

Комплексный подход полного цикла «исследование-инженерное решение-серийное производство» в сотрудничестве между разработчиками и заказчиками и позволит найти ключ к минерально-сырьевым богатствам России.

Государство в этой кооперации может выступить в роли модератора. В этом случае перед ним встают задачи: определить целевые долгосрочные приоритеты для развития промышленности, обеспечить инфраструктурой и стабильными условиями для ведения бизнеса, развивать кадровый потенциал, поддерживать отрасли, снабжающие необходимыми компонентами и материалами, привлекать для решения задач экспертное сообщество и активно использовать международную кооперацию.

При реализации политики импортозамещения важно учитывать ее позитивные свойства в соединении с положительными характеристиками модели развития экспортоориентированного производства — «экспортоориентированное импортозамещение» [12]. Наличие в России компаний, локализирующих разработку и выпуск инновационных продуктов, оказывает содействие развитию нефтегазовой промышленности, освоению передовых практик производства и управления. Для успешной реализации планов по импортозамещению необходимо использовать международные технологии на благо российского потребителя, чтобы передовые технологии производились в стране российским персоналом, чтобы создавались рабочие места, чтобы добавленная стоимость создавалась в РФ, налоги платились в России, создавался задел для дальнейшего развития страны, укрепления ее технологического и промышленного потенциала. Импортозамещение посредством локализации производства — это вклад компании «Шлюмберге» в развитие Российской нефтегазовой отрасли и социально-экономической сферы страны.

Автор выражает признательность В. Хану, Е. Коношанову и Р. Коемцу за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/23900>.
2. URL: <http://economics.volgograd.ru/other/innovation/download/06%20отраслевых%20планах%20по%20импортозамещению.pdf>.
3. URL: <http://www.rspp.ru/viewpoint/view/690>.
4. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41921/page/1>.
5. URL: <http://russian.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/russia>.
6. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3064815>.
7. Dmitrievskii, A.N. Strategic alternatives of import substitution of power equipment for the oil-and-gas sector / A.N. Dmitrievskii, N.I. Komkov, M.V. Krotova, V.S. Romantsov // Studies on Russian Economic Development January. — 2016. — V. 27. — № 1. — P. 21–33.
8. <https://www.ocean.slb.com>.
9. URL: http://www.slb.com/services/characterization/reservoir/core_pvt_lab/coreflow.aspx.
10. URL: <https://www.slb.com/avantguard>.
11. Bruton, H. Import substitution / Handbook of Development Economics, Volume II, Edit-ed by H. Chenery and T.N. Srinivasan, Elsevier Science Publishers B.V., 1989. — P. 1601–1644.
12. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/2912018>.

© Жданев О.В., 2018

Жданев Олег Валерьевич // ozhdaneev@slb.com

Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Гроссу А.Н. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова)

ТЕХНОЛОГИЯ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСОСОВ ГЕЙЗЕРА ДЛЯ ПОДЪЕМА ПУЛЬПЫ

*Показано, что применение насоса Гейзера вместо эрлифтной установки в составе гидродобычного агрегата ГДА-600, работающего с буровым насосом средней мощности НБТ-600, позволяет снизить мощность привода и энергозатраты на подъем пульпы с 40 до 15 кВт, но это не может существенно повлиять на эффективность работы ГДА-600 в целом. Рассматривается компоновка ГДА с буровым насосом УНБ-1250 с подачей $Q_p = 51$ л/с и двумя насосами Гейзера с размерами, позволяющими вписать их в структуру ГДА-1250. При этом производительность гидродобычного агрегата увеличивается с 41,5 т (при комплектации насосом НБТ-600) до 58 т руды в час, т.е. более чем в 1,4 раза. **Ключевые слова:** гидродобычный агрегат, буровой насос, эрлифтная установка, насос Гейзера, забойные условия, гидростатическое давление, производительность ГДА, извлекаемость руды.*

