УДК
622.271.5

И.А. Королев, И.П. Тимофеев

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШАГАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ МОРСКОГО ДНА

Проведено исследование континентальной добычи твердых полезных ископаемых и поиску альтернативных решений по закупке сырья для ведущих отраслей промышленности. Обосновано значение проведения подводных работ по добыче железомарганцевых конкреций в шельфовой зоне. Представлены принципиальные схемы проведения горных добычных работ. Предложена конструкция горнодобывающего комплекса для добычи полезных ископаемых железомарганцевых конкреций Балтийского моря с возможностью их частичного обогащения на морском дне в процессе производства. Рассмотрены средства для перемещения рабочих органов горных машин по морскому дну, технология работы шагающей установки основана на смещении центра масс путем подвижного противовеса, представлена ее конструкция. Зависимость силы тяжести противовеса удовлетворяет условию движения машины. Рассмотрена стабильность процесса шагания машины путем обеспечения правильного выбора массы противовеса.

Ключевые слова: железомарганцевые конкреции, твердые полезные ископаемые, подводная добыча, подводный горнодобывающий комплекс, принципиальная схема добычи, шагающая машина, рабочий орган горной машины, морское дно, смещение центра масс, стабильность процесса.

Постепенное истощение невозобновляемых континентальных месторождений твердых полезных ископаемых, разработанных традиционными открытым и подземным способами, а также текущий объем геологических исследований определить необходимость ведения работ по освоению минеральных ресурсов Мирового океана. Приоритет освоения океана (определение его рудного потенциала) определялся из потребности марганца и кобальта как стратегического сырья для многих отраслей тяжелой промышленности. Было установлено, что мировой океан обладает огромными запасами минерального сырья в виде растворенных в воде химических элементов, а также золотых, алмазных, оловянных и других россыпей и конкреций, находящихся на морском дне.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 6. С. 60–73.
© 2016. И.А. Королев, И.П. Тимофеев.

Все передовые в промышленном отношении страны ведут активные исследования в области развития технологии разработки полезных ископаемых шельфовой зоны и глубоководного дна, в некоторых странах вопросы разведки и добычи полезных ископаемых морского дна рассматриваются в контексте общенациональных программ. Освоение минеральных ресурсов Мирового Океана сегодня является приоритетной долгосрочной задачей и условием для энергетической и экологической безопасности государства. Сущность национальной политики ведущих морских держав и большинства государств мирового сообщества в обозримом будущем составят самостоятельная деятельность и сотрудничество в освоении Мирового океана, а также неизбежное соперничество на этом пути [12].

Согласно Морской доктрине РФ до 2020 г. освоение пространств и ресурсов Мирового океана – одно из главных направлений развития мировой цивилизации в третьем тысячелетии. Решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 1 апреля 2011 г. (протокол № 2) в перечень технологических платформ РФ включена технологическая платформа «Освоение океана» для создания отрасли подводных технологий для обеспечения работы на шельфе, в рамках реализации проекта к 2018 г. в России появится четыре инновационных кластера морских технологий: Дальневосточный, Северный, Балтийский и Азово-Черноморский. Отдельно отмечается безусловная важность реализации результатов исследований и понимание необходимости научно-технической работы на этапе создания технологий и внедрения результатов исследований в практическую деятельность. Стратегическая цель технологической платформы «Освоение океана» создание совокупности «прорывных» технологий, которые сформируют облик перспективной инфраструктуры, обеспечивающей экономически эффективную и комфортную деятельность человека в Мировом океане [11].

Основными направлениями исследований являются изучение геологии морского дна, выявление перспективных районов разработки подводных месторождений, геоморфологических особенностей подводных залежей, а также разработка передовых технологий и техники, а также продолжение работ в области специального судостроения. Как отмечают эксперты, на современном этапе развития наук об океане ключевыми моментами для достижения успеха станут:

• максимально возможная автоматизация подводных работ;

• высокий технологический уровень роботизированных систем;

• создание подводного сетевого информационного пространства.

