

ДИСПЕРГАТОРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗЛИФТНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ

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

Уфимский государственный нефтяной технический университет

При эксплуатации газлифтных скважин для уменьшения удельного расхода газа можно использовать диспергаторы газа, установленные в насосно-компрессорных трубах. В статье приводится методика подбора оптимальной конструкции глубинных штуцерных диспергаторов.

Под оптимальной конструкцией штуцерных диспергаторов понимается такое сочетание количества и диаметра штуцеров, при которых достигается наибольший эффект от применения диспергатора.

Эффективность работы диспергаторов зависит от множества факторов, значения каждого из них которых изменяются в некоторых пределах, При промысловых исследованиях могут быть найдены печатания характеризующие работу диспергаторов при различных сочетаниях значений факторов. Затем можно построить математическую модель процесса. Однако при этом следует иметь в виду следующие обстоятельства:

1. промысловые измерения обычно имеют значительную погрешность. А при "пассивном" эксперименте не извлекается информация об ошибке эксперимента, следовательно, не представляется возможным проверить гипотезу об адекватности выбранной математической модели результатам эксперимента;
2. при сравнительно малом числе замеров невозможно построить критерий для отбрасывания аномальных измерений, содержащих грубые ошибки;
3. при исследовании газлифтных скважин диаметр и количестве штуцеров изменяются в сравнительно узком интервале значений, что может привести к большим ошибкам в определении коэффициентов регрессии, а следовательно, в определении оптимальной конструкции диспергаторов.

Для избежания этих недостатков рекомендуется использовать современные статистические методы математического планирования эксперимента. Одним из таких методов, осуществляющий активный эксперимент и дающий достаточно надежные результаты в условиях больших погрешностей, является метод циклического проведения факторных экспериментов - эволюционное

планирование Бокса. Ниже кратко излагается суть метода применительно к нахождению оптимальной конструкции диспергаторов для газлифтных скважин.

Задача нахождения оптимальной конструкции диспергатора заключается в том, чтобы путем выбора рационального сочетания диаметра и количества штуцеров вывести скважину на режим с максимальной экономией газа высокого давления.

Эта задача на языке, принятом в математической теории эксперимента, формулируется так: варьируя переменными (факторами) $d_{ш}$ и $n_{ш}$ нужно найти наибольшее значение функции:

$$|\Delta R| = f(d_{ш} + n_{ш}), \quad (1)$$

аналитический вид которой заранее неизвестен. В дальнейшем изложении пространство, по осям координат которого откладываются значения варьируемых факторов, будем называть факторным пространством, а график функции $|\Delta R| = f(d_{ш} + n_{ш})$ поверхностью отклика (рис. 1).

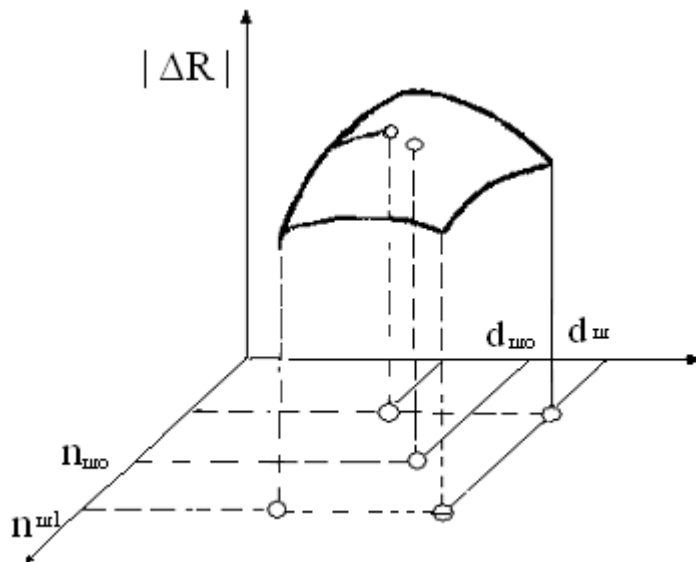


Рисунок 1. К определению максимума функции

Итак, требуется, варьируя факторами $d_{ш}$ и $n_{ш}$, найти наибольшее положение поверхности отклика (ΔR).

Фактором, характеризующим процесс в наших исследованиях является уменьшение удельного расхода рабочего газа ΔR . Факторами, определяющими процесс являются диаметр штуцера $d_{шт}$ и количество штуцеров $n_{шт}$.

