

ским срезам размером близким к размеру измельчения позволяет определять реальный состав титаномагнетита в различном гранулометрическом спектре в связи с оценкой обогатимости руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. — М.: МГУ, 1984. — 240 с.
2. Игнатьев В.Д. Кристаллохимические факторы устойчивости оксидов и силикатов к выветриванию. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
3. Крейг Дж., Воган Д. Рудная микроскопия и рудная петрография: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 423 с.
4. Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А. Онтогенетический метод в минералогии. — Киев: Наукова думка, 1988. — 120 с.
5. Пахомов Ф.П., Тигунов Л.П., Быховский Л.З. Титаномагнетитовые месторождения России: минерально-сырьевая база, перспективы освоения и комплексного использования. — М.:ВИМС, 2010. — 138 с.
6. Пирогов Б.И., Броницкая Е.С., Астахова Ю.М., Волков Е.С. Особенности вещественного состава титаномагнетитовых руд магматического генезиса, определяющие их обогатимость // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 2. — С. 47–51.
7. Пирогов Б.И., Быстров И.Г. Минералого-технологические особенности неоднородности титаномагнетитов РФ и методы их оценки / Рациональное недропользование: Сб. науч. трудов IX Российского семинара по технологической минералогии... / Под ред. С.Е. Гавришева. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. — С. 180–187.
8. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания / Под ред. А.Г. Бетехтина: Пер. с англ. — М. Изд-во Иностран. литературы, 1962. — 1132 с.
9. Ревнивцев В.И. Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых // ЗВМО. — 1982. — Ч. 111. — Вып. 4. — С. 443–449.
10. Резниченко В.А., Шабалин Л.И. Титаномагнетиты, месторождения, металлургия, химическая технология. — М., 1986. — 293 с.
11. Ферсман А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. — М.-Л., 1940.
12. Чернышева Л.В., Фоминых В.Г. Гетерогенность магнетитов титаномагнетитовых месторождений габбро-пироксенит-дунитовой формации Урала // Сб. Гетерогенность состава и строения минералов Урала. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. — С. 113–126.
13. Akimoto S. Magnetic properties of $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ system as a basis of rock magnetism // Journal of Physical Society of Japan, 1962. Vol. 17. P. 706–710.

© Пирогов Б.И., Быстров И.Г., 2015

Пирогов Борис Иванович // pirogov_bi@inbox.ru
Быстров Иван Георгиевич // bysivg@gmail.com

УДК 550.81

Моргачёв Д.А. (ЗАО «ИТЦ «ДЖЭТ»)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

*Приведены результаты исследования расхода топлива дизельной электростанции, питающей буровую установку в процессе сооружения геологоразведочной скважины. На основании выполненных исследований показано, что применение частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя позволяет выбрать дизель-генератор меньшей мощности. Более полное использование дизеля по мощности при работе частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя дает возможность снизить затраты на энергообеспечение при проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. **Ключевые слова:** дизельная электростанция, топливо, буровая установка, нерегулируемый асинхронный двигатель, частотно-регулируемый асинхронный двигатель, пусковой ток, пусковая мощность, отклонение напряжения.*

Morgachev D.A. (JSC «General Energy Technologies»)

JUSTIFICATION OF THE CHOICE DIESEL GENERATOR FOR DRILLING RIG WITH VARIABLE FREQUENCY DRIVES

*The results of research in fuel consumption of diesel power station supplying the rig during the construction of exploratory wells. On the basis of the research shows that the use of variable frequency induction motor allows you to choose a diesel generator less power. Full use of diesel power when operating frequency-controlled induction motor can reduce energy costs during geological mining prospecting. **Key words:** diesel generating set, fuel, drilling rig, cage induction motor, VFD-fed cage induction motor, inrush current, inrush power, voltage deviation.*

