УДК
622.271.5

В.И. Александров, С.Л. Сержан

ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ С ГРУНТОЗАБОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ МОРСКОГО ДНА

В настоящее время остро встал вопрос об обеспечении российской металлургической промышленности марганцевым сырьем, поскольку основные источники марганцевой руды отошли к Украине, Грузии и Казахстану. Освоение залежей железомарганцевых конкреций (ЖМК) морских и океанических месторождений позволит устранить импортную зависимость по марганцевому стратегическому сырью. Для эффективной разработки морских месторождений ЖМК, особенно на больших глубинах, необходимы надежные средства механизации гидроподъема горной массы, обладающие достаточной производительностью. Известные в настоящее время устройства для добычи твердых полезных ископаемых из морских месторождений не достаточно эффективны и не отвечают современным требованиям по безопасности, производительности, энергоемкости и экологичности. Приведены результаты по изучению закономерностей влияния гидростатического давления, определяемого глубиной погружения промежуточной капсулы, на энергоемкость процесса добычи с обоснованием параметров грунтозаборного устройства с гидравлическим приводом.

Ключевые слова: гидроподъем, железомарганцевые конкреции, промежуточная капсула, грунтозаборное устройство, гидропривод.

Рассматривается добычной комплекс (рис. 1) включающий придонное оборудование, в состав которого входит грунтозаборное устройство (ГЗУ) и тележка с приводным двигателем, промежуточная капсула (буфер) с поддерживаемым атмосферным давлением, надводное плавсредство (рудосборник) и трубопроводы, состоящие из нижней секции длиной L_1 и верхней секции длиной L_2.

Процесс добычи ЖМК включает в себя подготовку конкреций к транспортировке и двухступенчатый гидроподъем с глубины акватории H_1 до морской поверхности: подъем от дна до капсулы на высоту H_2, осуществляемый за счет сработанного гидростатического напора, определяемого глубиной погружения

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 279–291.
© 2017. В.И. Александров, С.Л. Сержан.

капсулы, и транспортировка из капсулы на рудосборник на высоту H, производимая грунтовыми насосами, установленными в капсуле.

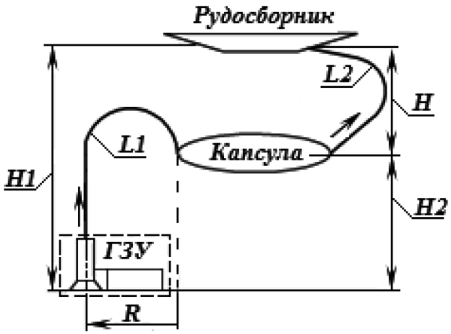

Рис. 1. Схема глубоководного добычного комплекса

При определении эффективного режима эксплуатации системы за основные параметры были выбраны следующие: глубина акватории H_1, радиус обработки поля R, длина трубопровода L_1 и L_2; конструкция трубопровода, связанная с потерями энергии, плотность твердого и морской воды $\rho_{тв}$ и ρ_0, плотность гидросмеси $\rho_{см}$, удельный расход q, пористость конкреций m, объемная концентрация $c_{об}$, скорость потока $v_{см}$, критическая скорость гидросмеси $v_{кр}$.

Необходимым условием при эффективной работы системы является постоянство производительности, достигаемой ГЗУ: $G_{тв} = \text{const}$.

Для устойчивого процесса гидроподъема конкреций от дна до капсулы должно выполняться условие:

$$v_{см} \geq 1{,}1\, v_{кр}, \tag{1}$$

где $v_{см}$ – средняя скорость потока; $v_{кр}$ – критическая скорость потока. Таким образом, необходимым и достаточным условием функционирования системы гидроподъема по трубопроводу нижней секции является превышение скорости потока критического значения, определяемого крупностью частиц конкреций. Скорость потока в нижней части трубопровода определяется как функция относительной глубины погружения капсулы $\overline{H} = H / H_1$, с учетом потерь напора на сопротивления в трубопроводе:

$$v_{см} = \frac{\sqrt{2gH_1}}{\sqrt{L_1}\sqrt{\dfrac{\lambda}{D} + \dfrac{\xi_ш}{l}}}\sqrt{H}\,, \tag{2}$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; $\xi_ш$ – коэффициент местных сопротивлений шарового шарнира; D – внутренний диаметр трубопровода; l – длина звена составного трубопровода положительной плавучести; L_1 – длина нижней секции трубопровода, определяемая как

$$L_1 = \sigma H_1 \sqrt{1 + \left(\frac{R}{H_1}\right)^2}$$

с учетом радиуса окружности обрабатываемого поля R и коэффициента безопасности σ.

