

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.23, 629.051

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-3-11

Сержан Сергей Леонидович*, Малеванный Дмитрий Владимирович**, Федоров Евгений Васильевич, Дадаян Лаврентий Маратович

Санкт-Петербургский горный университет

*E-mail: serzhan_sl@pers.spmi.ru

**E-mail: s215051@stud.spmi.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБЫЧНОГО КОМПЛЕКСА С КАПСУЛОЙ В УСЛОВИЯХ ДОБЫЧИ ШЕЛЬФОВЫХ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Информация о статье

Поступила:

02 июня 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 июля 2022 г.

Принята к печати:

04 августа 2022 г.

Ключевые слова:

подводная добыча твердых полезных ископаемых, железомарганцевые конкреции, подводный добычный комплекс, грунтозаборное устройство, промежуточная капсула, гидравлический подъем конкреций.

Аннотация.

В работе рассматриваются принципиальные технологии разработки глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых. В частности, рассматриваются шельфовые месторождения железомарганцевых конкреций. Произведен анализ горно-геологических ресурсов залегающих шельфовых месторождений ЖМК, выделены средние показатели условий среди месторождений шельфов Российской Федерации. Рассмотрены существующие подводные добычные комплексы, их принцип работы, а также рассмотрена классификация добычных и транспортных машин по типу используемой энергии. Обозначена необходимость разделения процесса добычи и транспортирования на две отдельные машины, взаимовязанные во времени и пространстве и образующие комплекс. Предложен и обоснован способ транспортирования железомарганцевых конкреций с помощью погружаемой капсулы, заполненной атмосферным воздухом. Построена математическая модель определения рациональной глубины погружения капсулы. Расчет модели производился для диапазона глубин от 50 до 300 метров, с шагом в 50 метров. Рассчитана мощность добычного комплекса и эффективность использования капсулы на заданном диапазоне глубин. Произведены расчеты энергозатрат комплекса без использования капсулы и с ее применением. Построены графики зависимости энергоемкости процесса от используемого способа подъема. Показан эффект от использования погружаемой капсулы, а также определен тип эффекта в зависимости от глубины погружения.

Для цитирования: Сержан С.Л., Малеванный Д.В., Федоров Е.В., Дадаян Л.М. Перспективы применения добычного комплекса с капсулой в условиях добычи шельфовых железомарганцевых конкреций Российской Федерации // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 4 (162). С. 3-11. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-3-11

Введение

В полной мере вопрос освоения глубоководных залежей серьезно встал в 60-х годах, после первых геологических исследований, благодаря которым

стало известно, что не только на суше есть полезные ископаемые. С того момента множество компаний зацепились за «золотую жилу».

В Мировом океане сосредоточены запасы минеральных и энергетических ресурсов, которые в обозримом будущем будут иметь промышленное значение. Основываясь на геологической разведке месторождений уже сейчас можно сделать вывод о высоком содержании полезного ископаемого по сравнению с континентальными залежами. Наиболее перспективными являются такие уникальные полезные ископаемые, как железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобальтомарганцевые корки (КМК), и глубинные полиметаллические сульфиды (ГПС). Для контроля за ресурсами Мирового океана при ООН был создан международный орган по морскому дну (МОМД). МОМД выдает контракты сроком на пятнадцать лет на разведку и добычу подводных месторождений за пределами территориального моря. На данный момент Российская Федерация имеет три контракта, обязательства по которым необходимо выполнять. Первый принадлежит ГНЦ ФГУП «Южморгеология» от 29 марта 2001 года по ЖМК, который в 2016 году был продлен до 2021 года, а второй и третий принадлежат Минприроды России от 29 октября 2012 по ГПС и от 10 марта 2015 года по КМК. Для выполнения поставленных задач необходимо провести разведочные работы, разработать технические средства добычи и технологию разработки, а также провести экологические исследования. Эффективно были проведены работы по геологической разведке, в то время как научно-исследовательские работы по разработке технических средств добычи ТПИ имеют значительные проблемы. В частности, это связано с низкой производительностью комплексов, что делает такого рода проекты экономически невыгодными.

Помимо глубоководных месторождений существуют также и шельфовые районы залежей ТПИ, добыча которых на данный момент в большей мере реализована. Российская Федерация обладает запасами, в первую очередь ЖМК, западно-арктического и Балтийского морей. Разработка такого рода месторождений является стратегической задачей и является своего рода «тренировкой» перед разработкой исключительной экономической зоны, а также позволит получить более полное представление о проблемах подводной механизации.

На данный момент у компаний, занимающихся разработкой глубоководного комплекса, имеется большой конструкторский и технологический опыт. Однако, несмотря на внушительные успехи научно-исследовательских институтов проектировании технических средств для добычи глубоководных ТПИ, существующие на сегодняшний день проекты не в полной мере удовлетворяют жестким требованиям, предъявляемым к глубоководной добыче. Кроме того, стоит учесть тот факт, что первые попытки создания такой сложной техники осуществлялось в качестве тестирования экспериментального оборудования, поэтому ни о какой высокой производительности не могла идти и речь, что в свою очередь оказалось экономически невыгодным.