Исследование проводится в следующей последовательности:

1. Выбор основного уровня и интервалов варьирования. Основной уровень $d_{шт0}$ и $n_{шт0}$ в экспериментах выбирается произвольно. Пусть минимальные значения диаметра и количества штуцеров $d_{шт1}$ и $n_{шт1}$; максимальные значения, тех же параметров $d_{шт2}$ и $n_{шт2}$. Шаг варьирования для обоих параметров подсчитывается по формулам:

$$\Delta d_1 = d_{шт2} - d_{шт0} = d_{шт0} - d_{шт1}$$

$$\Delta n_2 = n_{шт2} - n_{шт0} = n_{шт0} - n_{шт1} \quad , \quad (2)$$

2. Составляется таблица - протокол проведения исследований (табл. 1).

3. Проводятся последовательно 5 опытов (снятие пяти характеристических кривых) при фиксированных глубинах спуска диспергатора и при следующих сочетаниях диаметра и количества штуцеров.

Первое сочетание - снимается характеристическая кривая скважины при определяющих процесс факторах, равных $d_{шт0}$ и $n_{шт0}$. Определяется уменьшение удельного расхода рабочего газа ΔR_0 . При оптимальном режиме; данные заносятся в первую строку таблицы протокола 1.

Таблица 1

Протокол проведения исследований

№ режима	Диаметр штуцера, мм	Количество штуцеров, шт.	Дебит скважин, т/сут	Расход рабочего газа тыс. т/сут	ΔR
1	$d_{шт0}$	$n_{шт0}$	$Q_{ж0}$	V_0	ΔR_1
2	$d_{шт1}$	$n_{шт1}$	$Q_{ж11}$	V_{11}	ΔR_{11}
3	$d_{шт2}$	$n_{шт1}$	$Q_{ж21}$	V_{21}	ΔR_{21}
4	$d_{шт2}$	$n_{шт2}$	$Q_{ж22}$	V_{22}	ΔR_{22}
5	$d_{шт1}$	$n_{шт2}$	$Q_{ж12}$	V_{12}	ΔR_{12}

Второе сочетание - снимается характеристическая кривая скважины при определяющих процесс факторах, равных $d_{ш1}$ и $n_{ш1}$. Определяется уменьшение удельного расхода рабочего газа ΔR_{11} . При оптимальном режиме; данные заносятся во вторую строку таблицы протокола 1.

Третье сочетание - снимается характеристическая кривая скважины при определяющих процесс факторах, равных $d_{ш2}$ и $n_{ш1}$. Определяется уменьшение удельного расхода рабочего газа ΔR_{21} при оптимальном режиме; заносятся в третью строку протокола 1.

Четвертое сочетание - снимается характеристическая кривая скважины при определяющих процесс факторах, равных $d_{ш2}$ и $n_{ш2}$. Определяется уменьшение удельного расхода рабочего газа ΔR_{22} при оптимальном режиме; данные заносятся в четвертую строку таблицы - протокола 1.

Пятое сочетание - снимается характеристическая кривая скважина при определяющих процесс факторах, равных $d_{ш1}$ и $n_{ш2}$. Определяется уменьшение удельного расхода рабочего газа ΔR_{12} при оптимальном режиме; данные заносятся в пятую строку таблицы протокола 1.

Все замеры проводятся на установившихся режимах. Для исключения погрешностей, связанных с пульсирующей работой скважины, при подсчете дебитов скважин, расхода газа высокого давления соответствующие параметры усредняются за 5 или более часов работы скважины на стационарном режиме.

Таким образом, реализуется полный факторный эксперимент типа 2^2 с дополнительной центральной точкой $d_{ш0}$ и $n_{ш0}$. Расположение точек в факторном пространстве представлено на рис. 1.

