

А.Я. Третьяк, Ю.Ф. Литкевич, А.Н. Гроссу

ПРИМЕНЕНИЕ НАСОСА ГЕЙЗЕРА ДЛЯ ПОДЪЕМА ПУЛЬПЫ ПРИ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Рассмотрены подходы к определению конструктивных параметров насосов Гейзера заданной производительности, позволяющие совместить их работу с производительностью гидродобычного агрегата (ГДА). Показано, что для ГДА, разрабатываемого для Гостищевского месторождения КМА, целесообразно применять насос с внешним воздушным куполом объемом 110 л, с внутренним воздушным куполом объемом 26 л. Это позволяет насосу обеспечить подъем пульпы со скоростью 38 л/с с КПД до 80%.

Ключевые слова: эрлифт, насос Гейзера, изливная труба, внешний и внутренний воздушные куполы, характеристики насоса, компрессор.

В Белгородской области на Гостищевском месторождении Курской магнитной аномалии (КМА) запасы богатых железных руд исчисляются многими млрд т. Однако сложность их добычи заключается в том, что геологический разрез представлен мощными отложениями гематито-мартитовой руды в интервале 530–795 м с чередующимися прослоями железной слюдки мощностью до 90 см [1–3].

При разработке скважинного гидродобычного агрегата (ГДА) для Гостищевского месторождения Курской магнитной аномалии (КМА) предусматривалось применение эрлифтной установки со следующими параметрами:

- глубина динамического уровня ($h_d = 25$ м);
- коэффициент погружения смесителя ($K = 3$);
- глубина погружения смесителя ($H = 75$ м);
- удельный расход воздуха для подъема 1 м³ пульпы ($Y_0 = 2$ м³/м³);
- подача пульпы с удельным весом $\gamma_{см} = 1,25 \cdot 10^4$ Н/м³ ($Q_n = 38$ л/с).

Используется компрессор типа ЗИФ-55 с характеристиками:

- подача сжатого воздуха $Q_v = 5,5$ м³/мин;
- рабочее давление $P_{раб} = 0,7$ МПа;

- мощность привода $N_D = 40$ кВт;
- диаметр воздухопроводных труб $D_B = 50$ мм.

Коэффициент полезного действия эрлифтной установки, рассчитанной по формуле

$$\eta = 100 \frac{Q_{II} \cdot h_d \cdot 1,25}{1,36 \cdot N_D \cdot 75}, \quad (1)$$

составляет $\eta = 28,75\%$ [4].

Эрлифтные насосы хороши, в них нет движущихся частей, но они либо работают, либо нет, т.к. нет никакой возможности регулировать количество поступающего воздуха и ограниченный коэффициент полезного действия, не превышающий 30%.

Для повышения эффективности эрлифтной установки гидродобычного агрегата (ГДА) рассмотрим возможность применения ее прототипа – насоса Гейзера [5].

На рис. 1 представлены принципиальные схемы насоса Гейзера и типичной эрлифтной установки.

Определим основные конструктивные параметры насоса Гейзера для условий работы гидродобычного агрегата при динамическом уровне пульпы h_d от уровня разлива. В начальный момент (см. рис. 3) при погружении насоса на глубину $H = 75$ м атмосферный воздух во внутреннем и внешнем куполах сжимается гидростатическим давлением до $P_n = 0,625$ МПа, определяемого по формуле

$$P_n = (H - h_d) \cdot \rho_{II} \quad (2)$$

В изливном трубопроводе $\varnothing 120$ мм уровень пульпы находится на отметке h_d , следовательно высота столба в трубопроводе $h_{тр}$ будет равна 50 м. При этом давление на входном отверстии диаметром $\varnothing 70$ мм в изливный трубопровод будет равно $P_{отв} \approx 6,3$ ат = $0,63$ МПа. Во внутреннюю полость наружного

