УДК 622.775

И.У. Халимов, С.У. Турсунова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ПУТЕМ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Водоструйные аппараты используются во многих отраслях промышленности: горной, строительной, инженерной химии, гидрологии и др. Водоструйный аппарат не имеет движущих механических частей, подает в напорный трубопровод достаточно крупный материал и способен создавать в напорном транспортном трубопроводе необходимые напоры (давление) для создания условий для гидроразрыва продуктивного пласта и надежного закрепления (расклинки) образовавшихся трещин.
Ключевые слова: скважинное подземное выщелачивание, гидравлический напор, кольматация скважин, производительность технологических скважин, водоструйный аппарат, гидроразрыв пласта.

Для закрепления трещин гидроразрыва обычно используются буровые насосы типа БН-32, с помощью которого в скважину подается расклинивающий материал – капроновая крошка. Известно, что буровые насосы подают в скважину гомогенные буровые растворы – бентониты для выноса шлама при бурение. Использование буровых насосов для транспортирования зернового материала связано с частыми закупорками проточный части и последующей их поломки.

Наиболее эффективно осуществлять напорную подачу в скважину крупного зернового материала для расклинивания трещин гидроразрыва, с использованием водоструйных аппаратов – гидроэлеваторов.

В связи со сложными специфическими для данной технологии способом закрепления трещин твердым материалом, выявилась необходимость в многофакторном анализе эксплуатационных возможностей такой технологической схемы гидроразрыва пласта с использованием водоструйных аппаратов. Как показали исследования водоструйных аппаратов, в настоящее

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 11. С. 329–334.
© 2016. И.У. Халимов, С.У. Турсунова.

время не существует надежной методики проектирования таких аппаратов, не только для специфических условий гидроразрыва пласта (ГРП), но и для значительно более простых эксплуатационных требований их использования. Возникла необходимость проведения экспертной оценки достоверности и надежности основных практических рекомендаций и базовых положений теории использования водоструйных аппаратов коллективами научно-исследовательских лабораторий и отдельных ученых, достигших в этом направлении передовых позиций в мире как в практическом, так и теоретическом направлении.

Наиболее существенный путь практического прогноза эксплуатационных возможностей использования водоструйных ап-

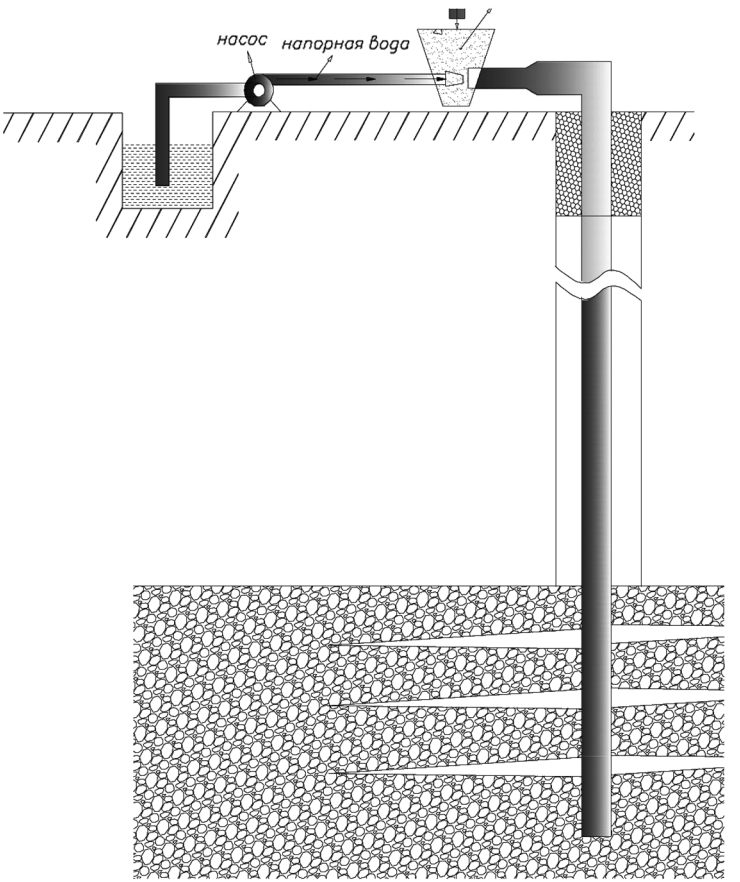

Схема водоструйного аппарата в технологии гидроразрыва пласта (ГРП)

паратов для закрепления трещин при ГРП является аналитическая оценка энергетического баланса активного и пассивного потоков, а также сил сопротивления (трения), возникающих в динамике процесса эжектирования и нагнетания.