Tretyak A.A., Litkevich Yu.F., Grossu A.N. (Platov South-Russian State Polytechnical University (NPI)

THE TECHNOLOGY OF DOWNHOLE MINING OF IRON ORE WITH THE USE OF GEYSER PUMPS FOR PULP LIFTING

*The article shows that the use of the Geiser pump instead of the air-lift unit as part of the hydraulic unit GDA-600, operating with the NBT-600 medium-capacity drilling pump, allows to reduce drive power and energy consumption for lifting the pulp from 40 to 15 kW, but this cannot significantly affect the effectiveness of the GDA-600 as a whole. The layout of the GDS with the drilling pump UNB-1250 with a feed $Q_p = 51$ l/s and two pumps of the Geiser with dimensions allowing them to fit into the GDA-1250 structure is considered. At the same time, the productivity of the hydraulic unit increases from 41,5 tons (when equipped with a pump NBT-600) to 58 tons of ore per hour, i.e. more than 1,4 times. **Keywords:** hydromining plant, drilling pump, air-lift unit, pump Geiser, downhole conditions, hydrostatic pressure, productivity of GDA, recoverability of ore.*

При разработке скважинного гидродобычного агрегата ГДА-600 для Гостищевского месторождения Курской магнитной аномалии (КМА) предусматривалось применение эрлифтной установки для подъема пульпы 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 $\gamma_{см} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ ($Q_n = 38 \text{ л/с}$ при работе насоса НБТ-600).

Используется компрессор типа ЗИФ-55 с характеристиками:

- подача сжатого воздуха $Q_a = 5,5 \text{ м}^3/\text{мин}$;
- рабочее давление $P_{раб} = 0,7 \text{ МПа}$;
- мощность привода $N_D = 40 \text{ кВт}$;

— КПД эрлифтной установки, рассчитываемой по формуле

$$\eta = 100 \frac{Q_n \cdot h_D \cdot 1,25}{1,36 \cdot N_D \cdot 75} \quad (1),$$

составляет $\eta = 28,75 \%$ [1, 2, 5–7].

Эрлифтные насосы хороши, в них нет движущихся частей, но они либо работают, либо нет, т.к. нет никакой возможности регулировать количество поступающего воздуха.

В настоящее время на Гостищевском месторождении пробурено две добычные скважины. Конструкция скважин следующая: направляющая колонна — $\varnothing 920 \text{ мм}$, кондуктор — $\varnothing 630 \text{ мм}$, техническая колонна — $\varnothing 426 \text{ мм}$, добычная колонна — $\varnothing 245 \text{ мм}$.

Известно, что с изменением глубины забоя от 560 до 750 м объем руды, извлекаемый за полный цикл работы агрегата ГДА с насосом НБТ-600, уменьшается более чем в 2,5 раза (с 3014 м³ до 1177 м³) [8], при этом режим работы эрлифтной установки для подъема пульпы остается неизменным. На рис. 1 представлена схема гидродобывного агрегата ГДА-600 с эрлифтной установкой для подъема пульпы [5].

И, несмотря на то что добываемые 40 т руды в час — это более чем в 3 раза больше достигнутых на Шемраевском месторождении, считать достигнутый результат удовлетворительным нельзя, так как извлекаемость руды с глубины 750 м очень низкая.

Для повышения эффективности ГДА рассмотрим вариант компоновки гидродобывного агрегата с насосом УНБ-1250 и насосами Гейзера [7]. Технологическая насосная станция с насосом УНБ-1250 обеспечивает на максимальной втулке $\varnothing 200 \text{ мм}$ давление $P_n = 21 \text{ МПа}$ при подаче насоса $Q_n = 51 \text{ л/с} \approx 183 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для получения высокого значения КПД насоса Гейзера необходимо, чтобы в изливной трубе в структуре движущихся масс объемы жидкой фазы $V_{ж}$ (пульпы) и объемы воздушных пузырей $V_{вп}$ стремились к равенству, т.е. $V_{ж} \approx V_{вп}$.