Критическая скорость потока определяется по формуле:

$$v_{кр} = 4,9 \frac{\sqrt{gD}}{\sqrt[4]{C}} c_{об}^{0,36} = K_1 c_{об}^{0,36}, \qquad (3)$$

где 4,9 – коэффициент лобового сопротивления конкреций, $c_{об}$ – объемная концентрация гидросмеси;

$K_1 = 4,9 \frac{\sqrt{gD}}{\sqrt[4]{C}}$ – размерный коэффициент.

Объемная концентрация и плотность гидросмеси определяются по формулам:

$$c_{об} = \frac{\rho_{см} - \rho_0}{\rho_{тв} - \rho_0} = \frac{K_2 K_3 \sqrt{H} \rho_0 + \rho_{тв} K_4}{K_2 K_3 \sqrt{H} + K_4}, \qquad (4)$$

$$\rho_{см} = \frac{q\rho_0 + \rho_{тв}(1-m)}{q + (1-m)} = \frac{K_4}{K_2 K_3 \sqrt{H} + K_4}. \qquad (5)$$

где $\rho_{тв}$ – плотность твердой составляющей потока, ρ_0 – плотность воды, q – удельный расход пульпы (отношение объемного расхода жидкой фазы Q_0 к объемному расходу твердой фазы $Q_{тв}$); m – пористость твердых частиц. При этом объемный расход по твердому материалу есть функция производительности ГЗУ, а значит, и морского добычного комплекса

$$Q_{тв} = \frac{G_m}{\rho_{nd}}, \; K_2 = \sqrt{\frac{2g}{\left(\frac{\lambda}{D} + \frac{\xi_ш}{l}\right) \cdot \sigma \sqrt{1 + \left(\frac{R}{H_1}\right)^2}}}, \; K_3 = F \frac{\rho_{тв}}{G_m},$$

$K_4 = 1 - m$ – размерные и безразмерные коэффициенты.

При подстановке коэффициентов $K_1 \ldots K_4$ в формулы (2)–(5) условие (1) с учетом некоторых допущений и преобразований (замене $\sqrt{H} = z$, $a = \frac{K_4}{K_2 K_3}$, $b = \alpha K_1^3 \frac{K_4}{K_2^4 K_3}$) принимает следующий вид:

$$z^4 + az^3 - b = 0. \qquad (6)$$

Решением уравнения (6) будут четыре корня. Единственным неотрицательным действительным будет $z^2 = \overline{H}$:

$$\overline{H} = \left[\frac{a}{4} - \frac{\sqrt{\dfrac{16a^3N + 9a^4 - 256\left(\dfrac{b}{3M} + \dfrac{a^2}{16} - M\right)^2}{16a^2 - \dfrac{128b}{3M} + 128M}}}{2} + \right. \qquad (7)$$

$$\left. + \frac{4a^2 - \dfrac{32b}{3M} + 32M}{32N} \right]^2$$

где обозначено:

$$M = \left(\sqrt{\frac{a^4b^2}{256} + \frac{b^3}{27}} - \frac{a^2b}{16} \right)^{0,33}, \quad N = \sqrt{\frac{a^2}{4} - \frac{2b}{3M} + 3M}.$$

Формула (7) определяет относительную высоту погружения капсулы под водную поверхность, обеспечивающую устойчи-