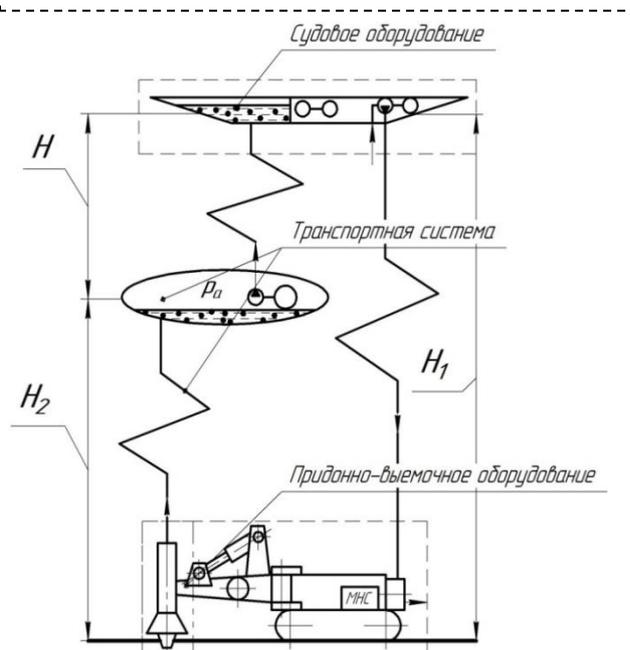


Рис. 1. Схема глубоководного комплекса [8].
Fig. 1. Drawing of the deepwater complex [8].

Поэтому вопрос подводной разработки с каждым днем становится все более актуальным. При создании глубоководного комплекса необходимо критический подход к использованию предыдущего опыта. Это в свою очередь исключит возможность повторения ошибок, которые допускались в предыдущих проектах.

Горно-геологические ресурсы залегания шельфовых месторождений

Железомарганцевые конкреции распространены вдоль всей шельфовой зоны принадлежащей России Арктики [13]. Концентрация конкреций в районах западно-арктического моря представляет наибольший интерес на сегодняшний момент. Это территория Белого, Баренцева, Карского морей. Шельфовые конкреции делят на мелководные (глубина залегания 6-25м) и глубоководные (35-50м и более). Общая сумма запасов шельфовых месторождений, по предварительной оценке службы геологических изысканий, ориентировочно составляют 125 млн. т. в сухой массе [22, 23].

Поднятые с шельфового дна конкреции в общем виде представляют собой сферические образования. Встречаются также лепешковидные и трубчатые формирования. Общая плотность залегания таких месторождений сильно колеблется от 3000 г/м² до 100 г/м² и менее. Железомарганцевые конкреции в основном располагаются на глубинах от 35-55 метров, а максимальная глубина составляет 275 метров. Залегают ЖМК одним слоем в 2-4 см [4].

Поэтому следует рассматривать весь возможный диапазон глубин залеганий конкреций в Арктических морях России и учитывать его колебания. В общем плане средний диаметр конкреций равняется 10 см, но есть единичные случаи распространения ЖМК диаметром до 8 см.

Таким образом, можно выделить следующие ключевые свойства железомарганцевых конкреций Арктических морей России:

- Шельфовые конкреции имеют не постоянный состав полезного компонента. В частности, процентное содержание Fe+Mn изменяется в диапазоне 20-60%, причем с увеличением основного компонента, содержание цветных металлов резко падает.

- Глубина от 5 до 25 метров является самой распространенной для шельфовых ЖМК. Однако на глубоководных участках стоит выделить районы с глубинами от 45-65 м. и от 190-210 м..

- Преобладающая плотность залегания конкреций находится в диапазон от 0,1 кг/м² до 3 кг/м². Однако в некоторых областях достигает и 13 кг/м². Районом с наибольшей плотностью является Финский залив. Там общая плотность составляет 45 кг/м².

Анализ существующих технических средств

Разработка глубоководных ТПИ представляет собой сложную технологическую задачу из-за экстремальных условий океанских глубин: гидростатическое давление; ограниченные условия видимости; агрессивные температурные условия; экологический фактор; подводные течения; переменные характеристики морского дна.

В связи со всем вышеперечисленным необходимо создать оборудование способное работать бесперебойно в условиях близких к экстремальным. Множество вопросов касательно глубоководной добычи до сих пор являются открытыми.

Современные средства механизации, которые используются для добычи не глубоких подводных месторождений, используют надежные машины. Зачастую в их роли выступают различные земснаряды, канатные установки, эрлифт, а также всевозможные комбинации этих средств. Однако, не смотря на богатый выбор разработанных средств механизации морских твердых полезных ископаемых, добыча на больших глубинах не ведется в виду экономической нецелесообразности. Проверенной и надежной технологии для добычи как ЖМК так и ТПИ нет. Но имеющийся опыт в создании, проектировании и конструировании судов, подводной техники и сооружений способствовал разработке технологий и средств механизации глубоководных твердых полезных ископаемых и шельфов [2, 5, 12].

В общем виде разработка глубоководного месторождения включает в себя: процесс отделения от массива породы и процесс подъема полезного ископаемого на поверхность. Оба этих процесса могут выполняться как одной машиной (например скреперная драга) либо быть разделены между несколькими машинами (грунтозаборное устройство на дне и система гидротранспорта). Процесс отделения от массива будет актуален для корок и сульфидов, однако для конкреций это будет процесс сбора с предварительным рыхлением и дальнейшим транспортированием на поверхность [3, 11, 14].