При изотермическом процессе по закону Бойля-Мариотта:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2),$$

где P_1 — рабочее давление компрессора, МПа; V_1 — объем воздуха в куполах при давлении P_1 ; P_2 — давление столба пульпы в изливной 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

$$\Delta V_n = V_2 - V_1 \quad (3).$$

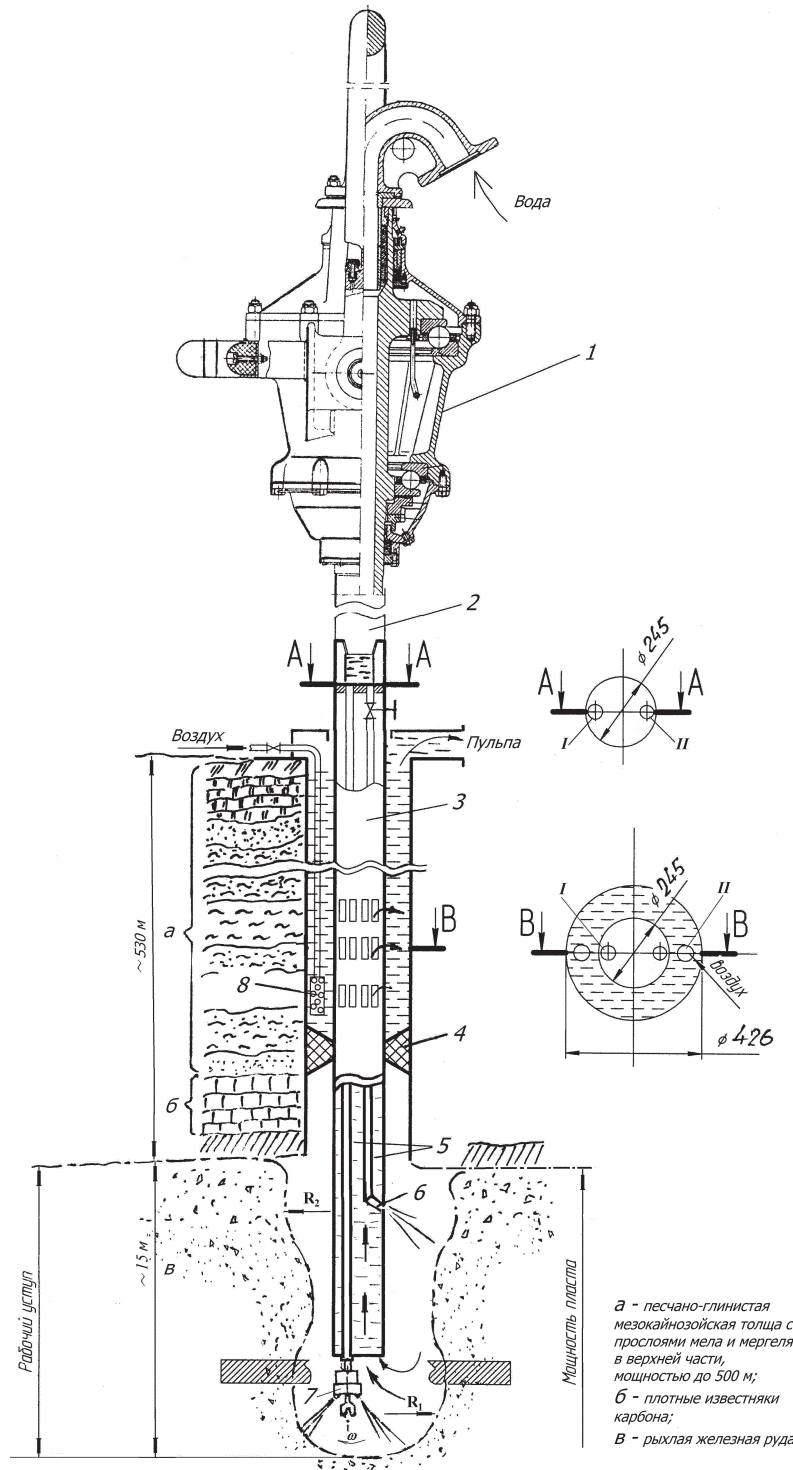


Рис. 1. Схема гидродобывного агрегата ГДА-600 с эрлифтной установкой для подъема пульпы: 1 — вертлюг; 2 — ведущая труба; 3 — добычная колонна; 4 — пакер; 5 — трубопроводы I и II; 6 — гидромонитор; 7 — буровое долото с двумя гидромониторами; 8 — эрлифтная установка

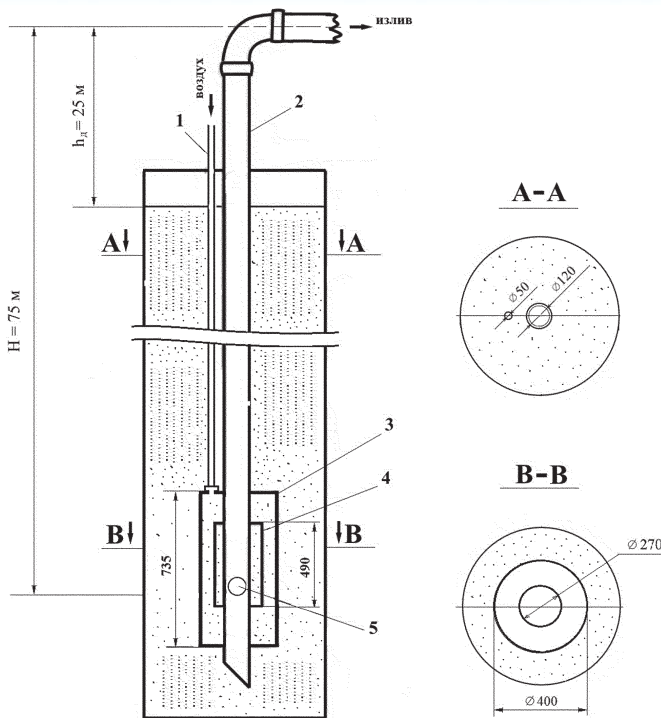


Рис. 2. Насос Гейзера для гидродобычного агрегата ГДА-1250: 1 — подвод сжатого воздуха к внешнему воздушному куполу; 2 — изливная труба; 3 — внешний воздушный купол; 4 — внутренний воздушный купол; 5 — отверстие-клапан $\varnothing 60$ мм в изливной трубе; $H = 75$ м — глубина погружения насоса; $h_d = 25$ м — глубина динамического уровня от уровня излива

А так как в изливной трубе объемы жидкой фазы $V_{ж}$ и воздушных пузырей $V_{вн}$ должны быть равны, то исходя из производительности насоса УНБ-1250 $Q_n = 51$ л/с, размер воздушного пузыря в установившемся период работы насоса, определяемый по формуле (3) должен быть равен $\Delta V_n = 51$ л, т.е. $V_2 - V_1 = 51$ л.

Второе уравнение для определения объема воздуха системы V_1 в куполе получаем из равенства в законе Бойля-Мариотта:

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

где $P_1 = 0,7$ МПа — рабочее давление компрессора;

$P_2 = 0,52$ МПа — давление в изливной трубе при установившемся режиме, когда $V_{ж} \approx V_{вн}$.

$$\begin{cases} V_2 - V_1 = 51 \\ V_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1} \end{cases} \quad (4).$$

Решая систему уравнений (4) относительно V_1 , установили, что объем внешнего купола V_1 (с учетом объема изливной трубы, расположенной внутри купола) должен быть равен $V_1 \approx 160$ л, а внутренний воздушный купол из расчета $\approx 25\%$ внешнего купола будет равен $V_{вн} \approx 40$ л.