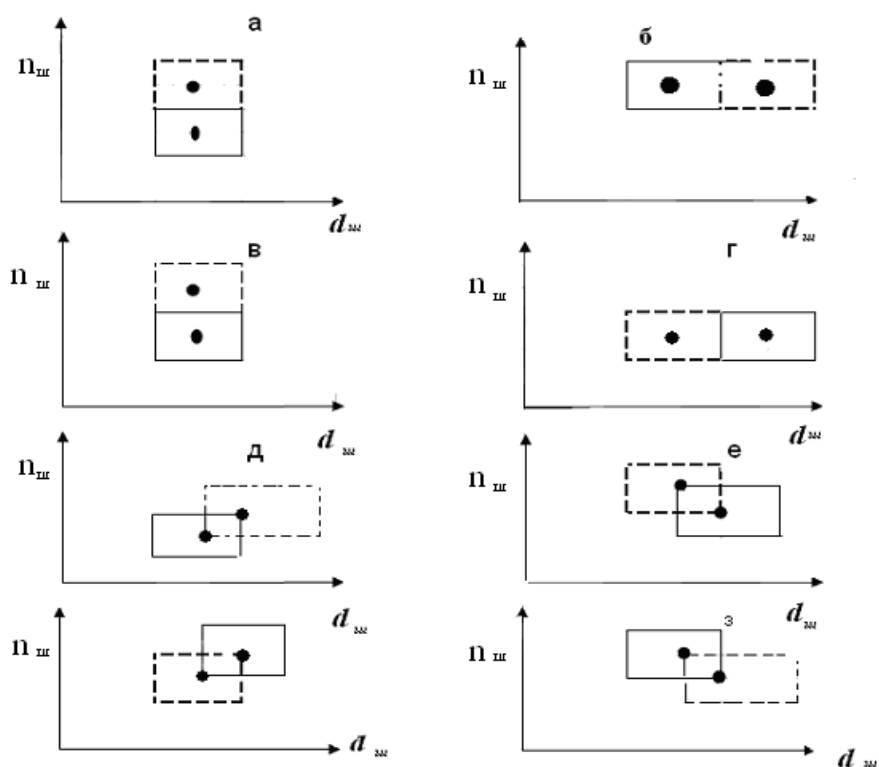
После окончания первой фазы эксперимента и описанной выше процедуры протоколирования принимается одно из следующих решений:

4. изменить нулевую точку и, следовательно, переместить эксперимент;
5. изменить интервал варьирования.

При этом следует обратить внимание на значение функции отклика $|\Delta R|$ в экспериментах, проведенных в первой фазе. Если в центральной точке значение функции отклика больше, чем в периферийных точках, то эксперименты проводились в области максимума ΔR , а для уточнения его положения (если в

этом есть необходимость) надо уменьшить шаг варьирования факторов, определяющих процесс, и продолжать эксперименты в этой же области.

Если значение максимума функции отклика $|\Delta R|$ имеет место в вершинах факторного прямоугольника, то необходимо переместить эксперимент в сторону ребра с близкими между собой максимально значениями или в сторону вершины по диагонали, если этот максимум резко выделяется от других значений по вершинам факторного прямоугольника (рис. 2).



- а: основной эффект $n_{ш}$ - положительный, основной эффект $d_{ш}$ - незначим;
 б: основной эффект $d_{ш}$ - положительный, по $n_{ш}$ - незначим;
 в: основной эффект $n_{ш}$ - отрицательный, по $d_{ш}$ - незначим;
 г: основной эффект $d_{ш}$ - отрицательный, по $n_{ш}$ - незначим;
 д: основной эффект $d_{ш}$ - положительный, по $n_{ш}$ - положительный;
 е: основной эффект $d_{ш}$ - отрицательный по $n_{ш}$ - положительный;
 ж: основной эффект $d_{ш}$ - отрицательный, по $n_{ш}$ - отрицательный;
 з: основной эффект $d_{ш}$ - положительный, по $n_{ш}$ - отрицательный.

Рисунок 2 . Эффект диаметра $d_{ш}$ и количества штуцеров $n_{ш}$

После принятия решения планируется вторая фаза эксперимента и т. д. до получения максимума ΔR в центре некоторого факторного прямоугольника.

Методика выбора оптимальной конструкции штуцерного диспергатора

Таблица 2

Данные о скважине

Объект разработки	пласт Бу1
Обсадная колонна	168 мм
Колонна подъемных труб	63 мм
Содержание воды в продукции скважины	0
Глубина установки диспергатора	800 м и 1400 м

В качестве основного уровня был принят вариант, при котором $d_{ш0}=15$ мм и $n_{ш0} = 6$ шт. Соответственно минимальные значения 10 мм и 4 шт., максимальные 20 мм и 8 шт. Результаты исследований заносятся в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты исследований

Номер точки	Конструкция Диспергатора	Расход газа высокого давления	Дебит скважин, м ³ /сут	Удельный Расход газа м ³ /м ³	ΔR
	Основная	4150	80	52	-
1	6 x 25	4000	-	50	-2
2	4 x 10	4000	-	50	-2
3	4 x 20	3850	80	48,2	-3,8
4	10 x 25	3750	-	47	-5
5	8 x 20	2750	-	34,4	-17,6

На рис. 3 приводится расположение точек в факторном пространстве, из рис. 3 видно, что максимальное, резко отличающееся значение $|\Delta R|$, принадлежит правой, верхней вершине.