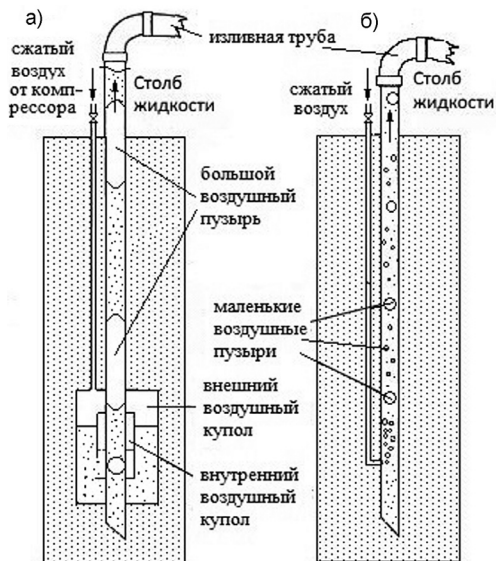


Рис. 1. Принципиальные схемы устройства пульпоподъемника: насос Гейзера (а); эрлифтная установка (типичная) (б)

купола подается сжатый воздух от компрессора под давлением $P_k = 0,7$ МПа. По мере заполнения сжатым воздухом внешнего купола открывается вход для сжатого воздуха во внутренний купол, в результате чего происходит выравнивание давлений и уровней пульпы во внешнем и внутреннем куполах. При дальнейшем заполнении куполов сжатым воздухом открывается основное входное отверстие-клапан (5) в изливный трубопровод и сжатый воздух при давлении 0,7 МПа из внешнего и внутреннего куполов, проходя через отверстие – клапан диаметром $\varnothing 70$ мм, разрывает сплошность столба пульпы в изливной трубе и, поднимая столб пульпы на Δh образует пузырь объемом ΔV .

При изотермическом процессе по закону Бойля-Мариотта

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad (3)$$

где P_1 – рабочее давление компрессора, МПа; V_1 – объем воздуха в куполах при давлении P_1 ; P_2 – давление столба пульпы в изливном трубопроводе в начальный момент работы насоса; V_2 – объем воздуха в куполах при давлении P_2 .

Разница объемов V_2 и V_1 образует начальный пузырь ΔV_n в изливной трубе

$$\Delta V_n = V_2 - V_1 \quad (4).$$

Уменьшение давления в куполах приводит к заполнению освободившегося пространства пульпой, к поднятию столба в изливной трубе и перекрытию отверстия (5) на Δh . В дальнейшем по мере наполнения куполов сжатым воздухом цикл повторяется.

Для получения высокого значения КПД насоса Гейзера необходимо, чтобы в изливной трубе в структуре движущихся масс (рис. 2) объемы жидкой фазы $V_{ж}$ (пульпы) и объемы воздушных пузырей $V_{вп}$ стремились к равенству, т.е. $V_{ж} \approx V_{сж.вп}$.

Исходя из производительности насоса $Q_n = 38$ л/с для гидродобычного агрегата (ГДА) и диаметра d изливной трубы равном 0,12 м, скорость жидкой фазы определяется по формуле

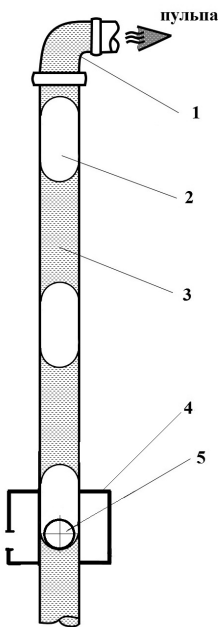


Рис. 2. Структура движущихся масс в изливной трубе: 1 – изливная труба; 2 – большой воздушный пузырь; 3 – гидросмесь (пульпа); 4 – внутренний воздушный купол (внешний воздушный купол условно не показан); 5 – отверстие-клапан

$$v_{жФ} = \frac{4 \cdot Q_{II}}{1000 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (5);$$

$$v_{жФ} = 3,36 \text{ м/с.}$$

Известно, что скорость движения сжатого воздуха по трубопроводу $v_{СЖ.В} \approx 10 \text{ м/с}$, тогда через отверстие – клапан диаметром $d_{отв} = 0,07 \text{ м}$ за 1 с в изливную трубу может войти пузырь объемом $V_{ВП}$

$$V_{ВП} = v_{СЖ.В} \cdot \frac{\pi \cdot d_{отв}^2}{4} \quad (6);$$

$$V_{ВП} = 38,4 \text{ л.}$$

При движении гидросмеси по вертикальной трубе потери давления на трение определяли по формуле Дарси-Вейсбаха

$$\Delta P_{тр} = \frac{\lambda_{гс} \cdot \gamma_{см} \cdot l \cdot v_{жФ}^2}{2g \cdot d} \quad (\text{Па}) \quad (7),$$