Практическими результатами реализации проектов являются повышение эффективности функционирования и эксплуатации глубоководных подводных технических решений и формирование рынка высокотехнологичных средств и технологий в различных направлениях освоения океана. Освоение подводных месторождений может осуществляться в более короткие сроки и при значительно меньших удельных капиталовложениях, чем при строительстве объектов горной промышленности на суше.

При современной оценке потенциала твердых полезных ископаемых основной вес принадлежит океаническим железомарганцевым конкрециям (ЖМК). Эти рудные образования являются комплексным сырьем, в котором присутствуют марганец, кобальт, никель и медь, в качестве попутных компонентов – молибден, платина и элементы редкоземельной группы. Практический интерес имеют марганцовистые конкреции, залегающие на поверхности дна морей континентального шельфа Российской Федерации и в первую очередь, Балтийского моря. Технико-экономические расчеты показали высокую рентабельность их разработки. Шельф (материковая или континентальная отмель) определяется как прибрежная часть морского дна до глубины 180–200 м. Уклоны морского дна в пределах шельфа невелики и не превышают 1,5–2°. Геологическое строение шельфа не отличается от строения материка [1]. К настоящему времени разведаны и поставлены на государственный баланс 4 месторождения ЖМК, являющиеся частями единого Восточно-Финского рудного района: Кургальское (1), Копорское (2), Вихревое (3) и Рондо (4) (рис. 1). Государственная комиссия по

Рис. 1. Схема расположения Восточно-Финского рудного района

запасам Российской Федерации признала факт открытия марганцевых месторождений нового промышленного типа. Суммарные запасы влажных ЖМК по этим месторождениям составляют 4,5 млн т [4].

Вышеизложенные сведения о доказанной промышленной значимости месторождений в Финском заливе позволяют считать ЖМК новым видом марганцевого сырья, возможным резервом для промышленности.

Подводные добычные комплексы (ПДК) создаются для разработки глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ) (прежде всего железомарганцевых конкреций) с помощью комплекса механизмов и оборудования. При этом ПДК должны обеспечить не только добычу (сбор, подъем и первичную обработку) конкреций с глубины, но и их транспортировку от места добычи к береговым металлургическим комбинатам и выгрузку на суше вблизи этих предприятий.

Технология добычи ЖМК определяется тем, что конкреции свободно залегают на поверхности дна, и нет необходимости проведения работ или предварительного дробления (разрушения) горной массы. Поэтому все варианты разрабатываемых добывающих устройств рассчитаны на захват конкреций с поверхности дна и их последующее транспортирование на поверхность. Подводная разработка месторождений ЖМК осложняется тем, что не имеет аналогов с характерными для них условиями залегания [2, 3, 6, 7, 8, 13, 15].

При изучении современных научных основ в разработке оборудования для добычи твердых полезных ископаемых морского дна выделяют тенденцию применения установок шагающего типа в процессе механизации процесса добычи. Эти устройства с колесными движителями и машин на гусеничном и шнековом ходу позволяют вести добычу на шельфе на глубине до 60 м. Испытания показали, что при работе наблюдается сильное замутнение воды, сопровождавшееся ухудшением видимости и сложностью процесса управления [5, 14].

При ведении подводных работ шагающие машины получили распространение в условиях использования полупогружных платформ. Повышенная их устойчивость в сложных погодных условиях позволяет разрабатывать более твердые породы на больших глубинах. Оборудованные рабочими органами различных типов, шагающие машины обладают высокой избирательностью, позволяя проводить добычные работы в широком технологическом диапазоне, а также обеспечивать детальное изучение

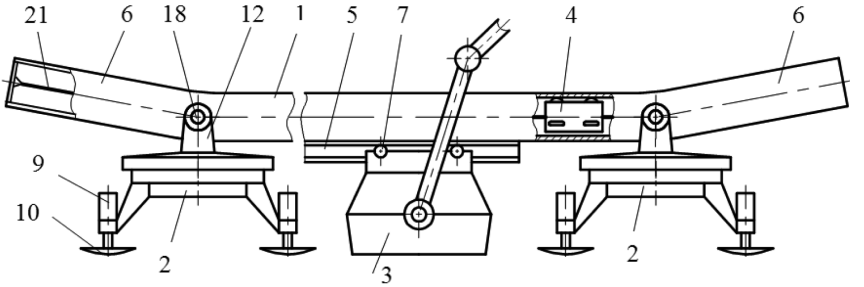

Рис. 2. Комплекс по добыче твердых полезных ископаемых морского дна

рельефа дна (высоты неровностей, углов залегания поверхности) при проведении инженерно-геологических изысканий, зондировании для определения несущей способности донных грунтов на поверхности и глубине и отборе проб для выявления содержания полезного продукта.