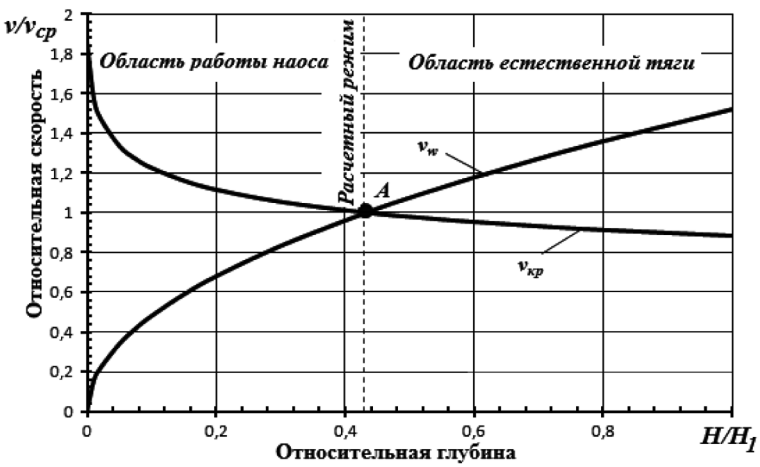

Рис. 2. Области эксплуатации добычного комплекса

вый гидроподъем твердых частиц ЖМК заданной крупности с морского дна. На рис. 2 условие (1) выполняется в точке *А*, где пересекаются кривые скорости потока и критической скорости.

Общая энергоемкость процесса добычи комплексом складывается из энергоемкости процесса гидроподъема ЖМК из капсулы на рудосборник

$$Э_{гп} = \frac{N_н}{\eta_н \eta_э G_т}$$

и зависит от мощности грунтового насоса и энергоемкости процесса отделения конкреций от донной поверхности

$$Э_{отд} = \frac{\Sigma N_{по}}{\eta_{мн}\eta_{тр}\eta_{дм2}\eta_{пр}\eta_{эр}G_т},$$

определяемую через потребную мощность придонного оборудования и ГЗУ в частности $\sum N_{по}$:

$$\Sigma Э = Э + Э_{раз} \qquad (8)$$

где: $G_т$ – производительность комплекса; $\eta_н$, $\eta_э$, $\eta_{мн}$ – КПД насоса, электродвигателя и масляного насоса; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; $\eta_{дм2}$ – КПД приводного двигателя маслостанции (водяного объемного); $\eta_{пр}$ – КПД питающего водяного насоса, расположенного на рудосборнике; $\eta_{эр}$ – КПД электродвигателя, приводящего насос.

Мощность грунтового насоса будет увеличиваться с ростом $\overline{H}$. Мощность придонного оборудования не зависит от величины $\overline{H}$ и определяется суммарной мощностью двигателя $\sum N_{по}$:

$$\Sigma N_{по} = \frac{N_{эф.дм1}}{\eta_{дм1}} + \frac{N_{эф.пд}}{\eta_{пд}},$$

где $N_{эф.дм1}$ – мощность, затрачиваемая на вращение двигателя придонного оборудования, $\eta_{дм1}$ – КПД двигателя маслонасоса; $N_{эф.пд}$ – мощность, расходуемая в придонном двигателе; $\eta_{пд}$ – КПД придонного двигателя.

Подвод рабочей жидкости (воды) к придонному двигателю осуществляется насосом, расположенным на рудосборнике.

Мощность грунтового насоса, установленного в погружной капсуле, определяется следующим уравнением:

$$N_н = \rho_{см}\overline{H}H_1\left[1 + \beta\left(\frac{\lambda}{D} + \frac{\xi}{l}\right)\frac{8}{g\pi^2 D^4}\left(\frac{G_т}{\rho_{тв}}\right)^2\left(K_4 + K_2K_3\sqrt{\overline{H}}\right)^2 + \cdot\right.$$

$$+\frac{0,022}{\left(K_2K_3\sqrt{\overline{H}}\right)^{0,52}}\Bigg]\times\left[\frac{G_m}{\rho_{тв}}\left(K_4+K_2K_3\sqrt{\overline{H}}\right)\right] \qquad (9)$$