Поэтому во второй фазе эксперимента за нулевую точку пригашается точка с $d_{ш} = 20$ мм и $n_{ш} = 8$. Во второй фазе эксперименты были проведены еще при четырех значениях диаметра и количества штуцеров. На этой фазе максимум ΔR локализован в центре факторного прямоугольника, так что за оптимальную конструкцию диспергатора принимается диспергатор с 8 штуцерами диаметром 20 мм.

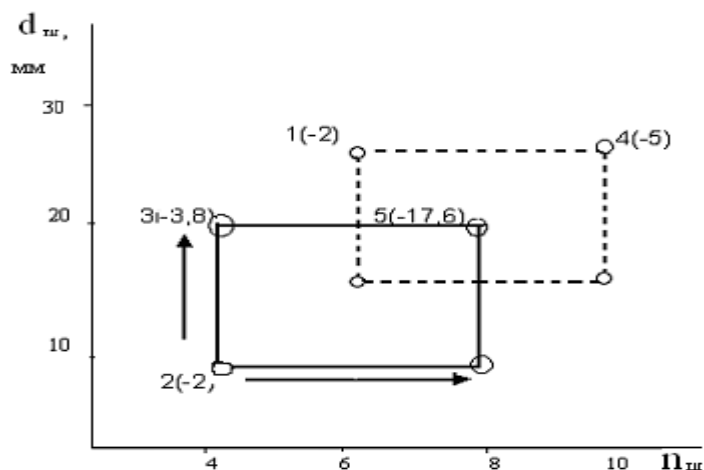


Рисунок 3. Расположение точек в факторном пространстве

По описанному выше методу на Правдинском месторождении подбор оптимальной конструкции диспергаторов был произведен на 14 скважинах.

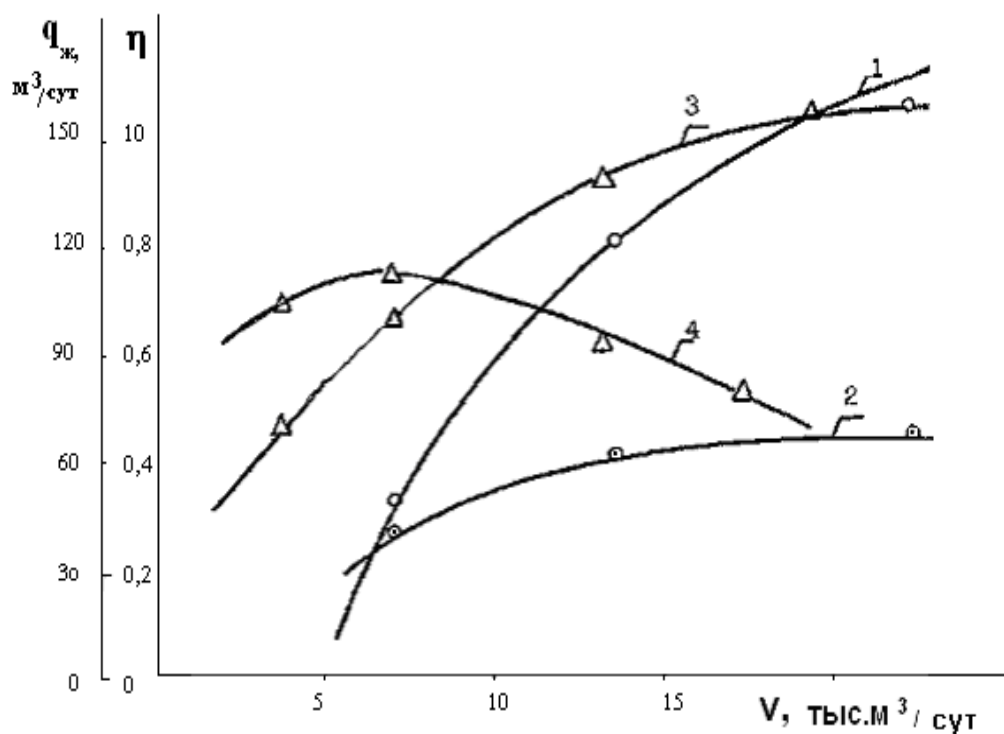
Исследовано также влияние диспергаторов на коэффициент полезного действия газлифтного подъемника. Результаты промысловых исследований показали, что в области эффективной работы диспергатора происходит увеличение к.п.д. газлифтного подъемника на рис. 4.