где l – длина изливной трубы ($l = 75 \text{ м}$); d – диаметр изливной трубы ($d = 0,12 \text{ м}$); $v_{жФ}$ – скорость жидкой фазы ($v_{жФ} = 3,36 \text{ м/с}$); g – ускорение силы тяжести ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$); $\gamma_{см}$ – удельный вес жидкости ($\gamma_{см} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$); $\lambda_{гс}$ – коэффициент гидравлических сопротивлений гидросмеси ($\lambda_{гс} = 0,01$).

Для Гостищевского и Шемраевского месторождений КМА при определении $\Delta P_{тр}$ при подъеме полидисперсной гидросмеси, состоящей из железной руды и воды, по трубам $\varnothing 120 \text{ мм}$ и длиной 25 м определялось для крупности фракций 3,0–6,0 мм и 0,5–3,0 мм с удельным весом $\gamma_{т} = 3,4 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ (руда) и параметром Рейнольдса $Re_{гс} = 833 \text{ 664}$ при движении гидросмеси.

При таких значениях входящих параметров потери давления на трение $\Delta P_{тр} = 4,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$, составляет около полuatмосферы.

Тогда, необходимое рабочее давление компрессора в пусковой период, определенное по формуле, составит гидростатическое давление пульпы плюс потери:

$$P_{пуск} = \gamma_{гс} \cdot (H - h) + \Delta P_{тр} + \gamma'_{гс+в} \cdot h \quad (8);$$

$$P_{пуск} = 0,83 \text{ МПа.}$$

Рабочее давление в изливной трубе при равенстве объемов воздушных пузырей и гидросмеси составит

$$P_{рабоч} = \gamma'_{гс+в} \cdot H + \frac{\Delta P_{тр}}{2} \quad (9),$$

$$P_{рабоч} = 0,52 \text{ МПа.}$$

где $\gamma'_{\text{гс+в}}$ – среднее значение удельного веса движущейся массы в изливной трубе.

При плотности воздуха $\rho = 1,21 \text{ кг/м}^3$ и $\gamma_{\text{см}} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ удельный вес гидросмеси и воздуха будет равен $\gamma'_{\text{гс+в}} = 0,63 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$.

Давление сжатого воздуха на входном отверстии изливной трубы в установившийся период работы насоса Гейзера определится выражением

$$P_{\text{уст}} = \gamma'_{\text{гс+в}} \cdot H + \Delta P_{\text{тр}}, \quad (10)$$

$$P_{\text{уст}} = 0,52 \text{ МПа.}$$

Объем внешнего купола V_1 определим, решая систему уравнений из условий:

1 – размер воздушного пузыря в установившийся период работы насоса, $\Delta V_{\text{к}}$ определяется по формуле (4), $\Delta V_{\text{к}} = 38,4 \text{ л}$;

2 – второе уравнение из закона Бойля-Мариотта (3)

$$V_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1},$$

где P_1 – рабочее давление компрессора ($P_1 = 0,7 \text{ МПа}$); P_2 – давление в изливной трубе при установившемся режиме ($P_2 = 0,52 \text{ МПа}$)

$$\begin{cases} V_2 - V_1 = 38,4 \\ V_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1} \end{cases} \quad (11)$$

Решая систему уравнений (11) относительно V_1 , установили, что объем внешнего купола должен быть равен 110 л ($V_1 = 110 \text{ л}$).

При изготовлении купола из трубы диаметром $D = 400 \text{ мм}$ его длина L будет определяться из выражения

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L. \quad (12)$$

Подставляя значения V_1 и D , получим $L = 875 \text{ мм}$, но так как часть купола занимает изливная труба диаметром $d = 120 \text{ мм}$ и

объемом $V_{\text{тр}} = 9,6 \text{ л}$ ($V_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L$), тогда к расчетному значению $V_1 = 110 \text{ л}$ необходимо добавить 10 л. Длина внешнего купола при этом увеличится до 955 мм.

$$L_{\text{факт}} = 955 \text{ мм} \approx 1 \text{ м.}$$

На рис. 3 представлены расчетные и конструктивные параметры насоса Гейзера для гидродобычного агрегата (ГДА) про-

изводительностью 38 л/с пульпы для Гостищевского месторождения железных руд.