Для технологической шагающей машины скорость перемещения не является главной, поскольку время нахождения механизма на одном месте в рабочем цикле будет достаточно длительным по сравнению со временем, затрачиваемым на шагание. Основной задачей является поиск, исследование и добыча полезных ископаемых по заданной системе разработки.

Коллективом Национального минерально-сырьевого университета «Горный» предложена конструкция технологической шагающей машины, принцип действия которой основан на смещении центра масс установки подвижным противовесом (рис. 2). Процесс движения машины подчинен условиям эксплуатации и технологии ведения работ на морском дне. Шагающая машина может перемещаться при разработке месторождений, расположенных в прибрежной зоне, а также под водой [9, 10].

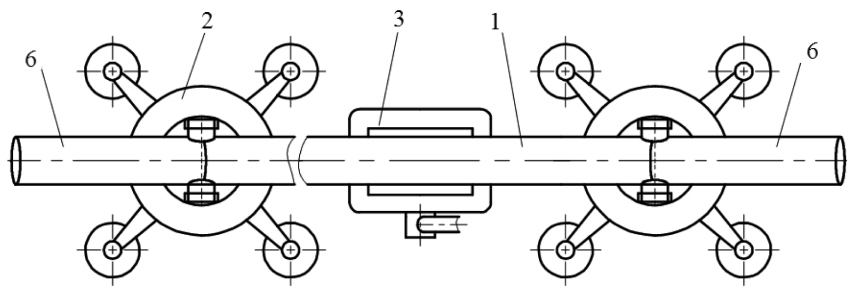

Рис. 3. Схема комплекса и оборудование для ведения добычных работ (вид сверху)

Шагающее устройство для подводной добычи полезных ископаемых включает несущую ферму *1* (рис. 2, 3), установленную на двух опорах *2*, рабочий орган *3* и противовес *4*, размещенный внутри фермы.

Ферма *1* выполнена в виде трубы, снабженной в нижней части рельсом *5*. Ферма имеет прямолинейный участок, а концы фермы изогнуты вверх, образуя симметричные консоли *6*. Рабочий орган *3* выполнен с роликами *7* и может перемещаться вдоль фермы *1* по рельсу *5*.

Каждая из опор *2* (левая и правая) состоит из опорного стола *8* (рис. 3), снабженного телескопическими штангами *9* с опорными башмаками *10* и платформы *11*, выполненной с вилкой *12* и осью *13*. Поворотная платформа *11* опирается на опорный стол *8* посредством роликов *14* с возможностью поворота относительно оси *13*.

На опорном столе *8* размещен привод *15* поворота платформы *11*, включающий открытую зубчатую передачу *16*, *17* зубчатое колесо которой *17* жестко связано с осью *13* вилки *12*. Несущая ферма *1* снабжена с цапфами *18*, с помощью которых шарнирно закреплена на вилках *12* платформы *11* (рис. 3).

Противовес *4* (рис. 4) выполнен с опорными роликами *19* и барабаном *20*, встроенным в противовес. Барабан охватывается на один полный оборот гибким элементом (тросом) *21*, образующим виток трения. Трос жестко закреплен на левом и правом концах фермы *1*.