Разместить насос Гейзера с внешним воздушным куполом объемом 160 л и внутренним куполом объемом 40 л в габариты пробуренных скважин затрудни-

тельно. Поэтому принимаем решение применить в составе ГДА-1250 два насоса Гейзера производительностью по $Q_n = 26$ л/с с объемом внешнего купола 74 л и внутренним куполом объемом ≈ 20 л.

Компрессорная станция с компрессорами «Remeza» и дизельным приводом мощностью $N = 15$ кВт, развивающими давление 0,9 МПа, обеспечивает подачу сжатого воздуха к насосам Гейзера 2,5 м³/мин. На рис. 2 показан насос Гейзера для гидродобычного агрегата ГДА-1250. При установке на ГДА насоса УНБ-1250, обеспечивающего подачу $Q_n = 51$ л/с при давлении $P_n = 21$ МПа, изменится работа гидромониторов.

Эффективной в затопленном пространстве считается работа гидромонитора при скорости истечения струи, превышающей 80 м/с. Расчет скорости истечения струи из сопла гидромонитора определим для начальной и конечной глубины отработки пласта по формуле (5) [3, 4, 8]:

$$V_c = \varphi \sqrt{2g\Delta P}, \text{ м/с} \quad (5),$$

где φ — коэффициент скорости ($\varphi = 0,7 \div 0,8$); P — разность между давлением на манифольде $P_{мф}$ и гидростатическим давлением пульпы P_{zn} в метрах водяного столба (МВС).

$$\Delta P = P_{мф} - P_{zn} \text{ МВС} \quad (6).$$

Для пульпы плотностью $\rho_n = 1,25$ т/м³ P_{zn} на глубине $H_1 = 560$ м гидростатическое давление, определяемое по формуле (7), будет равно $P_{zn} = 7$ МПа.

$$P_{zn} = \rho_n \cdot H_1, \text{ МПа} \quad (7).$$

Тогда $\Delta P = 21$ МПа — 7 МПа = 14 МПа или $\Delta P = 1400$ МВС.

Расчет показывает, что на глубине $H_1 = 560$ м — начальной отработки пласта, скорость истечения струи гидромонитора составляет $V_{c1} = 116$ м/с, а на глубине $H_2 = 750$ м — конечной отработки пласта, превышает $V_{c2} = 106$ м/с.

Таким образом, при давлении на манифольде $P_{мф} = 21$ МПа работа гидромониторов на глубине 560 и 750 м при скорости истечения струи $V_c \gg 80$ м/с будет устойчива и эффективна.

На рис. 3 представлена схема гидродобычного агрегата ГДА-1250 с насосом УНБ-1250 и насосами Гейзера. В добычной колонне 3 расположены две трубы I и II (сечение А-А) для постоянной подачи воды к долоту 7 с гидромониторным приводом и к гидромонитору 6. Гидромониторные струи долота 7, направленные в противоположные стороны, вращают долото, размывают грудь забоя и превращают рыхлую руду в пульпу, которая по внутреннему каналу добычной колонны поднимается к окнам излива пульпы к насосам Гейзера 8. Гидромонитор 6 при медленном вращении добычной колонны размывает боковые стенки рабочего уступа, превращая их в пульпу, поднимающуюся к окнам насосов Гейзера 8. Созданный напорными струями на долоте крутящий момент, превышающий 350 Н·м, является достаточным для устойчивой работы

бурового долота при разрушении пород IV–V категорий по буримости [8].