Мощность насоса на рудосборнике равна

$$N_{нр}=\rho_0 gH_{нр}Q_{нр}\,, \qquad (10)$$

где $Q_{нр}$ – расход насоса на рудосборнике, $H_{нр}$ – напор, создаваемый насосом на рудосборнике:

$$H_{нр}=Q_{нр}^2\left[\left(\lambda\frac{\beta H_1}{D_p}+\sum\xi_p\right)\frac{8}{g\pi^2D_p^4}+\frac{K^2}{2g\left(2\mu_{о.рас}S\right)^2}\right]+H_{дм2}\,,$$

$D_р$ – диаметр гибкого трубопровода, $\xi_р$ – коэффициент местных сопротивлений по длине трубопровода; β – коэффициент запаса; $H_{дм2}$ – сработанный в гидродвигателе напор на создание движущего момента и преодоление гидромеханических сопротивлений; K – коэффициент сброса (учитывающий влияние сопротивления принимающей среды той же плотности на величину напора, выталкивающего воду).

Вытеснение отработавшей воды из приводного двигателя маслостанции осуществляется непосредственно в воду, что определяет дополнительные потери, характеризуемые коэффициентом K. Для определения значения K были выполнены специальные эксперименты. Величина коэффициента K определялась как отношение коэффициентов расхода при сливе в атмосферу μ_0 и в воду $\mu_в$ при переменном напоре, т.е.

$$K=\frac{\mu_0}{\mu_в} \qquad (11)$$

где

$$\mu_0=\frac{2S}{t_0s\sqrt{2g}}\left(\sqrt{H-\delta}-\sqrt{H_1-\delta}\right),\ \mu_в=\frac{2S}{t_вs\sqrt{2g}}\left(\sqrt{H-\delta}-\sqrt{H_1-\delta}\right)$$

S – площадь бачка, из которого исткала жидкость; s – площадь отверстия во вкладыше струеформируещего устройства; H и H_1 – соответственно начальный и конечный напор; t_0 и $t_в$ – со-ответственно время истечения воды в атмосферу и в воду. Результаты испытаний (рис. 3) показали, что при истечении в воду имеют место дополнительные сопротивления, что оказывает влияние на мощность насоса, питающего придонное обо-

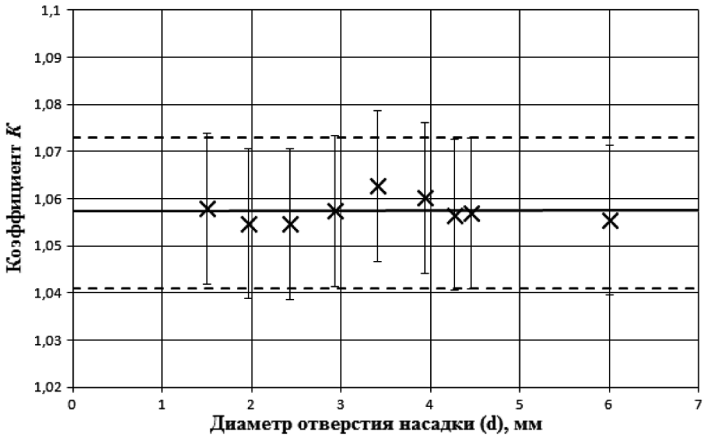

Рис. 3. Результаты испытаний истечения жидкости в воду (затопленное истечение)

рудование. Коэффициент K влияет на энергоемкость процесса приготовления и, следовательно на общую энергоемкость процесса добычи. Величина коэффициента с учетом погрешностей составила:

$$K = 1,06 \pm 0,016 .$$

По формулам (9) и (10) строится график зависимости $N_н\left(\overline{H}\right)$ и $N_{пр}\left(\overline{H}\right)$, а по (8) график энергоемкости процесса добычи, как