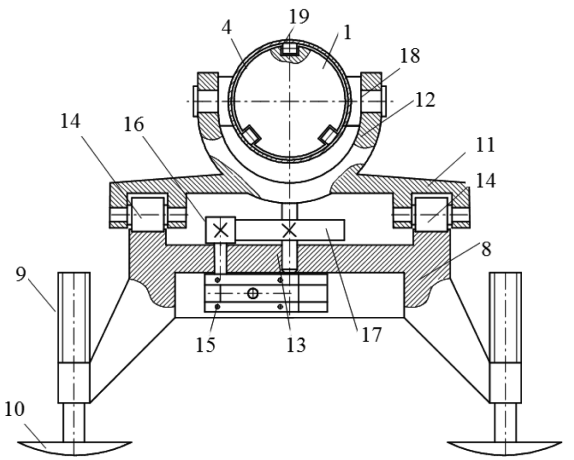

Рис. 4. Шагающая машина для добычи твердых полезных ископаемых морского дна (вид сбоку)

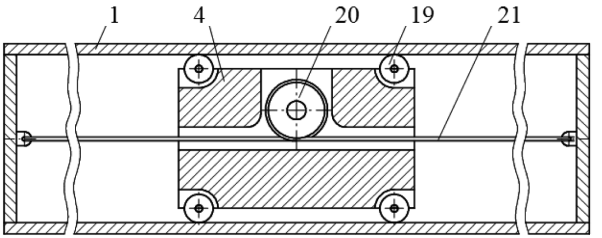

Рис. 5. Механизм привода шагающей машины

Работа шагающего устройства осуществляется следующим образом. Устройство устанавливается на морском дне. Рабочий орган *3* осуществляет добычу полезного ископаемого, перемещаясь по рельсу *5* вдоль несущей фермы *1*. При вращении барабана *20* противовеса *4*, благодаря витку трения между барабаном и тросом *21*, происходит перемещение противовеса *4* на одну из консолей *6* фермы *1*, например правую. В момент достижения противовесом *4* конца консоли левая опора *2* отрывается от морского дна, происходит поворот фермы *1* в вертикальной плоскости относительно оси шарнира *18* на угол φ. В указанном положении включают привод *15* поворота платформы *11* правой опоры *2* и с помощью зубчатой пары *16*, *17* осуществляют поворот фермы *1* на угол β в горизонтальной плоскости.

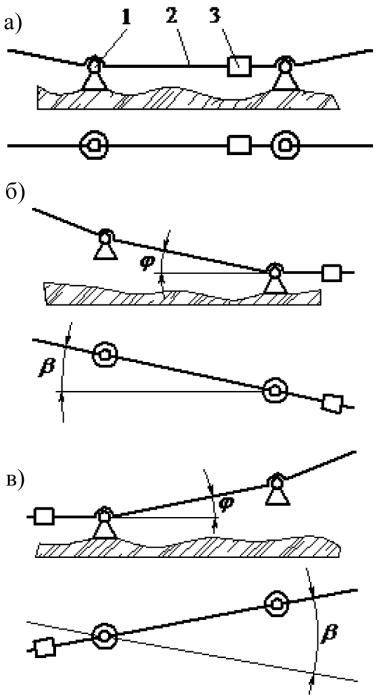

Рис. 6. Схемы перемещения шагающей машины: 1 – рама машины; 2 – опорные столы; 3 – рабочий орган; φ – угол подъема рамы в вертикальной плоскости; β – угол поворота рамы в горизонтальной плоскости

Далее реверсируют привод барабана *20* и противовес *4* начинает движение в сторону левой консоли *6*. Как только противовес *4* смещается от конца правой консоли *6*, нарушается условие равновесия системы и поднятая левая опора *2* опускается и устанавливается в новое положение

на морском дне. Рабочий орган осуществляет добычу полезного ископаемого, перемещаясь вдоль фермы *1* по рельсу *5*. По окончании отработки очередной заходки цикл шагания повторяется перемещением противовеса *4* на левую консоль *6*.

На рис. 6 представлены схемы перемещения шагающей машины по морскому дну. Процесс включает следующие стадии: установку машины на морском дне (рис. 6, *а*), поворот рамы машины в горизонтальной плоскости при выходе противовеса на правую (рис. 6, *б*) и левую консоли (рис. 6, *в*).