Причем, основа аналитического выражения процесса струйного нагнетания представлена единым принципом баланса всех действующих сил с учетом:

- уравнения неразрывности разнофазных потоков;
- закона сохранения энергии в различных вариациях (изменение кинетической энергии, количества движения, полных давлений, во взаимосвязи с градиентом сил, действующих в поперечном сечении проточной части).

Сложность в обосновании расходно-напорных параметров водоструйного аппарата заключается в том, что при использовании их в технологии ГРП, необходимо выявить не просто рабочую характеристику этого аппарата, а определить месторасположение на ней оптимальных режимов, как по напору нагнетания, так и по его эжектирующей способности.

При работе водоструйного аппарата при заданных начальных параметрах рабочего и эжектируемого потоков в зависимости от напора нагнетание выделяются три режима его эксплуатации:

а) режим максимальной эжектирующей способности.

Изменение напора нагнетания водоструйного аппарата, (увеличение, в частности) не влияет на эжектирующую способность этого аппарата. Наблюдается режим развитой кавитации. Этот режим характеризуется довольно устойчивой работой водоструйного аппарата как по напору нагнетания, так и по эжектирующей способности;

б) оптимальный режим работы водоструйного аппарата.

Наблюдаются устойчивые режимы затухания (задавливания) кавитации, но появились первые признаки уменьшения эжектируемого расхода;

в) режим затухания кавитации.

Режим характеризуется увеличением высоты нагнетания с одновременным уменьшением эжектируемого расхода. Увеличение напора нагнетания (что необходимо для гидроразрыв пласта) приводит к перемещению верхней границы камеры разряжения (очага кавитации) в сторону камеры смешения при одновременном уменьшении эжектируемого потока.

Предлагаемая методика расчета водоструйного аппарата основана на работе этого аппарата в оптимальном режиме (при мак-

симальном кпд). Т.е. обосновывается проектирование водоструйного аппарата с максимальной эжектирующей способностью.

Ранее было установлено [1], что максимальное кпд водоструйного аппарата соответствует соотношению

$$\eta_{max} = \frac{1}{4}ab \tag{1}$$

где η_{max} – максимальное кпд водоструйного аппарата; *a, b* – отрезки, отсекаемые расходно-напорной характеристикой водоструйного аппарата $\beta = f(\alpha)$ на координатных осях.

Б.Э. Фридман [2] в результате проведенных опытов установил, что отрезок отсекаемый расходно-напорной зависимостью водоструйного аппарата $\beta = f(\alpha)$ на координатной оси β связан с основным геометрическим параметром *m* следующим образом

$$b = 0,51b \cdot m + 0,34 \tag{2}$$

На основании многочисленных опытных данных Б.Э. Фридманом установлено, что отрезок отсекаемый зависимости на оси равен

$$\alpha = \frac{2,346m + 1,547}{m^2 + 2m} \tag{3}$$

Используя выражения (2) и (3), а также установленное ранее нами правило отыскания оптимального режима эксплуатации водоструйного аппарата

$$\alpha = \frac{\alpha}{2} \text{ и } \beta = \frac{\beta}{2}, \text{ а кпд } \eta_{max} = \frac{ab}{4} \tag{4}$$

$$\eta_{max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(2,348m + 1,547)(0,516m + 0,34)}{m^2 + 2m} \tag{5}$$

Выражение (5) определяет максимальное значения кпд (η_{max}) для водоструйного аппарата при новом значении основного геометрического параметра *m*.