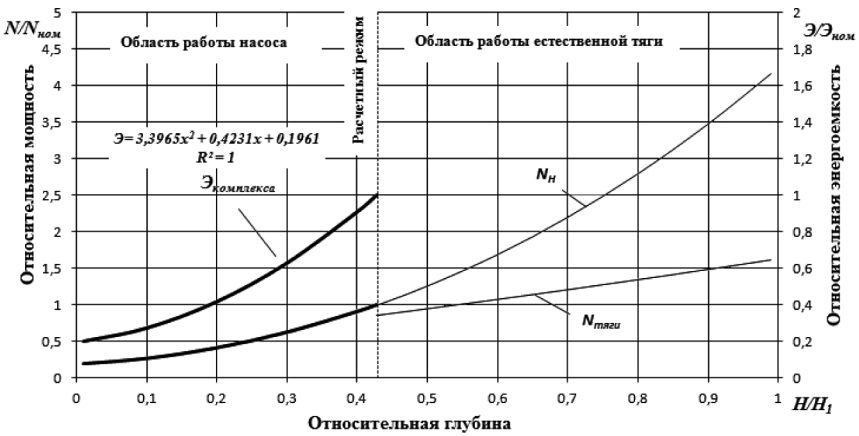

Рис. 4. Зависимость энергоемкости процесса добычи и мощности оборудования от $\overline{H}$

функции относительной глубины погружения $Э\left(\overline{H}\right)$, (рис. 4). Аппроксимация кривой $Э = f\left(\overline{H}\right)$ дает параболическую зависимость с коэффициентом корреляции $R^2 = 1$.

Мощность так же описывается параболической кривой, причем разбивается на два участка: первый – работа грунтового насоса, мощность, которого определяется по (9); работа естественной тяги, зависящая от $\overline{H} = H / H_1$ (отношение глубины погружения капсулы к глубине месторождения ЖМК).

Таким образом, энергоемкость процесса добычи конкреций есть функция относительной глубины, описываемая по параболическому закону, зависящая от коэффициента сброса K. Эффективный режим системы с грунтозаборным устройством, определяется по математической модели, с учетом комплекса варьируемых параметров.

Для обеспечения заданного уровня производительности комплекса применяется грунтозаборного устройства оригинальной конструкции (рис. 5), особенностью которого является вертикальная ось вращения, высокомоментного гидродвигателя ис-

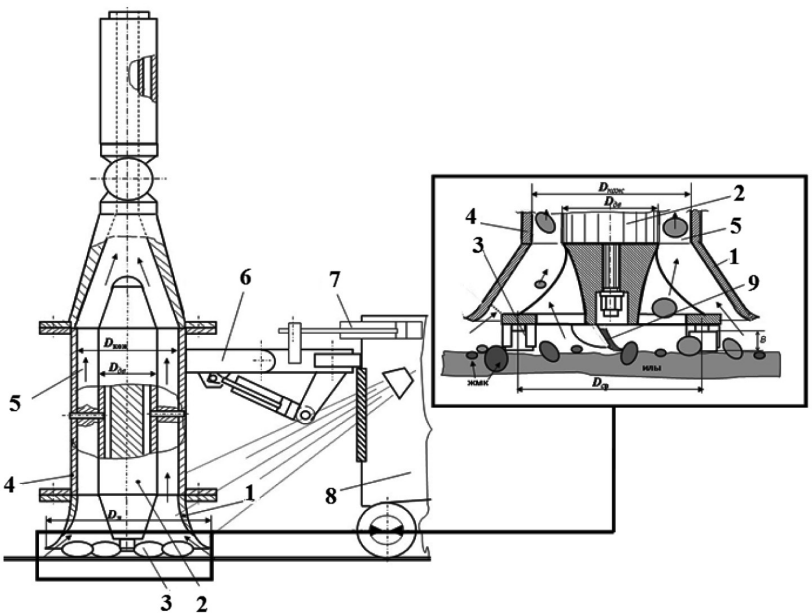

Рис. 5. Грунтозаборное устройство для добычи конкреций: 1 – ловитель, 2 – двигатель рабочего органа, 3 – рабочий орган, 4 – кожух, 5 – кольцевой канал, 6 – стрела, 7 – поворотный гидродвигатель, 8 – тележка, 9 – режущие пластины

полнительного органа, а так же использование ловителя, накрывающего зону разрушения забоя.