Для анализа существующей техники введем классификацию процессов добычи и транспортиро-

вания по типу используемой энергии. Процесс добычи использует механическую (снаряды, драги) или гидравлическую (гидравлические драги). Причем в некоторых системах присутствуют и механо-гидравлические средства, например землесосные снаряды. Процесс транспортирования также может использовать механическую энергию (скреперно-канатные установки) и гидравлическую (трубопровод). Рассмотрим каждый процесс в отдельности [1, 2].

К средствам механизации подводных горных работ, использующих механическую энергию для отделения и транспортирования ТПИ на водную поверхность, относятся следующие машины и комплексы: многочерпаковые и грейферные драги, экскаваторы драглайны, скреперные драги, различные подводные самоходные аппараты [7, 9].

Но характерным существенным недостатком использования канатно-ковшовых устройств является невозможность полного извлечения полезного компонента, из-за плохого заполнения ковша. Ковш не заполняется полностью, так как он свободно протаскивается по дну, зацепляя лишь конкреции расположенные непосредственно на поверхности. В этой связи возникает низкое качество отработки морского дна.

Поэтому для улучшения степени отработки, а также качества комплекса, функции рыхления ПИ и транспортирования разделяют на две независимые операции, выполняемые разными машинами.

Рассматривая комплекс в целом, можно выявить, что наиболее энергоемким, по сравнению с другими этапами разработки, является процесс транспортирования железомарганцевых конкреций на плавсредство. В виде того что работы производятся не в воздушной среде, наибольшее распространение получил метод гидравлического подъема [8]. Главной отличительной особенностью такого метода является возможность осуществления бесперебойного, постоянного потока смеси жидкости и ПИ. К технике, использующей гидроподъем, относятся землесосные снаряды – машины, всасывающие грунт с водой и осуществляющие его транспорт в виде водогрунтовой смеси – пульпы. По типу транспорта земснаряды делятся на: снаряды с грунтовыми насосами, эрлифтные, эжекторные и комбинированные [11, 13].

Основным недостатком таких систем является низкая эффективность захвата и подъема. Вследствие чего производительность комплекса оказывается недостаточной для промышленной разработки. Поэтому рациональными признаны системы с циклично-поточной технологией добычи.

Комплекс для подводной добычи с промежуточной капсулой

Известны глубоководные комплексы, в состав которых входит промежуточная капсула, погруженная на определенной глубине Н1 (рис. 1) [21, 22, 23]. Отделение ПИ происходит механическим способом, а транспортировка – гидравлическим. Особенность заключается в том, что до капсулы пульпа поднимается за счет разницы давлений, обусловленной глубиной погружения Н1 (рис. 1), а

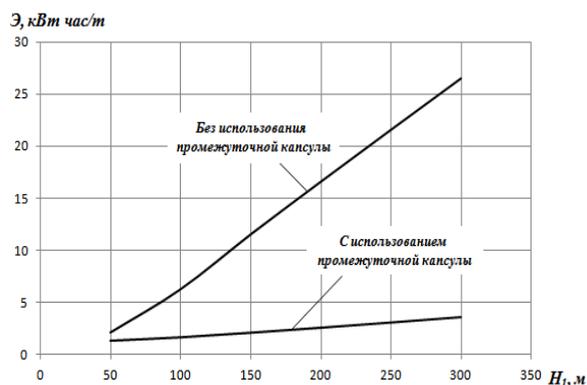


Рис. 2. Зависимость энергоёмкости процесса гидроподъема от глубины акватории
 Fig. 2. Dependence of energy intensity of the hydro-lifting process on the water area depth

далее транспорт на поверхностный рудосборник осуществляется грунтовыми насосами.

Грунтозаборное устройство 3 с подвижно закрепленным на ней рабочим органом и установленное на гусеничную тележку, осуществляет передвижение по зоне месторождения ПИ (в данном случае ЖМК). Исполнительный орган представляет собой вращающийся барабан, на котором закреплены с возможностью съема резцы. Вращаясь при помощи гидротурбинного привода, резцы отделяют частично или полностью заиленные конкреции. Отделенные ПИ поднимаются во взвешенное состояние вместе с илом и попадают в ловитель, установленный в непосредственной близости от рабочей зоны. Захват ловителем производится вместе с водой, тем самым образуя гидросмесь, содержащую ЖМК в определенной концентрации. Получившаяся гидросмесь втягивается в нижний пульповод 4, особенностью которого является его положительная плавучесть, и далее – в капсулу 2. Капсула 2 является полый, что позволяет заполнять весь внутренний объем гидросмесью, которая в свою очередь поднимается на поверхность при помощи грунтового насоса, также расположенного внутри капсулы 2 [8].

Однако, барабанный рабочий орган не может обеспечить полноту извлечения, так как попадание конкреций в ловитель не гарантировано, а отсутствие кожуха говорит о попадании продуктов рыхления в акваторию и, как следствие, загрязнение окружающей среды. Таким образом, возникает необходимость в разработке другого типа рабочего органа.

Математическая модель для определения относительной глубины погружения капсулы

Модель необходима для определения необходимой и достаточной глубины погружения капсулы заполненной атмосферным воздухом, с целью создания условий постоянного и бесперебойного гидравлического подъема гидросмеси с морского дна..

