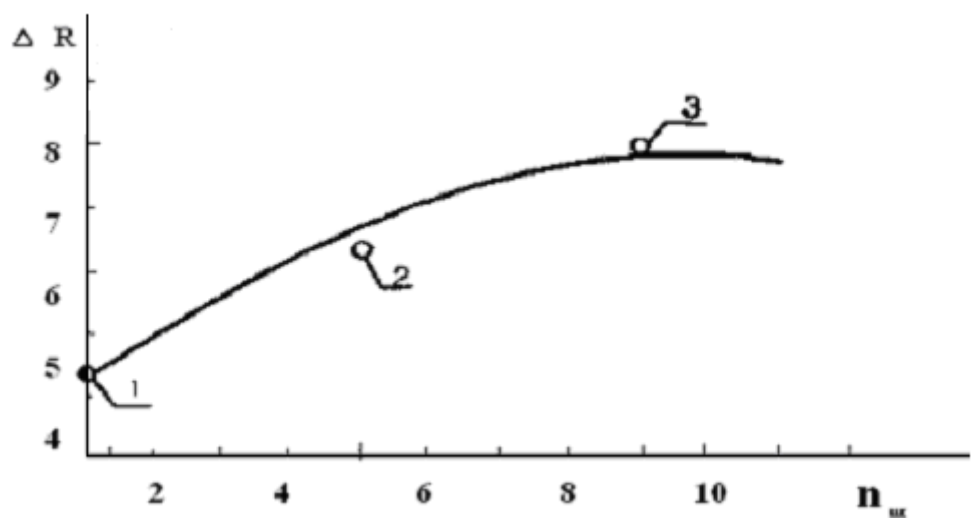


Рисунок 5. График зависимости изменения удельного расхода газа высокого давления от количества шайб диаметром 20 мм при дебите скважин  $85 \text{ м}^3/\text{сут}$

Для выяснения характера влияния диаметра и количества шайб в диспергаторе были проведены исследования их работы при фиксированной глубине установки диспергаторов и дебите скважин, равном  $85 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Поэтому следует решить задачу о выборе оптимальной конструкции диспергаторов для конкретной скважины.

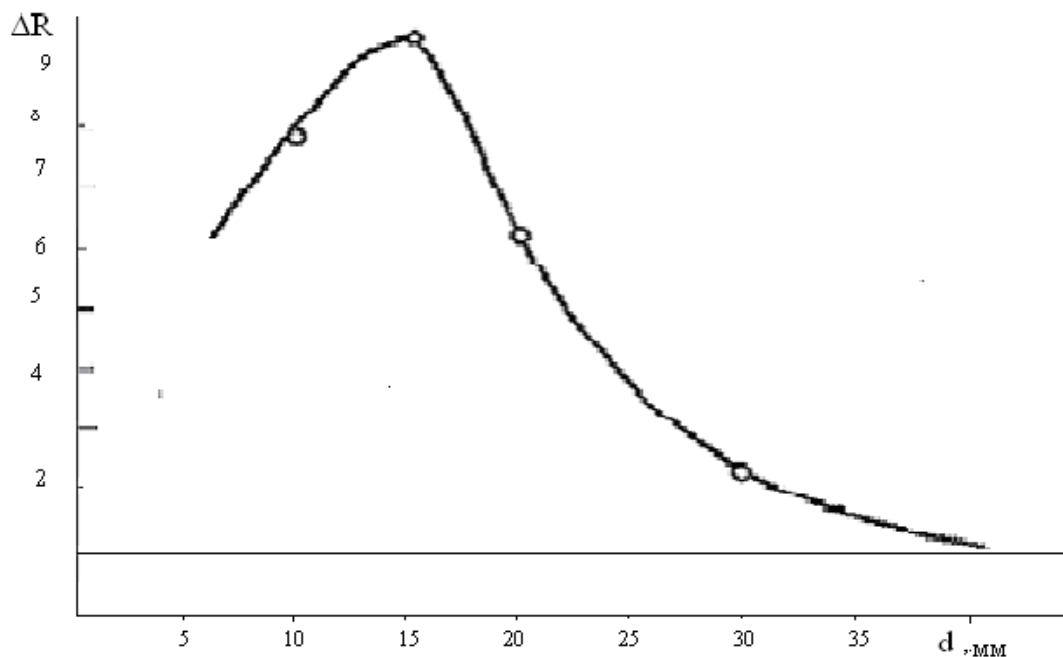


Рисунок 6. График зависимости изменения удельного расхода газа высокого давления от диаметра шайб при дебите скважин  $85 \text{ м}^3/\text{сут}$

#### Выводы:

1. При эксплуатации газлифтных скважин на месторождениях Западной Сибири наблюдается ухудшение показателей работ газлифта во времени, в связи с увеличением суммарных потерь давления из-за роста обводненности добываемой продукции.

2. В работе показана возможность уменьшения потерь давления в лифте путем применения шайбных диспергаторов для улучшения структуры газожидкостной смеси и уменьшение потерь давления.

3. В статье приведены возможные конструкции штуцерных диспергаторов и положительные результаты промысловых испытаний их на скважинах.

### Литература

1. Муравьев И.М., Репин Н.Н. Исследование движения многокомпонентных смесей в скважинах. -М.: Недра, 1972, -230с.
2. Репин Н.Н., Яхин С.Г. К вопросу изучения движения трёхфазных смесей в вертикальных трубах. В сб. “технология и техника нефтедобычи”. -Уфа.: Башкнигоиздат, 1965, с. 35-40с.
3. Васильев Ю.Н, Аузбаев Д. Экспериментальное изучение движения газонефтяной смеси по горизонтальным трубам. “Нефтяное хозяйство”, 1961, №4.