На рис. 5а штриховая линия ограничивает эффективную область работы диспергатора, расположенного на глубине 1350 м и состоящего из 4-х штуцеров диаметром 20 мм. Для нахождения эффективной области использовано 10 эффективных режимов работы, обозначенных точками. Согласно рис. 5,а при дебите $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ эффект от использования диспергатора может быть получен на газлифтной скважине, где суммарный удельный расход попутного и закачиваемого газа находится в интервале $105 - 250 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

С ростом глубины установки диспергатора в подъемных трубах суммарным расход газа снижается (рис. 5г). Это снижение составляет в среднем 0,1 % на один метр увеличения глубины установки диспергатора в интервале 1300-1600 м.

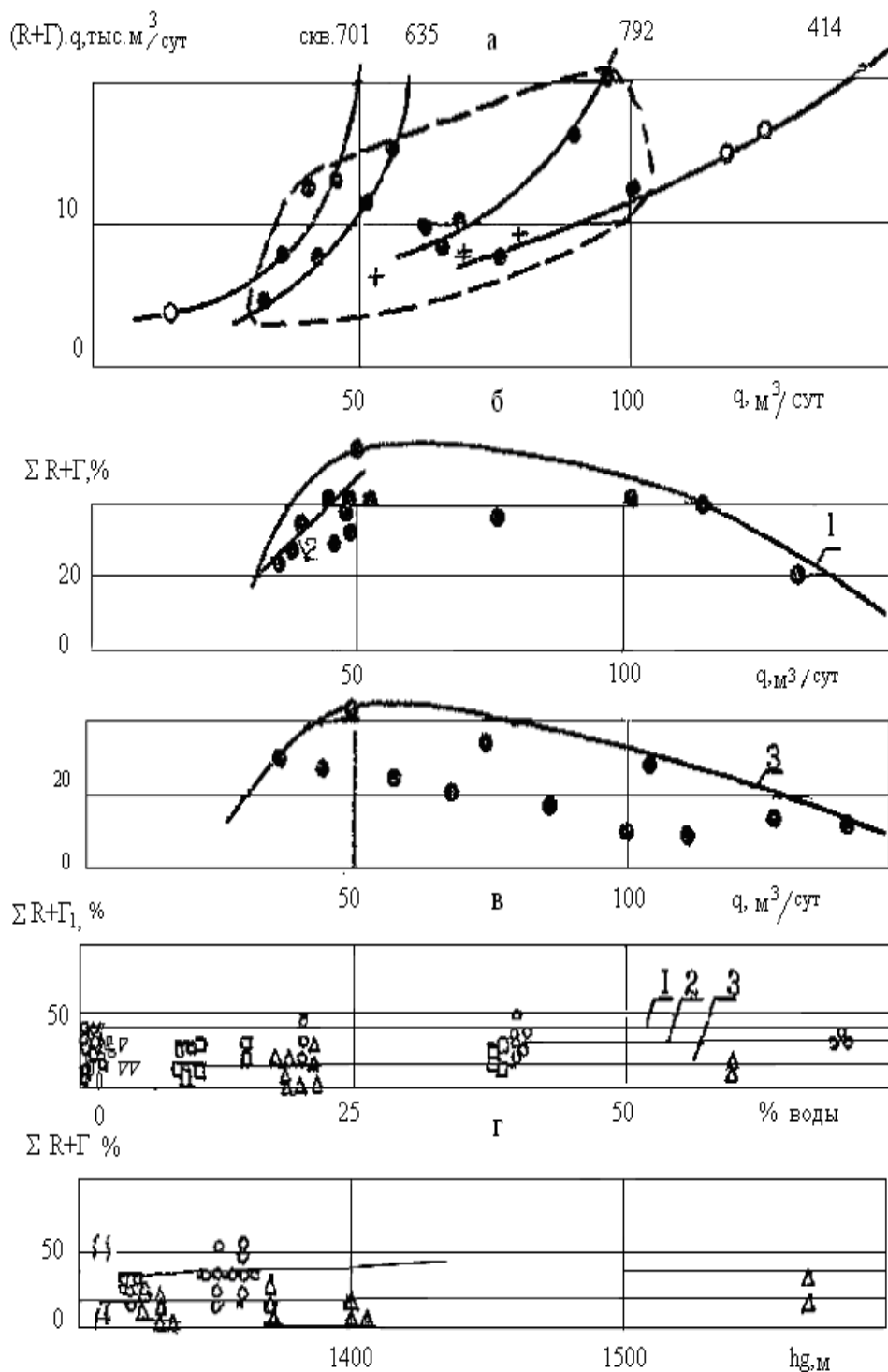
Таким образом, при использовании диспергатора на газлифтной скважине снижение удельного расхода газа может быть достигнуто лишь на режимах, соответствующих эффективной области. Величину этого снижения для диспергатора, расположенного на глубине 1360 м и состоящего из 2, 3 и 4-х