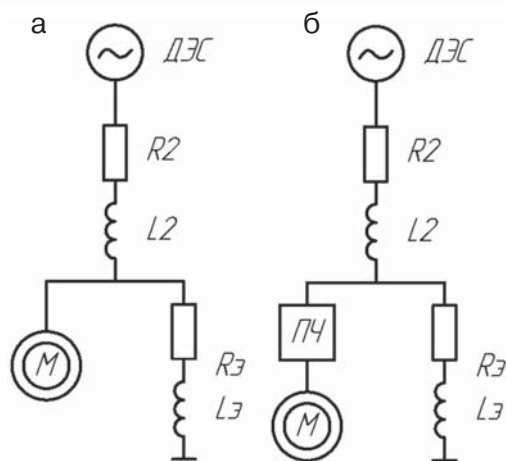
В статье представлены результаты исследования работы дизельной электростанции (ДЭС) АД-100-Т/400 и потребителей электроэнергии буровой установки (БУ) УКБ-5 в условиях проведения геологоразведочных работ (ГРП) на твердые полезные ископаемые. Как правило, номинальная мощность ДЭС в 1,5–2 раза превышает расчетную активную мощность БУ. Причиной этого является требование по обеспечению полуторакратного запаса по пусковой мощности короткозамкнутого асинхронного двигателя (КЗАД) вращателя БУ [4]. Это обстоятельство приводит к неполному использованию ДЭС по мощности. В то же время при работе частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) в составе БУ требование по обеспечению полуторакратного запаса по пусковой мощности снимается.

Работа ДЭС совместно с КЗАД в составе БУ изучена достаточно полно [1, 5, 6]. Также известны работы по исследованию ЧРЭП в составе БУ [7]. Однако вопросы выбора и работа ДЭС для БУ, укомплектованной ЧРЭП, не рассматривались. Поэтому целью данного исследования является анализ работы ДЭС и БУ, укомплектованной ЧРЭП и обоснование его применения для сокращения расхода топлива.

Электротехнический комплекс буровой установки УКБ-5 включает в себя привод станка мощностью 30 кВт, привод насоса мощностью 22 кВт, привод гидросистемы мощностью 3 кВт, привод трубоизвлечения мощностью 3 кВт, освещение с потреблением до 2,5 кВт и аппаратуру контроля и управления с потреблением до 3 кВт. Буровая установка укомплектована индивидуальной дизельной электростанцией ДЭС-100-Т/400 мощностью 100 кВт.

Исследование проводилось методом структурного моделирования для двух систем электропривода (ЭП): нерегулируемый асинхронный двигатель (АД) и частотно-регулируемый АД с косвенным управлением по вектору потокосцепления ротора [6].

Модель разработана на основе схем замещения (рисунок) в программной среде MatlabSimulink с использованием библиотеки SimPowerSystems [6]. Она учитывает основные свойства системы электроснабжения ГРП и позволяет исследовать качество электроэнергии в системе электроснабжения ГРП при различных режимах работы ЭП. С помощью модели были выполнены расчеты показателей качества электроэнергии во время пуска, установившегося режима и при различных аварийных ситуациях. Результаты



Схемы замещения, положенные в основу модели с нерегулируемым (а) и частотно-регулируемым (б) электроприводом: R2 и L2 — сопротивление сети; ДЭС — дизельная электростанция; R3 и L3 — эквивалентная нагрузка БУ, учитывающая вспомогательные электропотребители; М — главный привод БУ; ПЧ — преобразователь частоты

моделирования представляются в виде графиков функций величин от времени, таких как напряжение, ток, отклонение напряжения, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, активная и реактивная мощность, потребляемые из сети, угловая скорость приводного двигателя, момент приводного двигателя, мощность на валу приводного двигателя и др. [9].