Объем внутреннего воздушного купола, регулирующего открытие и закрытие отверстия-клапана в изливной трубе составляет 20–25% объема внешнего купола. В насосе для ГДА внутренний купол диаметром 270 мм и длиной 550 мм имеет объем 31,5 л, но с учетом уменьшения его полезного объема за счет внутреннего расположения изливной трубы его объем составит 26 л, что и составляет 24% от объема внешнего купола.

На рис. 4 представлена рабочая характеристика насоса Гейзера для ГДА.

Из представленной характеристики насоса видно, что для устойчивой работы насоса необходимо в период пуска обеспе-

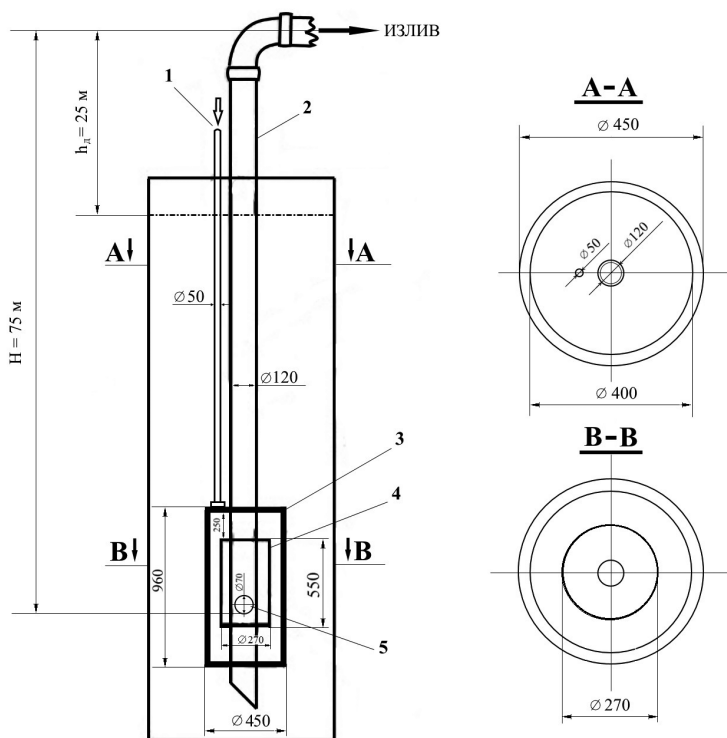


Рис. 3. Насос Гейзера для гидродобычного агрегата (ГДА): 1 – подвод сжатого воздуха к внешнему воздушному куполу; 2 – изливная труба; 3 – внешний воздушный купол; 4 – внутренний воздушный купол; 5 – отверстие-клапан в изливной трубе $H = 75 \text{ м}$ – глубина погружения насоса; $h_d = 25$ – глубина динамического уровня от уровня излива

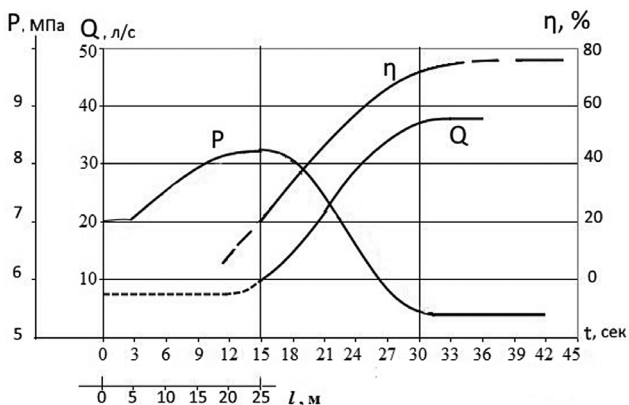


Рис. 4. Характеристика насоса Гейзера для гидродобычного агрегата: P , МПа – давление сжатого воздуха, подаваемое компрессором во внешний воздушный купол; Q , л/с – производительность насоса при подъеме пульпы; η , % – КПД насоса; l , м – высота подъема пульпы в изливной трубе