При использовании грунтозаборного устройства с горизонтальной осью вращения с ловителем, не обеспечивающим накрытие зоны разрушения, могут возникнуть проблемы с обеспечением заданной производительности. Имеется в виду, что не все отделенные от дна конкреции попадут в трубопроводную систему, т.е. КПД такого грунтозаборного устройства будет значительно ниже единицы, что приводит к потере производительности при добыче ЖМК, Кроме этого, отсутствие ловителя над зоной разрушения приводит к загрязнению акватории.

Конструкция ГЗУ (рис. 5) имеет вертикальную ось вращения приводного двигателя *2*, который концентрично установлен в защитный кожух *5*, переходящий в ловитель *1*, образуя кольцевой транспортирующий канал *5*. Такое решение позволяет увеличить КПД грунтозаборного устройства. Отделенные рабочим органом *3* конкреции в полном объеме попадают в кольцевой канал за счет естественной тяги $H = H_1 - H_2$ (рис. 1), обусловленной наличием погруженной капсулы с атмосферным давлением. Скорость потока воды в зоне отделения конкреций меньше, чем в кольцевом канале, поэтому для поднятия ЖМК со дна должно выполняться следующее условие:

$$P_{вк} + P_{вв} + P_A > G_к + P_{тр}, \qquad (12)$$

где $P_{вк}$ – сила воздействия на конкрецию наклонной плоскости рыхлителя ($P_{вк} = 0,5S\rho_{тв}v_к^2$); $v_к$ – скорость конкреции от воздействия на нее наклонной под углом α плоскости рыхлителя; $P_{вв}$ – подъемная сила от восходящего потока воды ($P_{вв} = 0,5S\rho_0 v_0^2$); S – поперечное сечение конкреции (миделево); v_0 – скорость воды в зоне рыхления ЖМК; $P_А$ – подъемная сила (Архимедова); $G_к$ – сила тяжести конкреции условно шарообразной формы. Разность суммы «подъемных» сил и «сопротивляющихся» подъему, равна

$$\Delta P = S\rho_{тв}\frac{\left(\omega R_{ср} tg\alpha\right)^2}{2} - CS\rho_0\frac{\left(\frac{S_{кк}}{S_{лов}}v_{кк} + \omega R_{ср} tg\alpha\right)^2}{2} +, \qquad (13)$$

$$+S\rho_0\frac{\left(\frac{S_{кк}}{S_{лов}}v_{кк}\right)^2}{2} - \left(\rho_{тв} - \rho_0\right)V$$

где ω – угловая скорость рабочего органа; $R_{ср}$ – радиус планшайбы рабочего органа; $v_{кк}$ – скорость потока в кольцевом канале; $S_{лов}$, $S_{кк}$ – площадь входных сечений, соответственно, ловителя и кольцевого канала; V – объем конкреции.

Управлять процессом подъема конкреций со дна можно, в частности, изменением скорости вращения планшайбы для достижения эффекта попадания конкреций в кольцевой канал и обеспечения максимального КПД грунтозаборного устройства.

Геометрические размеры кольцевого канала (его внутренний и внешний диаметры) должны обеспечивать прохождение конкреций заданной крупности, и удовлетворять условию устойчивого гидроподъема, т.е. скорость в кольцевом канале должна превышать критическую скорость, аналогично условию (1)

$$v_{ф} = \frac{D_{тр}^2}{4k\delta_к\left(D_{крп} + \delta\right)} \geq 1,1v_{кр}, \qquad (14)$$

где $v_{ф}$ – фактическая скорость потока в нижнем трубопроводе; $\delta_к$ – максимальная крупность конкреций; $D_{тр}$ – диаметр трубопровода; $D_{крп}$ – диаметр корпуса гидродвигателя; k – коэффициент стеснения канала крепежными ребрами.