Так как капсула заполнена атмосферным воздухом, то чем больше будет погружена капсула, тем будет больше разность статических давлений и как следствие выше скорость потока в трубе. Но в виду постоянной производительности грунтозаборного

устройства, увеличение скорости только лишь снизит концентрацию полезного компонента, за счет разбавления гидросмеси большим объемом воды.

Если разместить капсулу недостаточно глубоко, то разности напоров будет недостаточно для превышения критической скорости гидросмеси в трубопроводе, что не позволит поднять твердые формирования и постепенно концентрация будет снижаться. Следовательно, производительность комплекса будет стремиться к нулю.

Поэтому необходимо найти такое положение капсулы, относительно максимальной глубины акватории, при которой будет достигнута необходимая и достаточная скорость потока в трубе.

$$\underline{H} = \left[\frac{a}{4} - \sqrt{\frac{16a^3 \cdot N + 9a^4 - 256 \left[\frac{b}{3M} + \frac{a^2}{16} - M \right]^2}{16a^2 \cdot \frac{128b}{3M} + 128M} + \frac{4a^2 \cdot \frac{32b}{3M} + 32M}{32 \cdot N}} \right]^{0.33}$$

$$M = \left(\sqrt{\frac{a^4 b^2}{256} + \frac{b^3}{27} - \frac{a^2 b}{16}} \right)^{0.33}$$

$$N = \sqrt{\frac{a^2}{4} - \frac{2b}{3M} + 2M}$$

Формула 1 – Математическая модель определения относительной глубины погружения капсулы [8].

Таким образом, модель определяет точку эффективности работы комплекса используя параметры глубины акватории, радиуса отработки поля, длины трубопроводов, плотности твердого компонента, морской воды и гидросмеси, пористость и диаметр конкреции, объемная концентрация и скорость пульпы, а также производительности. При необходимости вводные данные можно изменить, в зависимости от конкретных условий залегания. В работе рассматриваются средние показатели шельфовой зоны РФ [13].

Энергоёмкость гидроподъёма конкреций от погруженной капсулы до рудосборника

В общем виде энергоёмкость комплекса можно разделить на сумму энергий, которая затрачивается на процесс разрушения и затрачиваемая на процесс гидроподъема от грунтозаборного устройства до плавсредства.

$$\sum \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{ГП}} + \mathcal{E}_{\text{раз}} \quad (2)$$

где, $\mathcal{E}_{\text{ГП}}$ – энергоёмкость процесса гидроподъема, кВт·ч/кг; $\mathcal{E}_{\text{раз}}$ – энергоёмкость процесса разрушения, кВт·ч/кг.

Энергоёмкость процесса разрушения полезного ископаемого, для приведения его во взвешенное состояние, будет равна:

$$\mathcal{E}_{\text{раз}} = \frac{\sum N_{\text{ЗАТР.РО}}}{G_T} \quad (3)$$

где, $N_{\text{ЗАТР.РО}}$ – мощность рабочего органа, кВт; G_T – производительность ГЗУ, т/час.

На этапе транспортирования гидросмеси, энергия будет тратиться только на преодоление

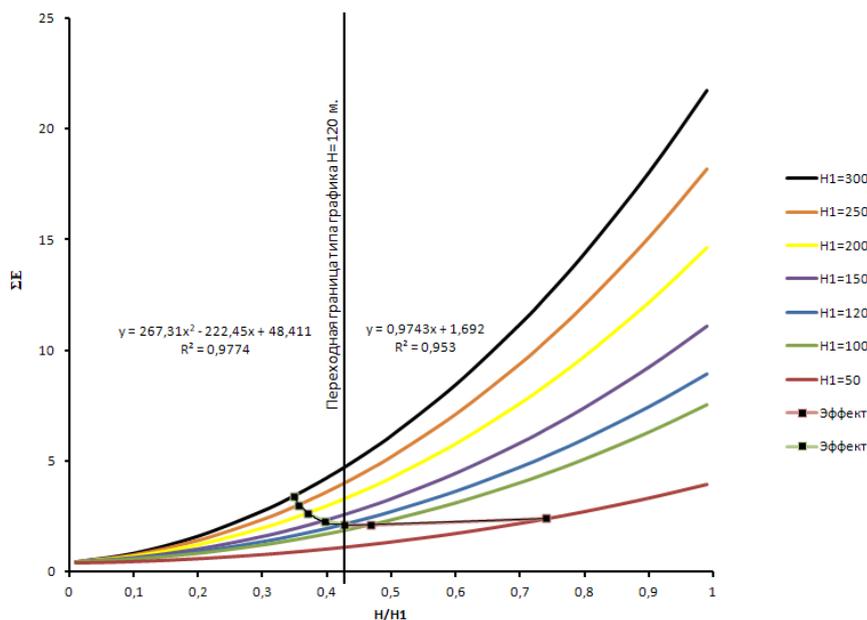


Рис. 2. Зависимость энергоёмкости процесса гидроподъема конкреций в зависимости от положения капсулы для глубин 50...300м

Fig. 2. Dependence of energy intensity of the process of nodule hydro-lifting depending on the position of the capsule for depths of 50...300 m

Таблица 1. Сводные результаты вычислений рациональной глубины погружения промежуточной капсулы.

Table 1. Summary results of calculations of the rational diving depth of the intermediate capsule.