Результаты исследования пусковых и установившихся режимов работы нерегулируемого и частотно-регулируемого электропривода

Так как мощность ДЭС в условиях проведения ГРП сопоставима с мощностью потребителя электроэнергии, работа электротехнического комплекса БУ может сопровождаться ухудшением качества электроэнергии. В связи с этим главный привод БУ — как наиболее энергоемкий потребитель — представляет особый интерес для исследования, поскольку КЗАД во время пуска или при ступенчатом приложении значительного момента на вал способен оказать негативное влияние на сеть, а значит, и на параллельно включенных ему потребителей.

Необходимо особо отметить, что для автономных источников электроэнергии пуск АД является наиболее тяжелым режимом и зачастую определяет основные параметры ДЭС — активную мощность дизеля и полную мощность синхронного генератора [5].

Исследования проводились для дизеля типа ДЭС-100, который обеспечивает пусковой режим для рассматриваемого КЗАД.

Результаты исследования работы ДЭС и БУ в режиме пуска представлены в табл. 1, в установившемся режиме — в табл. 2. Выбранный дизель-генератор ДЭС-100 удовлетворяет требованию по обеспечению полуторакратного запаса по пусковой мощности КЗАД. Однако при использовании преобразователя частоты в составе буровой установки это условие снимается. Выбор дизель-генератора для буровой установки, главный привод которой оснащен преобразователем частоты, сле-

дует выполнять по расчетной нагрузке, которая для УКБ-5 равна 50,8 кВт [5]. Этому условию соответствует дизель-генератор ДЭС-60-Т/400.

Сравнение расхода топлива для ДЭС-100 и ДЭС-60

Для вариантов электроснабжения буровой установки от ДЭС-100 и ДЭС-60 был проведен расчет расхода топлива при сооружении скважины. Расчет выполнялся для типового геологического разреза (табл. 3), при этом определялась мощность, затраченная на непосредственно бурение $N_{\text{бур}}$ и промывку $N_{\text{н}}$ для каждого пласта. Мощность двигателя вращателя в процессе бурения расходуется на холостое вращение буровой колонны $N_{\text{хв}}$, на разрушение горной породы на забое скважины $N_{\text{заб}}$ и на преодоление сопротивлений, возникающих при трении гребней полушпильчатой вращающейся колонны о стенки скважины при передаче осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $N_{\text{доп}}$ [3].

Для расчета мощности, затраченной на холостое вращение колонны буровых труб и утяжеленных буровых

Таблица 1
Сравнение режимов пуска для нерегулируемого и частотно-регулируемого АД

Параметры двигателя	Частотно-регулируемый АД				Ступенчато-регулируемый АД (пуск вхолостую)
	Нагрузка на валу, % от номинальной				
	10	40	70	100	
$M_{\text{дв}}$, Н·м	60	108	154	200	260
$I_{\text{дв}}$, А	30	44	60	77	330
$U_{\text{дв}}$, В	510	497	492	487	500
$P_{\text{дв}}$, кВт	9	13	20	25	34,2
k , %	4	5,4	6,3	7	—

Примечание. Здесь и в табл. 2: $M_{\text{дв}}$, $I_{\text{дв}}$, $U_{\text{дв}}$, $P_{\text{дв}}$ — соответственно момент, ток, напряжение и мощность двигателя; k — коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения.

Таблица 2
Сравнение установившихся режимов для нерегулируемого и частотно-регулируемого АД

Параметры двигателя	Частотно-регулируемый АД				Ступенчато-регулируемый АД			
	Нагрузка на валу, % от номинальной							
	10	40	70	100	10	40	70	100
$M_{\text{дв}}$, Н·м	19,5	78	136,4	194,9	20	78	136,5	194,9
$I_{\text{дв}}$, А	22	36,7	57,1	81,6	22	36	56	80
$U_{\text{дв}}$, В	520	517	510	505	520	520	516	511
$P_{\text{дв}}$, кВт	3	12	21	30	3,1	12,7	21,15	30