Угол подъема рамы машины определяется расстоянием между опорными столами и длиной консолей, наличием на дне неровностей и преград. Угол может изменяться от нуля до 360 при вращении рамы в любом направлении.

Технологические схемы ведения добычных работ на морском дне представлены на рис. 7.

Отработка параллельными перемещениями состоит в том, что шагающая машина после отработки участка устанавливается параллельно первоначальному положению в результате двойного цикла шагания поворотом на угол зашагивания вначале одной опоры, а затем другой.

При угловых перемещениях разрабатываются участки длиной *L* и шириной *B*, повернутые относительно друг друга на угол зашагивания. После отработки полосы угловыми заходами производится веерный разворот и таким же образом отрабатывается соседняя полоса. Разработка полигона может вестись отдельными блоками (рациональных размеров) с одного места стоянки плавсредства обеспечения.

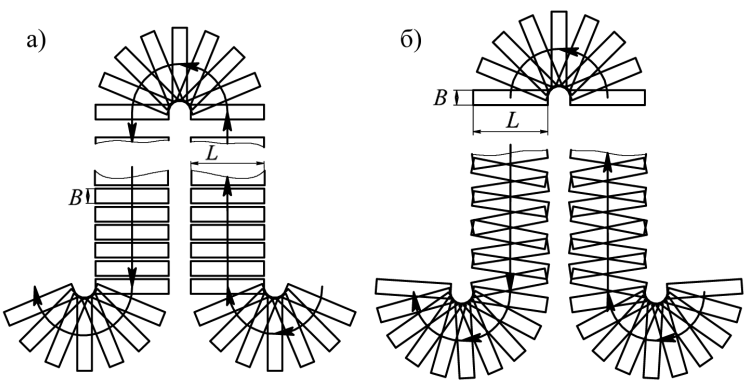

Рис. 7. Технологические схемы ведения добычных работ параллельными (а) и угловыми перемещениями (б)

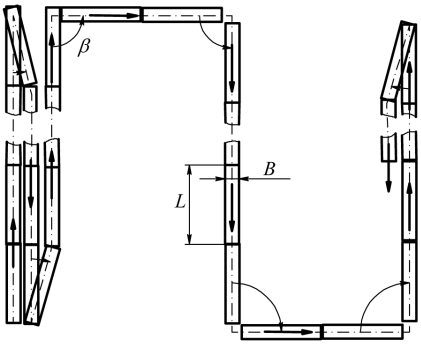

Рис. 8. Схема движения машины продольными перемещениями

Использование установок шагающего типа в первую очередь определяется неоднородным рельефом на участке добычи. Опоры шагающей машины в процессе перемещения, например, по бездорожью не преодолевают сил трения, вследствие чего затраты мощности на перемещение значительно уменьшаются. При перемещении по слабым грунтам тяговая характеристика шагающей машины практически не меняется по причине того, что не изменяется характер взаимодействия с почвой при ее продавливании. Траектория опор шагающей машины получается дискретной, что ведет к уменьшению затрат энергии по сравнению с установками колесного и гусеничного типов при снижении сопротивлению движения.

Уравновешивание всей системы в процессе шагания относительно точек поворота осуществляется моментом сил вращения *M*. Если сила давления на дно одной из опор (правой или левой) равна нулю, то уравнение равновесия будет иметь вид:

$$M = G_p L/2 + \sum GL, \qquad (1)$$

при этом сила тяжести несущей рамы будет определяться по следующему выражению:

$$G_p = q\left(L + 2l_k\right), \qquad (2)$$

где $\sum G$ – суммарная сила тяжести узлов машины, приведенная к длине рабочего участка L между опорами, Н; q – погонный вес несущей рамы, Н/м; L – расстояние между опорами, м; l_k – длина консолей рамы, м.

Производительность шагающей машины (м^3/ч) определяется из выражения, которое справедливо для любой конструкции шагающей машины при любых рабочих перемещениях:

$$Q = \frac{3600\, l\, h\, B}{t_ц}, \tag{3}$$

где $t_ц$ – время полного цикла, с;

$$t_ц = t_р + t_ш, \tag{4}$$

где $t_р$ – время разработки одного перемещения, с;

$$t_р = L/v, \tag{5}$$

где – длина горизонтального участка рамы, м; v – скорость движения рабочего органа, м/с; $t_ш$ – время шагания на следующее перемещение, с; h – толщина снимаемого слоя донных отложений за один проход рабочего органа, м; B – ширина перемещения, м.

