



УДК 622

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ГИДРОЭЖЕКТОРНОГО СМЕСИТЕЛЯ С МНОГОСТВОЛЬНЫМ СОПЛОМ



DEVELOPMENT AND TESTING OF A MULTI-BARREL WATER JET MIXER

Пахлян Ирина Альбертовна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры МОНГП,
Кубанский государственный
технологический университет
pachlyan@mail.ru

Pakhlyan Irina Albertovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor Department of MONGP,
Kuban State Technological University
pachlyan@mail.ru

Аннотация. В промысловой практике приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов широко используется гидросмесительное оборудование – эжекторы. Технологические процессы смешения в них растворов не лишены недостатков: неудовлетворительное качество смешивания, низкий коэффициент эжекции и др. Для доведения технологического процесса до совершенства предлагается использовать вместо компактной струи рабочей жидкости – диспергированную. Для этого были выполнены аналитические и экспериментальные исследования. Разработаны и испытаны натурные образцы гидроэжекторных смесителей с диспергированной струей (многоствольное сопло) со скоростью струй не менее 20 м/с. Доказана их большая эффективность по сравнению с одноствольным соплом.

Annotation. Hydraulic mixing equipment – ejectors-is widely used in the field practice of preparing drilling flushing and grouting solutions. Technological processes of mixing solutions in them are not without disadvantages: unsatisfactory mixing quality, low ejection coefficient, etc. To bring the technological process to perfection, it is proposed to use a dispersed working fluid instead of a compact jet. For this purpose, analytical and experimental studies were performed. Full-scale samples of hydro-ejector mixers with a dispersed jet (multi-barrel nozzle) with a jet speed of at least 20 m/s were developed and tested. They are proven to be more effective than a single-barrel nozzle.

Ключевые слова: гидроэжекторный смеситель, диспергированная струя, порошкообразный материал, многоствольное сопло, коэффициент эжекции.

Keywords: hydro-ejector mixer, dispersed jet, powdery material, multi-barrel nozzle, ejection coefficient.

Эжекторы для смешивания порошкообразных материалов с водой впервые созданы и применены в практике бурения в 1920 г. в США [1]

Процессы, происходящие при работе гидроэжекторных смесителей (ГЭС), весьма сложны. Поэтому, несмотря на почти столетний срок их изучения, отсутствует практически проверенная теория работы гидроэжекторных смесителей и метод их расчета. В недостаточной степени изучен вопрос о форме и размерах отдельных элементов, оказывающих значительное влияние на его работу.

Основными деталями ГЭС являются: гидромониторная насадка для преобразования потенциальной энергии рабочей жидкости в кинетическую энергию высокоскоростного ее потока; приемная камера, обеспечивающая одновременный прием порошкообразного материала и жидкости затворения за счет возникающего в ней разрежения высокоскоростной струей жидкости; камера смешения, обеспечивающая смешивание жидкости затворения и порошкообразного материала в заданном соотношении.

Основной технологический параметр – это коэффициент эжекции от которого напрямую зависит плотность приготавливаемого раствора за один цикл смешивания

В литературе [2] есть указание на то, что коэффициент эжекции таких устройств выше в случае использования дисперсной струи вместо компактной. Это мнение логичное, но не подтверждено ни теоретическими, ни экспериментальными исследованиями.

Конструктивно этого можно достичь использованием кольцевой или многоствольной насадки. Однако этот новый подход требует экспериментальных исследований, которые позволят обосновать геометрические параметры подобных ГЭС.

Используя разработанную и построенную модель приготовления тампонажных растворов, были выполнены сравнительные испытания эжекторных смесителей с компактной и дисперсной струями (табл. 1).

Разработана модель гидроэжекторного смесителя [3], предусматривающая возможность установки многоствольного сопла (рис. 1).

Модель включает сменную цилиндрическую камеру смешения 1 разных диаметров и длин, приемную камеру 2 и сменное многоствольное или одноствольное сопло 3. Вода подается на сопло, а воздух засасывается в приемную камеру под действием создаваемого струей разрежения. Измерение расхода воздуха производилось газовым счетчиком, а расход воды определялся расходомером. Некоторые результаты испытаний представлены в таблице 1, при длине камеры смешения 300мм.