Таблица 3
Геологический разрез

Интервал, м	Диаметр, мм	Способ бурения и тип ПРИ	Категория по буримости	Горная порода
0–8	112	БК, ШД	III	Супесь, мергели
8–65	93	БК, ШД	IV	Аргиллиты слабые
65–180	93	БК, ШД	V	Аргиллиты
180–400	76	К, ТС	VII	Песчанники
400–700	76	К, ССК	VIII	Андезиты

Таблица 4
Затраты мощности на бурение каждого пласта, кВт

Интервал, м	$N_{\text{хв}}$	$N_{\text{хв}}$ для УБТ	$N_{\text{доп}}$	$N_{\text{заб}}$	$N_{\text{н}}$	$N_{\text{сум}}$
0–8	0,043	—	5,133	1,645	0,7	6,822
8–65	0,102	0,407	1,852	1,195	0,98	3,557
65–180	0,371	0,407	1,852	1,195	1,43	3,826
180–400	3,511	—	3,942	8,528	1,96	15,98
400–700	14,969	—	6,23	8,582	2,99	29,78

труб (УБТ), была применена формула НПО «Геотехника» (В.Г. Кардыш, А.С. Окмянский) [3]:

$$N_{\text{хв}} = 55,8 \cdot 10^{-4} k_1 k_2 k_3 (1 + 0,44 \cos \beta (0,9 + 20\delta)) k_4 q d n_{\text{хв}}^{1,83} L^{0,75}, \quad (1)$$

где k_1 , k_2 , k_3 и k_4 — коэффициенты, учитывающие тип соединения бурильных труб, вид промывочной жидкости, характер стенок скважины и материал бурильных труб соответственно; β — угол наклона скважины; δ — зазор между стенками скважины и бурильными трубами, м; q — масса бурильных труб, кг/м; d — диаметр бурильных труб; $n_{\text{хв}}$ — частота вращения снаряда, с⁻¹; L — глубина скважины, м.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивлений, определялась по формуле [3]

$$N_{\text{доп}} = 2,45 \cdot 10^{-3} \delta P n, \quad (2)$$

где P — осевая нагрузка, даН; n — частота вращения снаряда, мин⁻¹.

Мощность, затрачиваемая на забое при использовании шарошечного долота, рассчитывалась следующим образом [3]:

$$N_{\text{заб}} = 10^{-3} m P n D, \quad (3)$$

где m — коэффициент, учитывающий диаметр долота; D — диаметр долота, м.

Мощность, затрачиваемая на забое при использовании твердосплавной коронки, определялась по формуле [3]

$$N_{\text{заб}} = 5,3 \cdot 10^{-4} P n D_{\text{срк}} (0,137 + m), \quad (4)$$

Таблица 5
Затраты времени на бурение скважины (форма № 5-2-пр [2])

Способ бурения, тип ПРИ	Диаметр скважины, мм	Категория пород	Объем бурения, м	Номер табл., строки, столбца в ССН-5 [2]	Нормы времени, ст.-см.	Поправочный коэф.	Затраты времени, ст.-см.
БК, ШД	112	III	8	11.88.5	0,04	1,00	0,32
БК, ШД	93	IV	57	11.88.6	0,06	1,00	3,42
К, ТС	76	V	115	5.48.7	0,15	1,00	17,25
К, КССК	76	VII	220	9.13.4	0,12	1,00	26,40
К, ССК	59	VIII	260	8.13.5	0,13	1,00	33,80
К, ССК	59	VIII	40	8.13.5	0,13	1,30	6,76
Итого:	—	—	700	—	—	—	87,92
в мягких породах	—	—	180	—	—	—	20,99
в твердых породах	—	—	520	—	—	—	66,96

Таблица 6
Сравнение расхода топлива для ДЭС-100 и ДЭС-60

Интервал, м	Время, ч	Мощность, кВт	Расход, кг	
			ДЭС-100	ДЭС-60
0–8	2,56	6,822	19,825	12,7
8–65	27,36	3,557	202,15	125,5
65–180	138	3,826	1024	637,12
180–400	211,2	15,98	1863	1295
400–700	324,48	29,78	3461	2685
Итого	703,6	—	6570	4756