Отделение частиц конкреций от донной поверхности производится рабочим органом (рыхлитель или коническая коронка), вращение которого осуществляется объемным высокомоментным гидродвигателем. Подача исполнительного органа (качания ГЗУ в горизонтальной плоскости) производится неполноповоротным гидродвигателем. Учитывая специфику компоновки ГЗУ, гидродвигатель рабочего органа должен быть достаточно компактным и обеспечивать необходимую мощность резания, которая находится по формуле:

$$N_{эф} = M\omega = Zpb\delta\frac{R_{ст} - R_{рот}}{2}\omega \qquad (15)$$

где M – момент резания на рабочем органе ($M = P_{рез}\frac{D_{ср}}{2}$);

$R_{рез}$ – сила резания; $D_{ср}$ – средний диаметр рабочего органа; ω – угловая скорость; Z – количество рабочих камер в гидродвигателе; p – давление в рабочей камере; b – длина рабочей части ротора; δ – радиальная высота рабочей камеры; $R_{ст}$ – радиус статора; $R_{рот}$ – радиус ротора.

Устойчивый процесс гидроподъема в кольцевом канале осуществляется при определенной площади его сечения, на вели-

чину которой влияет радиус статора, который должен определяться для выполнения условия (14) следующим образом:

$$R_{ст} = 0,5(D_{крп} - 2h), \qquad (16)$$

где h – толщина стенки корпуса, определяемая из прочностных соображений.

Остальные конструктивные параметры двигателя определяются машинным способом с помощью программы EngineC.

Обеспечение заданного уровня производительности достигается применением ГЗУ с вертикальным осью вращения двигателя и образованием кольцевого канала, по которому происходит устойчивый процесс гидроподъема конкреций заданной крупности. Параметры двигателя рассчитываются для соответствия по критерию мощности при отделении ЖМК.

Выводы

1. Энергоемкость процесса добычи железомарганцевых конкреций с шельфа системой с грунтозаборным устройством, имеющей режим эффективной работы, описывается параболической функцией относительной глубины погружения промежуточной капсулы.

2. Эффективный режим работы морского добычного комплекса на шельфе, характеризуемый глубиной погружения промежуточной капсулы, определяемой математической моделью с учетом комплекса варьируемых параметров.

3. Рациональные параметры грунтозаборного устройства, характеризуемые производительностью системы по горной массе и мощностью, обеспечиваются вертикальной и концентричной установкой гидродвигателя исполнительного органа во всасывающем трубопроводе и ловителя, накрывающего зону добычи с образованием кольцевого канала, формирующего направленный поток гидросмеси железомарганцевых конкреций заданной крупности.

4. Механические характеристики гидродвигателя для привода грунтозаборного устройства и местные сопротивления на выходе из приводного двигателя при сливе рабочей жидкости в окружающую среду (морскую воду) зависят от коэффициента сброса в водную среду, величина которого равна 1,06.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сержан С.Л.*, *Александров В.И.* Грунтозаборное устройство. Патент РФ № 2517288. Опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15. 2014. – 10 с.

2. *Сержан С. Л.* Оснащение грунтозаборного устройства рабочим органом с объемным гидродвигателем // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 10. – С. 39–42.

3. *Нурок Г. А.*, *Бруякин Ю. В.*, *Бубис Ю. В.* Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов. – М., 1979. – 381 с.

4. *Ялтанец И. М.*, *Егоров В. К.* Гидромеханизация. Справочный материал. – М.: Изд-во МГГУ, 1999. – 338 с.

5. *Юнгмейстер Д. А.*, *Смирнов Д. В.*, *Соколова Г. В.* Обоснование параметров и компоновок придонных агрегатов для сбора железомарганцевых конкреций // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 8.

6. *Алиев Н. А.*, *Акопов С. Г.*, *Джангиров В. А.*, *Шулико В. П.* Гидроподъем полезных ископаемых со дна морей и океанов посредством корпусно-секционных турбомашин // Теория и практика металлургии. – 2009. – № 5. – С. 111–119.

7. *Грейнер Л.* Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1978. – 384 с.

8. *Герхард Хаукс*. Подводная техника. Пер. с нем. – Л.: Судостроение, 1979. – 288 с.

9. *Кириченко Е. А.*, *Гоман О. Г.*, *Кириченко В. Е.*, *Романюков А. В.* Моделирование динамических процессов в глубоководных пневмогидротранспортных системах. Монография. – Днепропетровск: изд. НГУ, 2012. – 266 с.