Забойные условия работы снаряда гидромониторов и бурового долота на забое следующие:

- открытое затопленное очистное пространство в гидродобычной скважине;
- неуправляемые обрушения рудной и породной массы в очистном пространстве;

— гидростатическое давление в начале отработки пласта, начальное 7 МПа, в конце разработки пласта, конечное — 9,3 МПа;

— жесткая связь с напорной колонной ГДА, имеющая возможность принудительного вращения вокруг своей оси и перемещения вдоль оси скважины;

— рабочий агент — вода и сжатый воздух. Начальное и конечное давление на манифольде 21 МПа при расходе 51 л/с → 183 м³/ч.

Для пульпы плотностью $\rho_n = 1,25 \text{ т/м}^3$ количество руды, подаваемое в отстойник, определяется по формуле (8) и будет равно 0,32 т/м³:

$$P_{\text{жр}} = \frac{\rho \cdot (\rho_n - \rho_v)}{\rho - \rho_v}, \text{ т/м}^3 \quad (8),$$

где ρ — плотность гематитомартитовой железной руды на Гостищевском месторождении ($\rho = 4,5 \text{ т/м}^3$); ρ_n — плотность пульпы ($\rho_n = 1,25 \text{ т/м}^3$); ρ_v — плотность воды ($\rho_v = 1,0 \text{ т/м}^3$).

При подаче насоса УНБ-1250 $Q_n = 51 \text{ л/с}$ или 183 м³/ч производительность ГДА по руде, определяемая по формуле (9), будет равна 58 т/ч:

$$P_Q = Q \cdot P_{\text{жр}}, \text{ т/ч} \quad (9).$$

Объем руды, извлекаемый за полный цикл работы ГДА, определяется зависимостью (10):

$$W_{\text{п}} = \pi R_r^2 \cdot h, \text{ м}^3 \quad (10),$$

где R_r — радиус эффективного действия гидромонитора при отбойке рудной массы ($R_r = 8 \text{ м}$);

h — высота полного цикла, равная перемещению снаряда вдоль оси без остановки процесса гидродобычи ($h = 15 \text{ м}$). Тогда как в начальный период на глубине 560 м, так и в конечный период на глубине 750 м, $W_{\text{п}}$ будет равен 3014 м³.

Сравнение расчетов производительности ГДА в комплектации с насосами НБТ-600 и УНБ-1250, а также объемов руды, извлекаемых из пласта за пол-