H	50	100	120	150	200	250	300
X	0,74	0,47	0,43	0,40	0,37	0,36	0,35
H ₁	37	47	51	60	74	89	105

пути от капсулы до плавсредства при помощи грунтового насоса, расположенного в капсуле. Поэтому в общем виде энергоёмкость процесса подъема можно выразить следующим способом:

$$\mathcal{E}_{\text{ГП}} = \frac{N_H}{G_T} \quad (4)$$

где, N_H - мощность насоса, кВт.

Определение рациональной глубины погружения капсулы

Для выявления максимально эффективной работы комплекса, нужно учитывать множество основополагающих факторов. Однако, ни один из не будет оказывать такого воздействия на производительность как ордината погружения капсулы. Поэтому, используя формулу 1, определим глубину

погружения для средних условий шельфовой зоны, а также оценим рациональность использования капсулы на других глубинах. Ранее было сказано, что диапазон глубин варьируется в пределах от 6 до 285 метров, остальные параметры, такие как крупность, плотность и другие были рассмотрены в предыдущем разделе. Стоит отметить, что для глубин менее 50 метров применение промежуточной капсулы будет неэффективным, т.е. для небольших глубин необходимы другие средства механизации.

После многократного решения математической модели для разных глубин в диапазоне 50-300 метров, с шагом в 50 метров, были получены следующие результаты по рациональной глубине погружения промежуточной капсулы, представленные в таблице 1.

Далее, был проведен расчет по изменению затрачиваемой мощности добычного комплекса и изменению энергоёмкости процесса гидроподъема в зависимости от изменения величины заглубления капсулы. Результаты представлены в виде графической зависимости на рисунке 1.

Таким образом можно сделать вывод, что использование комплекса с промежуточной капсулой заполненной атмосферным воздухом имеет ряд преимуществ. Самым существенным недостатком является снижение затрат энергии на поднятие гидросмеси в плавсредство, по сравнению с системами использующими грунтовой насос, на протяжении

Таблица 2. Энергоёмкость процесса гидроподъема ЖМК с шельфа

Table 2. Energy intensity of the process of hydro-lifting of iron-manganese nodules from the shelf

Глубина акватории H_1 , м	50	100	150	200	250	300
Мощность насоса при использовании капсулы N_1 , кВт	535	640	780	935	1095	1260
Мощность насоса без использования капсулы N_2 , кВт	815	2145	3835	5455	7055	8635
\mathcal{E}_1	1,67	2	2,4	2,9	3,4	3,9
\mathcal{E}_2	2,5	6,7	12	17	22	27
$\mathcal{E}_2/\mathcal{E}_1$	1,7	4	5,7	6,7	7,2	7,5

всей стадии гидроподъема (таблица 2). Причем чем большая глубина залегания месторождения, тем эффективность выше. (рис. 2)

По рисунку 2 можно сделать вывод о линейности роста энергоемкости на глубинах с 0...120 м. На больших глубинах зависимость принимает полиномиальный, тем самым повышая эффективность применения капсулы в геометрической прогрессии. Однако стоит отметить, что на небольших глубинах (50-75 м) разница в затраченной энергии с учетом применения капсулы и её отсутствия незначительна. Из чего можно сделать вывод о нерентабельности внедрения в систему гидроподъема промежуточного оборудования на малой глубине погружения акватории.

Заключение

Таким образом, освоение ресурсов морского дна имеет большое значение для будущего развития любой страны. Вопрос о создании эффективного оборудования для добычи глубоководных твердых полезных ископаемых является одним из самых важных на 2022 г. с учетом приближения сроков окончания контракта с МОМД. Однако на сегодняшний день нельзя с уверенностью заявить о существовании технологии добычи с высокой производительностью и надежностью.

В работе был рассмотрен один из возможных вариантов повышения производительности добычи ЖМК с морского дна. В качестве источника энергии предлагается использовать гидростатическое давление, определяемое глубиной расположения промежуточной подводной капсулы.

Основываясь на анализе существующего оборудования для добычи глубоководных твердых полезных ископаемых, а также проанализировав возможные решения, которые не были воплощены в реальность, было приведено обоснование схемы подводного добычного комплекса с применением грунтозаборного устройства и промежуточной капсулы с атмосферным давлением.

Схема была проанализирована на предмет эффективного режима работы, характеризующийся глубиной погружения промежуточной капсулы, определяемой математической моделью с учетом варьируемых параметров.

Определены области эффективной работы добычного комплекса при изменении положения промежуточной капсулы в условиях шельфа Российской Федерации. Глубины погружения капсулы варьируется в пределах 37-105 метров при глубинах акватории шельфа 50-300 метров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов, В. С., Фролов, В. В., Никольская, Н. С., & Титов, А. Л. (2012). Опыт добычи и промышленного использования железомарганцевых конкреций. *Горный журнал*, (3), 50-55.
2. Александров В. И. Энергоемкость системы с грунтозаборным устройством для добычи железомарганцевых конкреций с морского дна // *Sciences of Europe*. – 2017. – №. 11-1 (11).

3. Вильмис, А. Л., Буянов, М. И., Калинин, И. С., & Тивоненко, В. А. (2021). Твердые полезные ископаемые дна мирового океана-потенциальные объекты для развития геотехнологических методов. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, (3-1), 147-154.

4. Крутиков А. В. Арктика: шельфовые проекты и устойчивое развитие // *Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения*. – 2020. – №. 1. – С. 4-8.