10. *Антонов Я. К.*, *Козыряцкий Л. Н.*, *Малашкина В. А.* Гидроподъем полезных ископаемых. – М.: Недра, 1995. – 173 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Александров Виктор Иванович[1] – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой,
e-mail: victalex@mail.ru,
Сержан Сергей Леонидович[1] – кандидат технических наук, ассистент,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 279–291.

UDC 622.271.5

V.I. Aleksandrov, S.L. Serzhan

THE PARAMETERS OF SYSTEM WITH SOIL INTAKE APPARATUS FOR MINING FERROMANGANESE NODULES FROM SEA BED

The current rates of industrial development require an increase in the consumption of mineral resources. At the present time acutely raised the question of ensuring the Russian metallurgical industry manganese raw materials, because, on the one hand, the main sources of manganese ore moved to the Ukraine, Georgia and Kazakhstan, and on the other of consumers manganese are the all steel industry and mechanical engineering. The speedy de-

velopment of deposits of ferromanganese nodules (FMN) of marine and ocean deposits will significantly eliminate the dependence on imported manganese strategic raw materials. For effective development of offshore fields FMN, especially in deep water, need reliable means of mechanization hydraulic hoisting rock mass with sufficient capacity. Presently known devices for mining of solid minerals from offshore fields is not effective enough and do not meet modern requirements for security, performance, energy consumption and environmental friendliness. Insufficiently studied questions remain about the influence of hydrostatic pressure determined by the depth of the capsule on performance and power characteristics of the mining equipment and depending on the type of system performance dredge device and its parameters. This paper presents the results of studies of the effect of the laws of hydrostatic pressure, determines the depth of of immersion of the intermediate buffer on the energy consumption of the mining process with a substantiation parameters of soil intake devices with hydraulic drive.

Key words: hydraulic hoist, ferromanganese nodules, intermediate buffer, soil intake device, hydraulic drive.

AUTHORS

Aleksandrov V.I.[1], Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Chair, e-mail: victalex@mail.ru,
Serzhan S.L.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant,
[1] Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Serzhan S. L., Aleksandrov V. I. *Patent RU 2517288*, 27.05.2014.

2. Serzhan S. L. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2013, no 10, pp. 39–42.

3. Nurok G. A., Bruyakin Yu. V., Bubis Yu. V. *Tekhnologiya dobychi poleznykh iskopaemykh so dna ozer, morey i okeanov* (Technology of mineral mining at the bottom of lakes, seas and oceans), Moscow, 1979, 381 p.

4. Yaltanets I. M., Egorov V. K. *Gidromekhanizatsiya. Spravochnyy material* (Hydromechanization. Reference material), Moscow, Izd-vo MGGU, 1999, 338 p.

5. Yungmeyster D. A., Smirnov D. V., Sokolova G. V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2010, no 8.

6. Aliev N. A., Akopov S. G., Dzhangirov V. A., Shuliko V. P. *Teoriya i praktika metallurgii*. 2009, no 5, pp. 111–119.

7. Greyner L. *Gidrodinamika i energetika podvodnykh apparatov*. Per. s angl. (Hydrodynamics and energy performance of sea bed vehicles. English–Russian translation), Leningrad, Sudostroenie, 1978, 384 p.

8. Gerkhard Khauks. *Podvodnaya tekhnika*. Per. s nem. (Underwater technology. English–German translation), Leningrad, Sudostroenie, 1979, 288 p.

9. Kirichenko E. A., Goman O. G., Kirichenko V. E., Romanyukov A. V. *Modelirovanie dinamicheskikh protsessov v glubokovodnykh pnevmogidrotransportnykh sistemakh*. Monografiya (Modeling dynamic processes in deep-sea hydropneumatic transport systems. Monograph), Dnepropetrovsk, izd. NGU, 2012, 266 p.

10. Antonov Ya. K., Kozyryatskiy L. N., Malashkina V. A. *Gidropod"em poleznykh iskopaemykh* (Hydraulic hoist of minerals), Moscow, Nedra, 1995, 173 p.