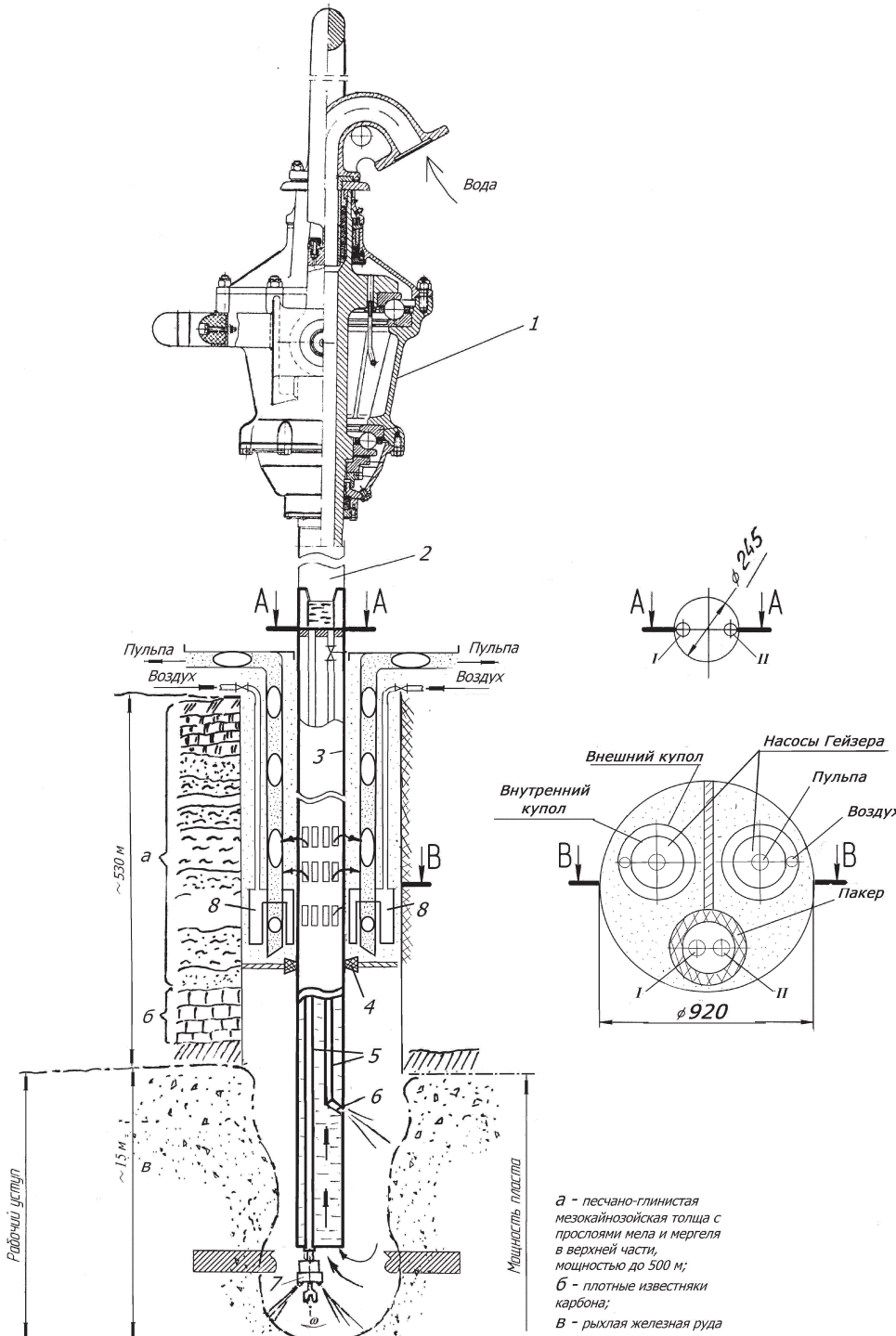


Рис. 3. Схема гидродобычного агрегата ГДА-1250 с насосами Гейзера для подъема пульпы: 1 — вертлюг; 2 — ведущая труба; 3 — добычная колонна; 4 — пакер; 5 — трубопроводы I и II; 6 — гидромонитор; 7 — буровое долото с двумя гидромониторами; 8 — насосы Гейзера

№ п/п	Параметры забойных условий	Гидроагрегаты			
		ГДА-600		ГДА-1250	
		Начало отработки пласта	Конец отработки пласта	Начало отработки пласта	Конец отработки пласта
1	Глубина залегания H , м	560	750	560	750
2	Гидростатическое давление столба пульпы $P_{ст}$, МПа	7,0	9,3	7,0	9,3
3	Давление на манифольде насоса $P_{мф}$, МПа	12,7	14,3	21	21
4	Подача насоса Q_n , л/с	38	33,9	51	51
5	Разность давлений на манифольде и на забое ΔP , МПа	5,7	5,0	14	11,7
6	Средняя производительность ГДА $P_{ср}$, т/ч	41,5		58	
7	Средний объем руды, извлекаемый за полный цикл работы ГДА $W_{ср}$, м ³	2095		3014	

ный цикл работы гидродобычных агрегатов в начале на глубине 560 м и в конце отработки пласта на глубине 750 м представлены в таблице. Расчеты показывают, что гидродобычной агрегат ГДА в комплекте с насосами УНБ-1250 и насосами Гейзера в условиях Гостищевского месторождения КМА обеспечат работу более 58 т руды в час, что более чем в 1,4 раза превышает результат производительности ГДА в комплекте с насосом НБТ-600 и эрлифтной установкой. При этом средний объем руды, извлекаемой за полный цикл работы ГДА, увеличивается с 2095 до 3014 м³ и полностью исключает недобор руды в забое на глубине 750 м.