5. Судариков С. М., Юнгмейстер Д. А., Королев Р. И., & Петров В. А. (2022). О возможности уменьшения техногенной нагрузки на придонные биоценозы при добыче твердых полезных ископаемых с использованием технических средств различной модификации. *Записки Горного института*, 253, 82-96. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.14>

6. Егоров, А. С., Винокуров, И. Ю., & Телегин, А. Н. (2018). Научно-методические приемы повышения геологической и прогнозно-поисковой эффективности государственного геологического картирования российского арктического шельфа. *Записки Горного института*, 233, 447-458.

7. Череповицын, А. Е., Липина, С. А., & Евсева, О. О. (2018). Инновационный подход к освоению минерально-сырьевого потенциала Арктической зоны РФ. *Записки Горного института*, 232, 438-444.

8. Сержан С.Л. Обоснование рациональных параметров системы с грунтозаборным устройством и гидродвигателем для добычи железомарганцевых конкреций. Автореф. дис. канд. тех. наук: 05.05.06. – СПб., 2015. – 20 с.

9. Белов С. В., Скрипниченко В. А. Особенности и тенденции освоения арктических месторождений твердых полезных ископаемых на базе развития морских коммуникаций // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2022. – №. 3-2 (117). – С. 73-82.

10. Рева Ю. В. Технические средства добычи минеральных ресурсов и полезных ископаемых из глубин Мирового океана // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. – 2020. – №. 1. – С. 16-19.

11. Дробаденко, В. П., Малухин, Г. Н., Луколина, О. А., & Салахов, И. Н. (2021). Современное состояние проблем освоения твердых минеральных ресурсов дна морей и океанов. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, (3-1), 99-109.

12. Егоров И.В., Жабин А.Б., Поляков А.В. Определение рациональных параметров гидро-транспорта твердых полезных ископаемых в системе гидроподъема с подводной станции.: *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2019. Вып. 9

13. Черкашев Г. А., Голева Р. В. Международная конференция "Minerals Of The Ocean-7 & Deep-Sea Minerals And Mining-4" // *Разведка и охрана недр*. – 2014. – №. 8. – С. 72-72.

14. Van Dover, C. L., Arnaud-Haond, S., Gianni, M., Helmreich, S., Huber, J. A., Jaeckel, A. L., Metaxas, A., Pendleton, L. H., Petersen, S., Ramirez-Llodra,

E., Tunnicliffe, V., & Yamamoto, H. (2018). Scientific rationale and international obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining. *Marine Policy*, 90, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.020>

15. Кириченко Ю. В., Кюи Н. Ч. Т. Перспективы разработки подводных россыпей Вьетнама // *Горная промышленность*. – 2021. – №. 4. – С. 140-144.

16. Lisa A. Levin, Diva J. Amon, Hannah Lily (2020). Challenges to the sustainability of deep-seabed mining. *Nature Sustainability*, 3 (10), pp. 784 – 794, DOI: 10.1038/s41893-020-0558-x

17. Ермуханов, Р. К. (2019). Проблема освоения шельфовых месторождений России. *Устойчивое развитие науки и образования*, (4), 185-188.

18. Копылов, А. С., Карасёв, Г. А., Кожинов, Х. Х., & Кондратьев, Ю. И. (2020). Разработка золото-содержащих наносов на шельфе Чукотского моря. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, (11-1).

19. Niner, H. J., Ardron, J. A., Escobar, E. G., Gianni, M., Jaekel, A., Jones, D. O. B., Levin, L. A., Smith, C. R., Thiele, T., Turner, P. J., Watling, L., & Gjerde, K. M. (2018). Deep-sea mining with no net loss of biodiversity-an impossible aim. *Frontiers in*

Marine Science, 5(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00053>

20. Yungmeister, D., & Kireev, K. (2016). Development of the construction and characterization of deep complex for collecting imc. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(2), 2086–2091.

21. Ishiguro S., Masuda M., Komatsu M. et al. Development of the Pilot System for Test of Excavating and Ore lifting of Seafloor Polymetallic Sulfides // *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. 2018. Vol.55. No3. P.1-7.

22. Lipton I., Gleeson E., Munro P. Preliminary Economic Assessment of the Solwara Project, Bismark Sea // *Technical report compiled under NI 43-101*. Toronto, Canada: PNG –Nautilus Minerals Niugini, 2018. 242p

23. Masanobu, S., Takano, S., Kanada, S., & Ono, M. (2021). Pressure loss due to hydraulic transport of large solid particles in vertical pipes under pulsating flow conditions. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 143(6). doi.org/10.1115/1.4036385

Atmanand M.A., Ramadass G.A. Concepts of deep-sea mining technologies // *Deep-Sea Mining. Resource potential, technical and environmental considerations*. 2017. P.295-341. DOI:10.1007/978-3-319-52557-0_10

© 2022 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Сержан Сергей Леонидович, доцент кафедры Транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский Горный Университет (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2), кандидат технических наук, доцент, serzhan_sl@pers.spmi.ru

Малеванний Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры Транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский Горный Университет (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2), s215051@stud.spmi.ru

Федоров Евгений Васильевич, студент группы ГМ-19, кафедры Машиностроения, Санкт-Петербургский Горный Университет (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2), evgeniy-fedorov-00@bk.ru

Дадаян Лаврентий Маратович, студент группы ГМ-19, кафедры Машиностроения, Санкт-Петербургский Горный Университет (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2), dalavr2012@ya.ru

Заявленный вклад авторов:

Сержан С.Л. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы.