штуцеров диаметром 20 мм, можно определить по (рис. 5б). Кривые на этом рисунке ограничивают область с максимальным снижением суммарного расхода попутного и нагнетаемого газа в зависимости от дебита жидкости согласно (рис. 5б) с ростом дебита жидкости степень снижения удельного расхода газа в скважине с диспергатором увеличивается, достигает максимального значения, а затем начинает снижаться максимальным эффект от использования диспергатора в условиях экспериментов достигнут при дебите жидкости порядка 50-70 м³/сут. При этом расход газа снижается на 30, 40 и 50 % при количестве штуцеров в диспергаторе 2, 3 и 4 соответственно.



1 и 2 – соответственно дебит жидкости и коэффициент полезного действия без диспергатора;
3 и 4 – дебит жидкости и коэффициент полезного действия с диспергатором.

Рисунок 4. Характеристические кривые работы газлифтного подъемника скв. 496 Правдинского месторождения



а - эффективная область применения диспергаторов для 4-х штуцеров диаметром 20 мм на глубины 1350 м;
 б, в и г - влияние дебита, обводненности и глубины установки диспергатора на снижение расхода газа, количество: 1-4; 2-3; 3-2 - диаметр штуцеров 20 мм

Рисунок 5. Эффективность применения диспергаторов

Как отмечалось выше, основной целью применения диспергаторов является повышение эффективности работы газлифта в скважинах, дающих обводняющую продукцию. В связи с этим представляет особый интерес определение значений обводненности продукции. При которых целесообразно использовать диспергаторы. Для решения этой задачи прежде всего следует использовать характеристические кривые газлифта Правдинского месторождения. Было обнаружено, что при малых значениях обводненности продукции ($n_b = 25\%$) наиболее часто встречаются случаи, когда эффект от применения диспергатора отсутствует.

Такая закономерность наблюдается и при очень высокой обводненности добываемой продукции, достигающей 95 и более процентов. Очевидно, это объясняется неустойчивостью образующейся структуры газожидкостного потока при этих значениях обводненности. По этим данным можно сделать качественный вывод о нецелесообразности применения диспергаторов при обводненности продукции более 90 % и ограниченном применении их при малой содержании воды в газожидкостном потоке.

Дальнейшее изучение эффективности применения диспергаторов в обводненных скважинах проводилось путем построения графиков зависимости к.п.д. газлифта от объемного расхода высокого давления при заданных значениях содержания воды в продукции скважин. Эти графики представлены на рис. 6. Зависимости для одного и этого же подъемника строились при работе его без диспергатора и с диспергатором. Как видно из приведенных графиков, использование диспергаторов оказывает существенное влияние на к.п.д. лифта. Происходит увеличение к.п.д. газлифта практически во всех случаях. При малой (скв. 472) и при очень высокой (скв. 1115) обводненности это увеличение мало, а при промежуточных значениях содержания воды оно достигает 10 и более процентов. Таким образом, еще раз подтверждается вывод о целесообразности применения диспергаторов лишь при определенных значениях обводненности газожидкостного потока.

С целью получения количественной характеристики влияния обводненности продукции скважин на работу диспергаторов были выбраны скважины, имеющие практически идентичную конструкцию лифта на этих

скважинах были сняты характеристические кривые, по которым определялись параметры работы газлифтных подъемников с диспергатором и без него, соответствующие оптимальному режиму. Результаты этих расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика работы газлифтных подъемников
при работе на оптимальных режимах

№ скважин	Обводненность продукции, %	Оптимальный дебит м ³ /сут		Оптимальный удельный расход газа, м ³ /м ³		Уменьшение удельного расхода газа
		с дисп.	без дисп.	с дисп.	без дисп.	
781	0	35	35	77	106	29
606	20	78	78	57,5	96	38,5
472	30	60	40	51,7	112	60,3
496	40	90	80	66,5	125	58,5
430	70	80	75	43,6	100	56,5
496	98	75	75	120	120	0