где $D_{\text{срк}}$ — средний диаметр коронки, м, а при использовании алмазной коронки — по формуле [3]

$$N_{\text{заб}} = 2 \cdot 10^{-4} P n D_{\text{срк}}, \quad (5)$$

Мощность, затраченная на промывку скважины, рассчитывалась как [3]

$$N_{\text{н}} = Q p_{\text{н}} / \eta + \Delta N_{\text{дв}}, \quad (6)$$

где Q — общая подача насоса, м³/с; $p_{\text{н}}$ — давление, развиваемое насосом при подаче в скважину промывочной жидкости, кПа; η — КПД насоса при текущей подаче; $\Delta N_{\text{дв}}$ — потери мощности в ЭП насоса, кВт.

Результаты расчетов по формулам (1)–(6) сведены в табл. 4.

По представленному в табл. 3 геологическому разрезу был произведен расчет затрат времени на бурение скважины (табл. 5) [3].

Расход топлива для i -го пласта был рассчитан по методике ВИЭМС [8]:

$$G_i = t_i N_{\text{двс}} g_{\text{вн}} \left[(1 - \eta_{\text{мн}}) \left(\frac{N_i}{N_{\text{двс}}} \right)^2 + (2\eta_{\text{мн}} - 1) \frac{N_i}{N_{\text{двс}}} + (1 - \eta_{\text{мн}}) \right], \quad (7)$$

где t_i — время, затраченное на бурение i -го пласта, ч; $N_{\text{двс}}$ — номинальная мощность ДВС, кВт; $g_{\text{вн}}$ — удельный расход топлива при номинальной мощности, кг/кВт·ч; $\eta_{\text{мн}}$ — механический КПД дизеля; N_i — мощность, затрачиваемая при бурении i -го пласта, кВт.

Результаты расчета расхода топлива при бурении скважины станком УКБ-5 с питанием от дизель-генераторов ДЭС-100 и ДЭС-60 приведены в табл. 6.

Расчет экономии топлива был произведен согласно следующей формуле:

$$e = 100 \frac{G_{100} - G_{60}}{G_{100}}, \quad (8)$$

где G_{100} — расход топлива для ДЭС-100, кг, G_{60} — расход топлива для ДЭС-60, кг. Для рассматриваемого случая экономия топлива составила 27 %.

Выводы

На основании выполненных исследований установлено, что использование частотно-регулируемого асин-

хронного электродвигателя дает возможность выбрать дизель-генератор меньшей мощности и значительно сократить расход топлива.

Приведенное сравнение показывает, что применение преобразователя частоты позволяет: 1) выбрать ДЭС по мощности в 1,5–1,7 раза меньше, чем в случае нерегулируемого АД; 2) более полно использовать дизель по мощности и тем самым сократить расход топлива при сооружении скважины на 27 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.В., Гланц А.А., Алексеева Т.В. Энергоснабжение геологоразведочных организаций. — М.: Недра, 1980.
2. Властовский А.М., Ахмет В.Х., Комаров М.А. Сборник сметных норм на геологоразведочные работы. Вып. 5: Разведочное бурение. — М.: ВИЭМС, 1992.
3. Ганджумян Р.А., Калинин А.Г., Сердюк Н.И. Расчеты в бурении: Справ. пособ. — М.: РГГРУ, 2007.