Малеванний Д.В. – научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; написание текста сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Федоров Е.В., студент – написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы.

Дадаян Л.М., студент – написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-3-11

Sergei L. Serzhan*, **Dmitriy V. Malevanniy****, **Evgeniy V. Fedorov**, **Lawrence M. Dadayan**

St. Petersburg Mining University

*E-mail: serzhan_sl@pers.spmi.ru

** E-mail: s215051@stud.spmi.ru

PROSPECTS OF APPLICATION OF A PRODUCTION COMPLEX WITH A CAPSULE IN THE CONDITIONS OF MINING ON THE RUSSIAN FEDERATION SHELF IRON-MANGANESE NODULES

Abstract.

The paper considers the principal technologies for the development of deep-sea deposits of solid minerals. In particular, we consider the shelf deposits of iron-manganese nodules. The analysis of mining and geological resources of the occurrence of iron-manganese nodule deposits on the shelf is made, the average indicators of the conditions among the deposits of the Russian Federation shelves are highlighted. The existing underwater extraction complexes, their principle of operation are considered, and the classification of extraction and transportation machines by the type of energy used is reviewed. The necessity of dividing the process of extraction and transportation into two separate machines, interconnected in time and space and forming a complex, is outlined. The method of transportation of ferromanganese nodules by means of a submersible capsule filled with atmospheric air has been proposed and justified. A mathematical model for determining the rational depth of capsule immersion has been constructed. The model was calculated for the depth range from 50 to 300 meters, with a step of 50 meters. The capacity of the extraction complex and the efficiency of the capsule utilization at the given depth range were calculated. The energy consumption of the complex without and with the use of the capsule was calculated. The graphs of the dependence of the energy intensity of the process on the used method of lifting are plotted. The effect of using a submersible capsule is shown, and the type of effect depending on the immersion depth is determined.



Article info

Received:

02 June 2021

Accepted for publication:

15 July 2022

Accepted:

04 August 2022

Keywords: underwater mining of solid minerals, ferromanganese nodules, underwater mining complex, soil intake device, intermediate capsule, hydraulic lifting of nodules.

For citation: Serzhan S.L., Malevannyi D.V., Fedorov E.V., Dadayan L.M. Prospects of application of a production complex with a capsule in the conditions of mining on the Russian Federation shelf iron-manganese nodules. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 4(162):3-11 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-3-11

REFERENCES

1. Rogov, V. S., Frolov, V. V., Nikol'skaya, N. S., & Titov, A. L. (2012). Opyt dobychi i promyshlennogo ispol'zovaniya zhelezomargantsevykh konkratsii. Gornyi zhurnal, (3), 50-55.
2. Aleksandrov V. I. Energoemkost' sistemy s gruntozabornym ustroystvom dlya dobychi zhelezomargantsevykh konkratsii s morskogo dna //Sciences of Europe. – 2017. – №. 11-1 (11).
3. Vil'mis, A. L., Buyanov, M. I., Kalinin, I. S., & Tivonenko, V. A. (2021). Tverdye poleznye iskopaemye dna mirovogo okeana-potentsial'nye ob'ekty dlya razvitiya geotekhnologicheskikh metodov. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal), (3-1), 147-154.
4. Krutikov A. V. Arktika: shel'fovye pro-ekty i ustoichivoe razvitie //Arktika 2035: aktu-al'nye vo-prosy, problemy, resheniya. – 2020. – №. 1. – S. 4-8.
5. Sudarikov S. M., Yungmeister D. A., Koro-lev R. I., & Petrov V. A. (2022). O vozmozhnosti umen'sheniya tekhnogennoi nagruzki na pridonnye biotsenozy pri dobyche tverdykh poleznykh iskopaemykh s ispol'zovaniem tekhnicheskikh sredstv razlichnoi modifikatsii. Zapiski Gornogo instituta, 253, 82-96. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.14>
6. Egorov, A. S., Vinokurov, I. Yu., & Telegin, A. N. (2018). Nauchno-metodicheskie priemy povsheniya geologicheskoi i prognozno-poiskovoi effektivnosti gosudarstvennogo geologicheskogo kartirovaniya rossiiskogo arkticheskogo shel'fa. Zapiski Gornogo instituta, 233, 447-458.
7. Cherepovitsyn, A. E., Lipina, S. A., & Evseeva, O. O. (2018). Innovatsionnyi podkhod k osvoeniyu mineral'no-syr'evogo potentsiala Arkti-cheskoi zony RF. Zapiski Gornogo instituta, 232, 438-444.
8. Serzhan S.L. Obosnovanie ratsional'nykh parametrov sistemy s gruntozabornym ustroistvom i gidrodvigatelem dlya dobychi zhelezomargantsevykh konkratsii. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.05.06. – SPb., 2015. – 20 s.
9. Belov S. V., Skripnichenko V. A. Osobennosti i tendentsii osvoeniya arkticheskikh mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh na baze razvitiya morskikh kommunikatsii //Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2022. – №. 3-2 (117). – S. 73-82.
10. Reva Yu. V. Tekhnicheskie sredstva dobychi mineral'nykh resursov i poleznykh iskopaemykh iz glubin Mirovogo okeana //Nauchno-analiticheskii zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universi-teta Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby MChS Rossii». – 2020. – №. 1. – S. 16-19.
11. Drobadoenko, V. P., Malukhin, G. N., Lukonina, O. A., & Salakhov, I. N. (2021). Sovremennoe sostoyanie problem osvoeniya tverdykh mineral'nykh resursov dna morei i okeanov. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal), (3-1), 99-109.