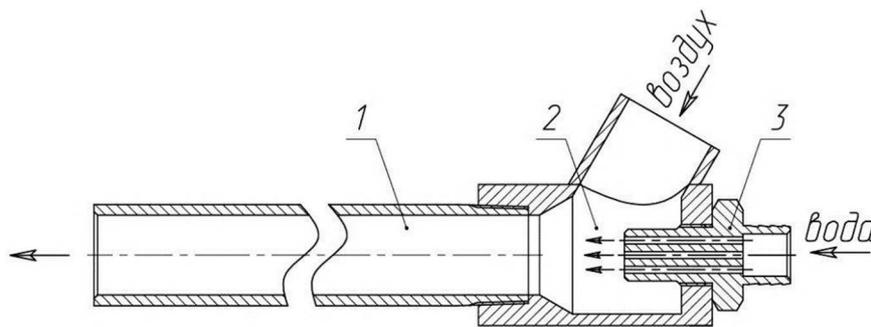


Рисунок 1 – Модель гидроэжекторного смесителя с многоствольным соплом:
1 – камера смешения; 2 – приемная камера; 3 – сопло

Таблица 1 – Результаты модельных испытаний ГЭС с разным количеством струй

Количество и диаметр отверстий	Расход воды, л/с	Избыточное давление перед соплом,	Скорость воды в сопле, м/с	Расход воздуха, л/с	Диаметр камеры смешения, мм	Коэффициент эжекции	Число Вебера, 10 ⁵	Число Рейнольдса, 10 ⁵
1 отв. 10 мм	1,60	170	21,2	3,1	20	1,94	0,64	2,12
	1,31	180	16,7	2,8	20	2,14	0,40	1,67
	1,60	175	20,4	8,0	34	5,00	0,59	2,04
	1,46	160	18,6	7,1	34	4,86	0,49	1,86
4 отв. 5 мм	1,38	200	17,5	2,9	20	2,10	0,22	0,88
	1,52	200	19,4	3,0	20	1,97	0,27	0,97
	1,56	180	19,9	9,0	34	5,77	0,28	1,00
	1,45	160	18,5	0,1	50	0	0,24	0,93

Можно заметить сильное влияние на величину коэффициента эжекции увеличения диаметра камеры смешения с 20 до 34 мм, тогда как влияние остальных параметров малозначительно в пределах достигнутой точности измерений. Увеличение диаметра камеры смешения до 50 мм привело к резкому снижению коэффициента эжекции практически до нуля. Это означает, что диаметр 34 мм, по-видимому, близок к переходу на режим пробоя при данной длине камеры смешения и данном числе Вебера.

Опыты выявили некоторое возрастание коэффициента эжекции при переходе к многоствольному соплу при снижении числа Вебера в 2 раза.

На натурном образце столь же высокие значения коэффициента эжекции получить не удалось. Это связано со значительно худшими условиями распада струи при высоких числах Рейнольдса. Для получения фактических значений коэффициента эжекции на натуральных ГЭС проведены сравнительные испытания ГЭС с одноствольным соплом диаметром 40 мм и шестиствольным соплом диаметром каждого ствола 16 мм (площадь сечения потока у обоих сопел одинакова). Опыты проведены на ГЭС с камерой смешения диаметром 80 мм и длиной 1100 мм (геометрический аналог модели ГЭС с камерой смешения 20 мм из таблицы 1) и на ГЭС с камерой смешения диаметром 125 мм, длиной 1100 мм (геометрический аналог модели ГЭС с камерой смешения 34 мм из таблицы 1). Для сравнения изображены фотографии формы струи одноствольного сопла (рис. 2, а) и формы струи шестиствольного сопла (рис. 2, б). Результаты испытаний представлены в таблице 2.



Рисунок 2 – Форма струи одноствольного сопла (а) и многоствольного сопла (б)



Таблица 2 – Результаты испытаний ГЭС с разным количеством струй

Количество и диаметр отверстий	Расход воды, л/с	Избыточное давление перед соплом, кПа	Скорость воды в сопле, м/с	Расход воздуха, л/с	Диаметр камеры смешения, мм	Коэффициент эжекции	Число Вебера, 105	Число Рейнольдса, 105
1 отв. 40 мм	28	310	22,3	53,7	80	1,92	2,84	8,92
				53,7	125	1,92		
6 отв. 16 мм	28	310	22,3	46,8	80	1,67	1,14	3,57
				59,7	125	2,13		

Как видим из таблицы 2 при правильном подборе диаметра камеры смешения многоствольное сопло дает лучшие результаты по сравнению с одноствольным соплом. В то же время коэффициент эжекции натуральных образцов существенно ниже полученных на модели, так, как и число Вебера и число Рейнольдса натуральных образцов заметно выше, чем у модели.