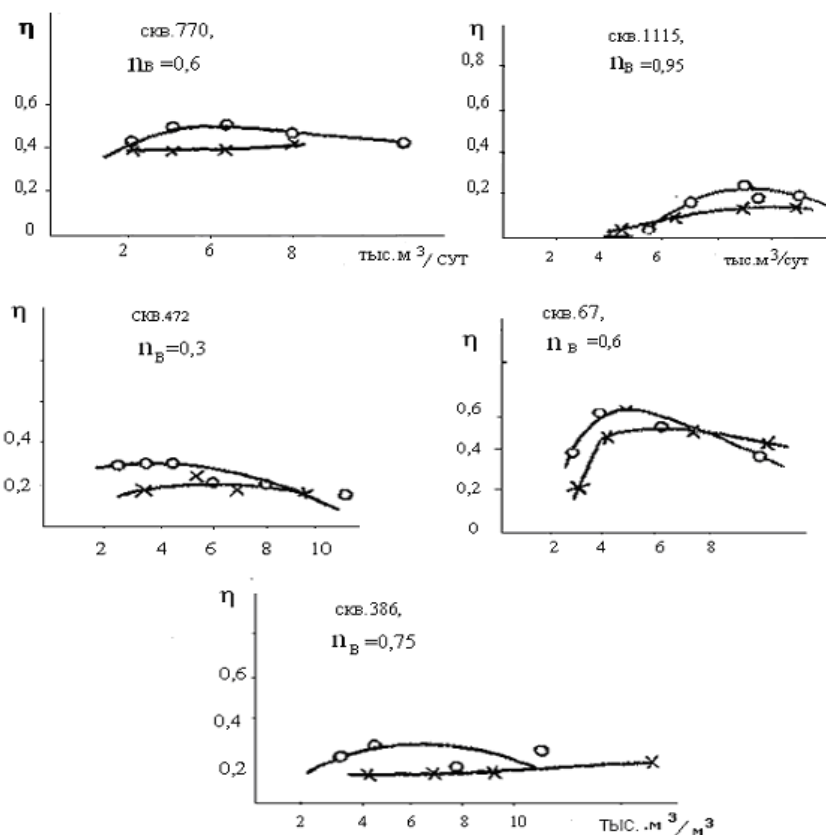


Рисунок 6. График зависимости полезного действия газлифтных подъемников от расхода газа при фиксированных значениях обводненности продукции

По данным табл. 4 была построена зависимость изменения удельного расхода газа (ΔR) при использовании диспергатора от обводненности продукции скважин (рис. 7), которая позволяет приблизительно оценить значение выигрыша ΔR в зависимости от содержания воды в газожидкостном потоке. Наибольшее значение эффекта от применения диспергаторов в условиях Правдинского месторождения достигается при обводненности продукции скважин от 40 до 70%.

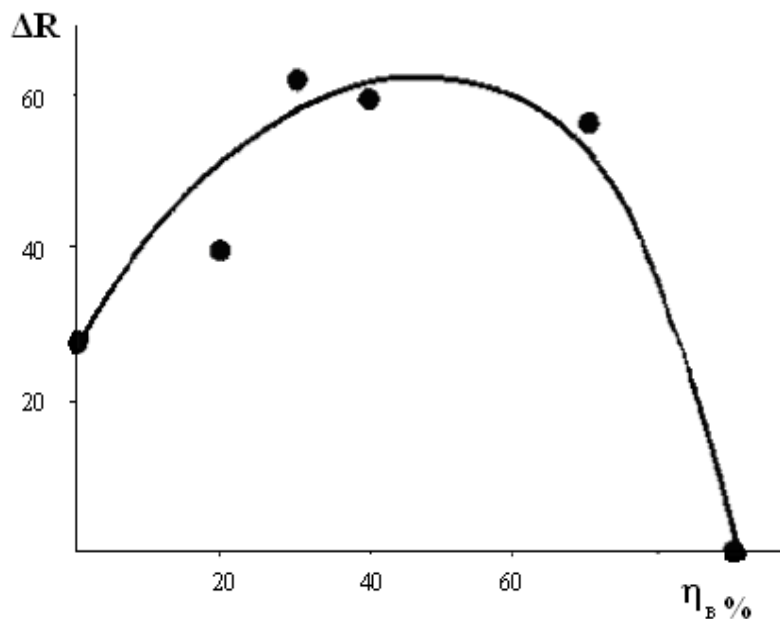


Рисунок 7. График зависимости величины выигрыша удельного расхода газа ΔR при работе газлифтной скважин с диспергатором от обводненности продукции

При работе забойных штуцерных диспергаторов происходит интенсивное перемешивание воды и нефти. По этой причине при определенных сочетаниях свойств нефти и режима работы диспергаторов образование стойких водонефтяных эмульсий, затрудняющих дальнейший сбор и подготовку продукции скважин. В связи с этим в процессе промысловых экспериментов по изучению эффективности диспергаторов проводились работы по исследованию стойкости водонефтяных эмульсий.