12. Egorov I.V., Zhabin A.B., Polyakov A.V. Opređenje ratsional'nykh parametrov gidro-transporta tverdykh poleznykh iskopaemykh v siste-me gidro-pod"ema s podvodnoi stantsii.: Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2019. Vyp. 9

13. Cherkashev G. A., Goleva R. V. Mezhdunarod-naya konferentsiya " Minerals Of The Ocean-7 & Deep-Sea Minerals And Mining-4" //Razvedka i okhrana neдр. – 2014. – №. 8. – S. 72-72.

14. Van Dover, C. L., Arnaud-Haond, S., Gianni, M., Helmreich, S., Huber, J. A., Jaeckel, A. L., Metaxas, A., Pendleton, L. H., Petersen, S., Ramirez-Llodra, E., Tunnicliffe, V., & Yamamoto, H. (2018). Scientific rationale and international obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining. *Marine Policy*, 90, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.020>

15. Kirichenko Yu. V., Kyui N. Ch. T. Perspektivy razrabotki podvodnykh rossypei V'etnama //Gornaya promyshlennost'. – 2021. – №. 4. – S. 140-144.

16. Lisa A. Levin, Diva J. Amon, Hannah Lily (2020). Challenges to the sustainability of deep-seabed mining. *Nature Sustainability*, 3 (10), pp. 784 – 794, DOI: 10.1038/s41893-020-0558-x

17. Ermukhanov, R. K. (2019). Problema osvoeniya shel'fovyykh mestorozhdenii rossii. *Ustoichi-voe razvitie nauki i obrazovaniya*, (4), 185-188.

18. Kopylov, A. S., Karasev, G. A., Kozhiev, Kh. Kh., & Kondrat'ev, Yu. I. (2020). Razrabotka zolotosoderzhashchikh nanosov na shel'fe Chukotskogo morya. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, (11-1).

19. Niner, H. J., Ardron, J. A., Escobar, E. G., Gianni, M., Jaeckel, A., Jones, D. O. B., Levin, L. A., Smith, C. R., Thiele, T., Turner, P. J., Watling, L., & Gjerde, K. M. (2018). Deep-sea mining with no net loss of biodiversity-an impossible aim. *Frontiers in Marine Science*, 5(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00053>

20. Yungmeister, D., & Kireev, K. (2016). Development of the construction and characterization of deep complex for collecting imc. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(2), 2086–2091.

21. Ishiguro S., Masuda M., Komatsu M. et al. Development of the Pilot System for Test of Excavating and Ore lifting of Seafloor Polymetallic Sulfides // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. 2018. Vol.55. No3. P.1-7.

22. Lipton I., Gleeson E., Munro P. Preliminary Economic Assessment of the Solwara Project, Bismark Sea // Technical report compiled under NI 43-101. Toronto, Canada: PNG –Nautilus Minerals Niugini, 2018. 242p

23. Masanobu, S., Takano, S., Kanada, S., & Ono, M. (2021). Pressure loss due to hydraulic transport of large solid particles in vertical pipes under pulsating flow conditions. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 143(6). doi.org/10.1115/1.4036385

Atmanand M.A., Ramadass G.A. Concepts of deep-sea mining technologies // *Deep-Sea Mining. Resource potential, technical and environmental considerations*. 2017. P.295-341. DOI:10.1007/978-3-319-52557-0_10

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The author declare no conflict of interest.

About the author:

Sergei L. Serzhan, Associate Professor, Department of Transport Technological Processes and Machines, St. Petersburg Mining University (Vasilievsky Island 21, Line 2, building 2. 199106, Saint Petersburg, Russia), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, serzhan_sl@pers.spmi.ru

Dmitriy V. Malevannyi, Postgraduate student, Department of Transport Technological Processes and Machines, St. Petersburg Mining University (Vasilievsky Island 21, Line 2, building 2. 199106, Saint Petersburg, Russia), s215051@stud.spmi.ru

Evgeniy V. Fedorov, Student of group GM-19, Department of Mechanical Engineering, St. Petersburg Mining University (Vasilievsky Island 21, Line 2, building 2. 199106, Saint Petersburg, Russia), evgeniy-fedorov-00@bk.ru

Lawrence M. Dadayan, Student of group GM-19, Department of Mechanical Engineering, St. Petersburg Mining University (Vasilievsky Island 21, Line 2, building 2. 199106, Saint Petersburg, Russia), dalavr2012@ya.ru

Contribution of the authors:

Sergei L. Serzhan – research problem statement; scientific management; conceptualisation of research; writing the text, data collection; drawing the conclusions.

Dmitriy V. Malevannyi – scientific management; reviewing the relevant literature; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions.

Evgeniy V. Fedorov – writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature.

Lawrence M. Dadayan – writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature.

Author have read and approved the final manuscript.