Шагающая добычная машина с подвижным противовесом находит применение при разработке прибрежных месторождений, где применение плавсредства невозможно. При больших гидростатических давлениях изменение положения центра масс машины производить противовесом рациональнее – такой способ наиболее прост (использование сжатого воздуха неэкономично). С другой стороны, шагающие машины с противовесом будут иметь большую общую массу по сравнению с другими конструкциями из-за наличия консолей несущей рамы и самого противовеса.

Для нахождения зависимости силы тяжести противовеса, удовлетворяющей условию шагания машины, составляется уравнение равновесия:

$$M_{пр} = G_{пр}\left(l_к + l\right) + \frac{\left(l_к + l\right)^2}{2} q = \frac{\left(L + l_к - l\right)^2}{2} q + G_{оп}\left(L - 2l\right), \tag{6}$$

где $G_{пр}$ – сила тяжести массы противовеса, Н; $G_{оп}$ – сила тяжести опоры, Н; l – длина участка сближения опор, м.

После преобразований выражение приобретает вид:

$$G_{пр} = \frac{\left(L + 2l_к\right)\left(L - 2l\right)}{2\left(l_к + l\right)} q + G_{оп} \frac{L - 2l}{l_к + l}. \tag{7}$$

Представим уравнение (7) в следующем виде:

$$G_{пр} = \alpha_{пр} q + G_{оп} \beta_{пр}. \tag{8}$$

Выразим $\alpha_{пр}$ и $\beta_{пр}$ в безразмерных единицах, обозначив через

$$\gamma_{пр} = \alpha_{пр}/L,\ \alpha_k = l_k/L,\ \beta_l = l/L.$$

Выражение (8) примет следующий вид:

$$G_{пр} = \gamma_{пр} L q + G_{оп} \beta_{пр} . \quad (9)$$

Разделив последнее выражение на L, получим выражение:

$$g_{пр} = \gamma_{пр} q + g_{оп} b_{пр} , \quad (10)$$

где

$$\gamma_{пр} = \frac{\left(1 + 2\alpha_{пр}\right)\left(1 - 2\beta_{l}\right)}{2\left(\alpha_{k} + \beta_{l}\right)} ; \; b_{пр} = \frac{1 - 2\beta_{l}}{\alpha_{k} + \beta_{l}} ;$$

$g_{пр}$ и $g_{оп}$ – удельные величины силы тяжести противовеса и опоры, приходящиеся на единицу длины рабочего участка несущей рамы машины; $\alpha_{к}$ – коэффициент консоли, характеризующей ее длину относительно длины рабочего участка рамы.

Коэффициент β_{l} характеризует участок сближения опор (коэффициент сближения) на длине рабочего участка рамы. Если сближение производиться не будет, то опоры закрепляются на концах рабочего участка рамы.

Анализ выражения (10) показывает, что для однотипных машин удельная сила тяжести противовеса $g_{пр}$ будет зависеть от углового коэффициента $\gamma_{пр}$ и $\beta_{пр}$. Ориентируясь на минимальный типоразмер шагающих машин, значения $q = 0{,}1$ и $g_{оп} = 0{,}01$. Удельная масса противовеса выбирается в зависимости от отношения длины консоли к длине рабочего участка несущей рамы. Рационально иметь коэффициент консоли близким к единице (при этом возрастает общая масса из-за длинных консолей при малой массе противовеса). Оптимальное значение коэффициента консоли следует выбирать из условия минимальной массы машины (сумма масс машины и противовеса минимальна).

Анализ силовых зависимостей показывает, что, для снижения момента уравновешивающих сил необходимо стремиться к уменьшению суммарной силы тяжести несущей рамы и узлов машины. Кроме того, на величину момента можно влиять сближением опорных столов относительно центра масс шагающей машины.