Взяв производную по выражению (5) и приравнивая ее к нулю, определим оптимальное значения основного геометрического параметра m_{opt} среди η_{max} при множестве значений *m*.

$$(\alpha \cdot \beta)' =$$

$$= \left[2,346(0,516m + 0,34) + 0,516(2,348m + 1,547)(m^2 + 2m)\right] -$$

$$-(2,348m + 1,547)(0,516m + 0,34)(2m + 2) = 0$$

После несложных алгебраических преобразований, получим

$$0,83m^2 - 1,05m - 1,05 = 0\,;\; m = \frac{1,05 + \sqrt{1,1 + 3,5}}{2 \cdot 0,83} = \frac{3,17}{1,66} = 1,91$$

Таким образом, оптимальное значения основного геометрического параметра m, равно

$$m = \frac{F_2}{F_1} = 1,91 \text{ и } \frac{D_2}{D_1} = 1,38$$

Значение основного геометрического параметра m = 1,91 соответствует работе водоструйного аппарата с максимально возможным кпд (η_{max}) среди всех возможных типоразмеров m.

Подставив полученное значение основного геометрического параметра m = 1,91 в выражение (5), получим практически достижимый кпд водоструйного аппарата.

$$\alpha \cdot \beta = \frac{1}{4} ab \text{ , } m = 1,91$$

Используя оптимальное значение относительного коэффициента напора β, получим напорное соотношение водоструйного аппарата при

$$m_{opt} = 1,91$$

$$\beta = \frac{1}{m} = \frac{1}{1,91} = 0,524$$

Таким образом, чтобы создать в зоне ГРП необходимый напор, например, H_2 = 400 м (40 атм.), давление на водяном насосе должно соответствовать

$$H_0 = \frac{H_2}{0,524} = \frac{400}{0,524} = 763 \text{ м или } 76,3 \text{ атм.}$$

Вывод

Предлагаемая методика расчета водоструйного аппарата основана на работе этого аппарата в оптимальном режиме (при максимальном кпд). Т.е. обосновывается проектирование водоструйного аппарата с максимальной эжектирующей способностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маньжов И. А.* Методика расчета струйных насосов гидроэлеваторов / Труды ТИСИ, т. 14. – Томск, 1968. – С. 323–333.

2. *Мустафин Х. Ш.* Исследование управления водяного эжектора / Труды ВНИИНеруд. № 28. Нерудные строительные материалы. – Тольятти, 1970. – С. 29–36.
3. *Фридман Б. Э.* Гидроэлеваторы. – М.: Машгиз, 1960. – С. 323. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Халимов Илхом Убайдуллоевич[1] – кандидат технических наук, ассистент кафедры, e-mail: ilyuxa_07@bk.ru,
Турсунова Севара Уктамовна[1] – зав. кафедрой,
[1] Навоийский государственный горный институт, Узбекистан.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 11, pp. 329–334.

UDC 622.775

I.U. Khalimov, S.U. Tursunova

IMPROVING THE EFFICIENCY OF IN-SITU LEACHING OF URANIUM BY HYDRAULIC FRACTURING

Waterjet machines used in many industries: mining, construction, engineering chemistry, hydrology.

Waterjet machine has no moving mechanical parts, falls into the discharge line is big enough material and is able to create in the pressure transport pipeline pump head (pressure) to create conditions for the hydraulic reservoir and properly secured formed creacks.

Key words: situ leaching, hydraulic head, mudding wells, the performance of technology wells, water jet machine, hydraulic fracturing.

AUTHORS

Khalimov I.U.[1], Candidate of Technical Sciences,
Assistant of Chair, e-mail: ilyuxa_07@bk.ru,
Tursunova S.U.[1], Head of Chair,
[1] Navoi State Mining Institute, 210100, Navoi, Uzbekistan.

REFERENCES

1. Man'zhov I. A. *Trudy TISI*, t. 14 (Works of TISI, vol. 14), Tomsk, 1968, pp. 323–333.
2. Mustafin Kh. Sh. *Trudy VNIINerud*, no 28. Nerudnye stroitel'nye materialy (Works of VNIINerud, no 28. Non-metallic building materials), Tol'yatti, 1970, pp. 29–36.
3. Fridman B. E. *Gidroelevatory* (Hydraulic elevators), Moscow, Mashgiz, 1960, pp. 323.

МЫСЛИ О РОЛИ КНИГИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Ученый, думающий о том, кем он останется в памяти людей, понимает, что лучшим памятником ему может стать книга, в которую он вложил свои знания и душу.