Представленный материал позволяет оценить достигнутый результат и поставить задачу дальнейшего совершенствования ГДА.

1. Аренс, В.Ж. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых: Учеб. пособие / В.Ж. Аренс, Н.И. Бабичев, А.Д. Башкатов и др. — 2-е изд. — М.: Изд-во «Горная книга», 2011. — 295 с.
2. Аренс, В.Ж. Физико-химическая геотехнология: Учеб. для вузов / Под ред. В.Ж. Аренса. — М.: Изд-во Московского государственного горного университета, «Горная книга», 2010. — 575 с.
3. Бреннер, В.А. Гидромеханическое разрушение горных пород / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, А.Е. Пушкарев, М.М. Щеголевский. — М.: Акад. гор. наук, 2000. — 343 с.
4. Зорин, А.Н. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых / А.Н. Зорин, Ю.М. Халимендик, В.Г. Колесников. — М.: Недра, 2001. — 413 с.
5. Третьяк, А.Я. Буровое долото режущего типа с гидромониторным приводом для скважинной гидродобычи железных руд / А.Я. Третьяк, Ю.Ф. Литкевич, И.К. Сапожников, А.Н. Гроссу // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. — 2015. — № 1. — С. 107–110.
6. Третьяк, А.Я. Технология гидродобычи железной руды на месторождениях Курской магнитной аномалии / А.Я. Третьяк, Ю.Ф. Литкевич, А.Н. Гроссу // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 3. — С. 50–54.
7. Третьяк, А.Я. Применение насоса Гейзера для подъема пульпы при скважинной гидродобыче железной руды / А.Я. Третьяк, Ю.Ф. Литкевич, А.Н. Гроссу // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 10. — С. 304–311.
8. Третьяк, А.Я. Влияние забойных условий на производительность гидроагрегата при добыче железной руды / А.Я. Третьяк, Ю.Ф. Литкевич, А.Н. Гроссу // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. — 2015. — № 2. — С. 64–68.

© Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Гроссу А.Н., 2018

Третьяк Александр Александрович // 13050465@mail.ru
Литкевич Юрий Федорович // 13050465@mail.ru
Гроссу Анна Николаевна // 13050465@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК: 553.041 (470.22)

Щипцов В.В. (ИГ КарНЦ РАН)

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Охарактеризована история горных разработок трех северных районов Республики Карелия, включенных в состав Арктической зоны РФ и показан минерально-сырьевой потенциал промышленных минералов на перспективу и их использование в технологиях XXI века. Рассмотрены основные месторождения и крупные проявления кианита, граната, мелкочешуйчатого мусковита, нетрадиционного полевого шпата (нефелиновые сиениты, анортозиты, кварцевые порфиры), кварца, ильменита, апатита. **Ключевые слова:** Арктическая зона, промышленные минералы, месторождения, доступность недр.

Shchiptsov V.V. (IG KarRC RAS)

INDUSTRIAL MINERALS OF THE ARCTIC REGIONS OF THE REPUBLIC OF KARELIA

*The mining history of three areas in North Karelia, located in Russia's Arctic Zone, is described, its industrial mineral potential is evaluated and the use of industrial minerals in 21st-century technologies is illustrated. Major deposits and large occurrences of kyanite, garnet, finely-squamose muscovite, nonconventional feldspar (nepheline syenite, anorthosite, quartz porphyry), quartz, ilmenite, apatite diatomite occurrences are discussed. **Keywords:** Arctic Zone, industrial minerals, deposits, accessibility of mineral deposit.*

В состав Арктической зоны РФ Указом президента от 27 июня 2017 г. включена территория Лоухского, Кемского и Беломорского муниципальных районов Республики Карелия.