Стойкость водонефтяных эмульсий оценивалась путем определения времени, необходимого для полного расслоения эмульсий. Пробы эмульсий отбирались на устье скважины при работе с диспергаторов и без диспергатора. По результатам этих работ были построены графики зависимости времени,

необходимого для полного разделения эмульсий от обводненности продукции скважин (рис. 8), Из приведенных графиков видно, что работа диспергаторов в условиях рассматриваемого месторождения на устойчивость водонефтяных эмульсий практически не оказывает влияния.

По ряду скважин была определена средняя относительная скорость газа на участке лифта от точки ввода газа до устья. Результаты расчетов показали, что положительный эффект от применения диспергаторов получен в основном по скважинам со сравнительно высокой средней относительной скоростью газа. Чем больше это величина, тем больше эффективность работы диспергатора.

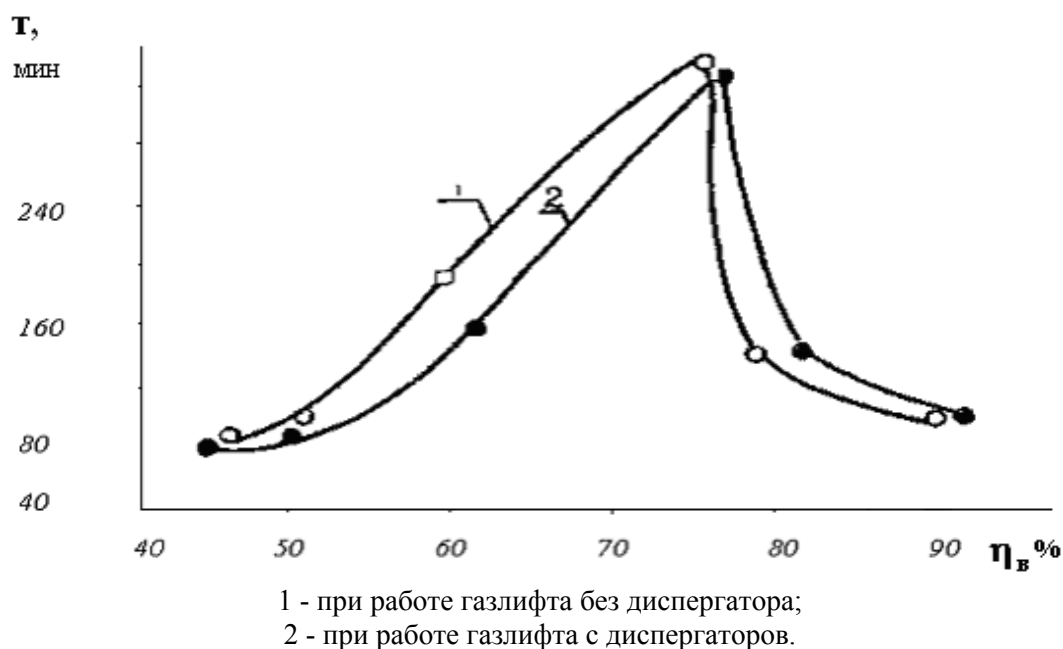


Рисунок 8. Графики зависимости времени полного расслоения эмульсий от обводненности

Результаты промысловых исследований свидетельствуют о достаточно высокой эффективности применения глубинных штуцерных диспергаторов достаточной надежности их конструкции при установке в подъемных трубах. В связи с этим необходимо рассматривать диспергатор составным элементом системы газлифта и предусмотреть его использование в скважинах с обводненностью продукции от 40 до 70 %.

Выводы:

1. Предложен способ выбора оптимальных значений количества штуцеров и их диаметров в скважинных диспергаторах, обеспечивающих максимальную экономию расхода газа при заданном дебите скважины.

2. В результате промысловых экспериментов установлена возможность уменьшения удельного расхода газа на 15-10 % и повысить коэффициент полезного действия газлифтного подъемника на 3-4 %.

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. 35-40.

3. Васильев Ю.Н, Аузбаев Д. Экспериментальное изучение движения газонефтяной смеси по горизонтальным трубам. "Нефтяное хозяйство", 1961, № 4.