4. Жернаков А.П., Алексеев В.В., Лимитовский А.М. и др. Экономия топливно-энергетических ресурсов при проведении геологоразведочных работ. — Волгоград: Ин-Фолио, 2011.
5. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ. — М.: МАСКА, 2008.
6. Моргачёв Д.А. Исследование взаимодействия системы электро-снабжения и главного электропривода буровой установки при ступенчатом и частотном регулировании угловой скорости асинхронного двигателя // Горный информ.-аналит. бюл. — 2012. — № 12 (спец.вып.).
7. Оливетский И.Н. Повышение эффективности геологоразведочного бурения за счет применения частотно-регулируемого электропривода // Геология и разведка. — 2009. — № 2. — С. 53–56.
8. Чайкин А.С., Наугольнов С.И. Методические рекомендации по нормированию расхода топлива на работу геологоразведочного оборудования. — М.: ВИЭМС, 1989.
9. Шевырёв Ю.В., Моргачёв Д.А. Исследование электромагнитной совместимости дизельной электростанции и главного электропривода буровой установки // Горный журнал. — 2015. — № 1. — С. 62–66.

© Моргачёв Д.А., 2015

Моргачёв Дмитрий Андреевич // morga4ov@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 504.06:553.043+504.4.054

Королева Н.Л., Россман Г.И. (ФГУП «ВИМС»)

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБОСНОВАНИЙ КОНДИЦИЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Выявлены проблемы и намечены пути их преодоления на примерах действующих ГОКов при решении задач, связанных со сбросом промышленных стоков в речные системы, имеющие рыбохозяйственное значение: определение нормативов допустимых сбросов, выбор мест для размещения контрольных створов, защита водоприемных систем от сверхнормативного сброса загрязняющих веществ, прогноз будущих платежей при недостатке информации для расчетов. Настоящая статья будет способствовать правильной организации работ и более точному учету финансовых затрат, связанных со сбросом сточных вод в речные системы на этапе составления ТЭО кондиций месторождений. Ключевые слова: норматив допустимых сбросов, платежи за загрязнение, ТЭО кондиций.

Koroleva N.L., Rossman G.I. (VIMS)

SOME PROBLEMS OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF SURFACE WATER POLLUTION AT THE STAGE OF DRAFTING OF THE FEASIBILITY STUDY OF MINING MINERAL DEPOSITS

Problems and ways of their overcoming related to the discharge of industrial effluents into rivers are identified in the article on examples of existing mining and processing plants, such as assessment of norm permissible discharge, the choice of locations for control sites placement, protecting water bodies from excess discharge of pollutants, the forecast of future payments at the lack of information for assessment. This article facilitates the

proper organization of work and a more accurate accounting of the financial costs associated with the wastewater discharge into the water bodies, at the stage of drafting of the feasibility study deposit. Key words: norm of permissible discharge, payments for pollution, feasibility study.

Освоение месторождений полезных ископаемых сопряжено с воздействием на поверхностные воды. Оно имеет два аспекта: первый — загрязнение природных вод в результате сброса стоков предприятия, второй — ущерб, наносимый водным объектам, биологическим водным ресурсам, объектам народного хозяйства и населению в результате загрязнения природных вод. Сброс загрязняющих веществ (ЗВ) в природные водоемы и водотоки предприятия обязаны оплачивать ежегодно (так называемые «платежи за негативное воздействие на окружающую среду (ОС)»). Ущерб, наносимый в результате сброса ЗВ, устанавливается уполномоченными органами по результатам проверки и далее в судебном порядке происходит разбирательство; виновный в нанесении ущерба оплачивает административный штраф за нарушение водного законодательства, возмещает и устраняет ущерб.

Данная статья посвящена рассмотрению проблем, возникающих при обосновании платы за сброс ЗВ со сточными водами в поверхностные водотоки и водоемы на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) кондиций отработки месторождений, т.е. в допроектные этапы освоения.

Как известно, плата за загрязнение поверхностных вод определяется, исходя из соблюдения либо несоблюдения предприятием нормативов допустимых сбросов (НДС, т/год). Поэтому для прогнозного расчета платежей, прежде всего, требуется обосновать НДС для будущего предприятия. Расчет НДС выполняется в соответствии с «Методикой разработки нормативов до-