чить давление сжатого воздуха во внешнем воздушном куполе $P_{\text{пуск}} = 0,83$ МПа и его подачу до 10 л/с. В дальнейшем, в установленном режиме работы необходимо поддерживать давление сжатого воздуха до 0,6 МПа и его подачу до 38,4 л/с, что обеспечивает бесперебойный подъем пульпы в объеме 137 м^3 в час. Такие параметры обеспечит компрессор «Ремега» с дизельным приводом мощностью $N = 15$ кВт, развивающий давление до 0,9 МПа и обеспечивающий подачу $2,5 \text{ м}^3$ в минуту. После запуска насос позволяет в отличие от эрлифта, регулировать подачу сжатого воздуха в широком диапазоне не опасаясь его остановки и повысить КПД до 80%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аренс В. Ж., Бабичев Н. И., Башкатов А. Д. и др. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых: учеб. пособие. – М.: МГГУ, 2007. – 295 с.
2. Аренс В. Ж. Физико-химическая геотехнология: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – 656 с.
3. Третьяк А. Я., Литкевич Ю. Ф., Гроссу А. Н. Технология гидродобычи железной руды на месторождениях Курской магнитной аномалии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 3. – С. 50–54.
4. Третьяк А. Я., Чихоткин В. Ф., Павлунишин П. А. Техника и технология сооружения гидрогеологических скважин. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2006. – 410 с.
5. Патент US.6.162.020. Насос Гейзера. **ФИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Третьяк Александр Яковлевич*¹ — доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, зав. кафедрой, e-mail: 13050465@mail.ru,

*Литкевич Юрий Федорович*¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: 13050465@mail.ru,

*Гроссу Анна Николаевна*¹ — старший преподаватель, e-mail: A.Grossu@mail.ru,

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 10, pp. 304–311.

UDC 622.234

A.Ya. Tret'yak, Yu.F. Litkevich, A.N. Grossu

APPLICATION GEYSER PUMP FOR LIFTING PULP IN HYDRAULIC BOREHOLE MINING OF IRON ORE

The article considers approaches to defining the design parameters of the pumps Geyser given productivity, allowing them to combine the job with a capacity hydromining plant (GDA). It is shown that for GDA, developed for Gostischevskogo deposit KMA, advisable to use external air pump with a dome of 110 liters, with internal air dome of 26 liters. This allows the pump to provide the pulp with a speed rise of 38 l/s up to 80% efficiency.

The following material allows you to put the task of further improving the GDA.

Key words: airlift, pump Geyser, spilling pipe, internal and external air domes, the characteristics of the pump, compressor.

AUTHORS

*Tret'yak A. Ya.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Head of Chair, e-mail: 13050465@mail.ru,

*Litkevich Yu. F.*¹, — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: 13050465@mail.ru,

*Grossu A. N.*¹, — Senior Lecturer, e-mail: A.Grossu@mail.ru,

¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 346428, Novocherkassk, Russia.

REFERENCES

1. Arens V. Zh., Babichev N. I., Bashkatov A. D. *Skvazhinnaya gidrodobycha poleznykh iskopaemykh: uchebnoe posobie* (Downhole hydraulic output of minerals: Educational aid), Moscow, MGGU, 2007, 295 p.

2. Arens V. Zh. *Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya: uchebnoe posobie* (Physikal and chemical geotechnology: Educational aid), Moscow, Izd-vo MGGU, 2001, 656 p.

3. Tret'yak A. Ya., Litkevich Yu. F., Grossu A. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 3, pp. 50–54.

4. Tret'yak A. Ya., Chikhotkin V. F., Pavlunishin P. A. *Tekhnika i tekhnologiya sooruzheniya gidrogeologicheskikh skvazhin* (Equipment and Technologies facilities hydrogeological skvazhin), Rostov-na-Donu, Izd-vo YuNTs RAN, 2006, 410 p.

5. *Patent US. 6. 162. 020.*