Заметим, что степень распыла струи определяется не отдельно числами Вебера и Рейнольдса, а производным критерием Лапласа, характеризующим соотношение сил вязкости и поверхностного натяжения, где d_p – диаметр сопла [4]:

$$La = \frac{Re^2}{We} = \frac{d_p \rho_{ж} \sigma}{\mu^2} \tag{1}$$

для воды ($\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\sigma = 0,07 \text{ Н/м}$, $\mu = 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$)

$$La = 700 \cdot 105 \text{ др.} \tag{2}$$

Число Лапласа для воды и испытанных выше сопел, вычисленное по формуле (1), представлено в таблице 3. Как видим, натуральный образец и модель имеют существенно разные числа Лапласа и, соответственно, разные формы струи и разные значения коэффициента эжекции в геометрически подобных смесителях.

Таблица 3 – Число Лапласа для сопел различного диаметра

Диаметр сопла, мм	40	16	10	5
Число Лапласа	$28 \cdot 10^5$	$11,2 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$

Наблюдения струи из многоствольного сопла показывают, что диспергированную форму струя приобретает на расстоянии приблизительно 10 начальных диаметров струи (см. рисунки 2). На этом расстоянии наружный диаметр факела распыла составляет 2...2,5 начального диаметра. Таким образом, камера смешения промышленного гидроэжекторного смесителя с шестиствольным соплом с начальным диаметром струи 60 мм (результаты испытаний такого сопла представлены в таблице 2) должна иметь длину камеры смешения не менее $l_{кc} = 60 \cdot 10 = 600 \text{ мм}$, и диаметр не менее $d_{кc} = 60 \cdot (2...2,5) = 120...150 \text{ мм}$. Коэффициент эжекции его составил $i_0 = 2,13$.

Выводы

Разработаны и испытаны модель и натуральный образец гидроэжекторного смесителя с диспергированной струей (многоствольное сопло) со скоростью струй не менее 20 м/с. Доказана его большая эффективность по сравнению с одноствольным соплом. Найдены практические значения коэффициентов эжекции натуральных образцов, составляющие величину порядка 2–2,5.

Литература

1. Пахлян И.А. Исследование гидроэжекторных смесителей, модернизация их конструкций и совершенствование технологии приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов : канд. дисс. – Краснодар, 2010.
2. Мищенко В.И., Картунов А.В. Приготовление, очистка и дегазация буровых растворов. – Краснодар: Издательство «Арт Пресс», 2008. – 336 с.
3. Проселков Ю.М., Пахлян И.А. О модернизации гидроэжекторных смесителей на основе модельных исследований // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 4. – С. 115–119.
4. Baumgarten C. Mixture Formation in Internal Combustion Engines. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. – 294 p.



5. Пахлян И.А., Проселков Ю.М. Выбор основных конструктивных параметров струйных аппаратов для технологий нефтегазовой отрасли // Газовая промышленность. – 2013. – № 12. – С. 36–39.

6. Патент РФ № 2499879 на изобретение. Способ приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов и устройство для его осуществления / Авт. Проселков Ю.М., Пахлян И.А., Мищенко С.В. Дата опубл. 7.11.2013. Заявка 2012127522/3 от 02.07.2012.

7. Пахлян И.А. Основы проектирования струйных аппаратов для нефтяной и газовой промышленности. Нефтепромысловое дело // ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2012. – № 12. – С. 15–17.

References

1. Pakhlyan I.A. Research of the hydroejector mixers, modernization of their designs and perfection of technology of preparation of drilling flushing and plugging solutions: Cand. diss. – Krasnodar, 2010.

2. Mischenko V.I., Kartunov A.V. Preparation, cleaning and degassing of drilling muds. – Krasnodar : Art Press Publishing House, 2008. – 336 p.

3. Proselkov Yu.M., Pakhlyan I.A. About the hydro-exchanger mixers modernization on the basis of the model research // Petroleum economy. – 2010. – № 4. – P. 115–119.

4. Baumgarten C. Mixture Formation in Internal Combustion Engines. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. – 294 p.

5. Pakhlyan I.A., Proselkov Yu.M. Selection of the basic design parameters of the jet apparatuses for the oil-and-gas branch technologies // Gas industry. – 2013. – № 12. – P. 36–39.

6. Patent of the Russian Federation № 2499879 for invention. Method of preparation of drilling flushing and plugging solutions and device for its implementation / Aut. Proselkov Yu.M., Pakhlyan I.A., Mishchenko S.V. Publication date. 7.11.2013. Application 2012127522/3 of 02.07.2012.

7. Pakhlyan I.A. Basics of jet apparatus design for oil and gas industry. Oilfield business // JSC VNIIOENG. – 2012. – № 12. – P. 15–17.