Основные теоретические положения статики шагающей машины были получены при рассмотрении равновесного состояния несущей рамы, для чего были установлены зависимости геометрических и силовых параметров в процессе шагания. Оценка влияния длины консолей и смещения опор для машин с подвижной массой противовеса выполнена в безразмерном виде, что позволяет устанавливать общие зависимости для лю-

бой длины несущей рамы и оптимизировать общую массу шагающей машины.

Стабильность процесса шагания машины обеспечивается правильным выбором массы противовеса, зависящей от погонного веса материала несущей рамы и соотношения длин рамы и консолей.

По результатам теоретических исследований функционирования комплекса по добыче твердых полезных ископаемых морского дна были получены основные параметры алгоритмизации для дальнейшего математического моделирования и анализа параметров добычного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быховский Л. З.*, *Терентьев В. Б.*, *Тигунов Л. П.* Железомарганцевые образования Мирового океана и морского шельфа – минеральное сырье многоцелевого назначения // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. – 2010. – № 31. – 108 с.

2. *Тимофеев И. П.*, *Вдовиченко В. И.* Авторское свидетельство № 471452 (РФ) Добычное шагающее устройство для подводной разработки полезных ископаемых. Ленинградский горный институт; – Заявл. 19.11.1973 № 1971091/ 22 – 3. Опубл. в Б.И., 1975, № 19; МКИ Е 21 С 45/00 УДК 622.271.6.002.54 (088.8).

3. *Добрецов В. Б.*, *Рогалев В. А.*, *Опрышко Д. С.* Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология. – СПб.: МАНЭБ, 2007. – 796 с.

4. *Дробаденко В. П.*, *Калинин И. С.*, *Малухин Н. Г.* Методика и техника морских геологоразведочных и горных работ. – Новосибирск: ИнФолио, 2010. – 352 с.

5. *Брискин Е. С.*, *Жога В. В.*, *Чернышев В. В.*, *Малолетов А. В.* Основы расчета и проектирования шагающих машин с цикловыми движителями: монография. – М.: Машиностроение, 2006. – 164 с.

6. *Королев И. А.*, *Тимофеев И. П.* Исследование комплекса добычи железомарганцевых конкреций при движении его гибким тяговым элементом // Записки горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 244–247.

7. *Колтон Г. А.*, *Королев И. А.* Математическое моделирование движения донного добычного устройства при транспортировании гибким тяговым элементом // Записки горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 55–58.

8. *Королев И. А.*, *Тимофеев И. П.* Анализ взаимодействия гибкого тягового элемента с донным добычным устройством в процессе добычи железомарганцевых конкреций шельфовой зоны / Автоматизированное проектирование в машиностроении: материалы II международной заочной научно-практической конференции. – Новокузнецк, 2014. – С. 208–211.

9. *Королев И. А.*, *Кузькин А. Ю.*, *Соколова Г. В.*, *Тимофеев И. П.* Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. Т. II. – СПб: НМСУ «Горный», 2015. – С. 23–26.

10. *Korolyov I.A.*, *Timofeev I.P.* Modern trends of equipment's development for production of solid seabed minerals / Reports of the XXIII International Scientific Symposium «Miner's Week – 2015», Moscow, 2015, pp. 529–539.
11. *Морская* доктрина Российской Федерации на период до 2020 года [Текст] : Утв. Президентом РФ от 21.07.2001 Пр-1387 // Банк документов МО РФ.
12. *Неизвестнов Я. В.*, *Кондратенко А. В.*, *Козлов С. А. и др.* Инженерная геология рудной провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане / Труды ВНИИОкеанологии М-ва природных ресурсов РФ в РАН; Т. 197. – СПб.: Наука, 2004. – 281 с.
13. *Тарасов Ю. Д.*, *Тимофеев И. П.*, *Большунов А. В.*, *Морус В. Н.*, *Королев И. А.* Патент 2466275 Российская Федерация. Комплекс для добычи и обогащения твердых полезных ископаемых. Опубл. 2012. Бюл. № 31.
14. *Павловский В. Е.* О разработках шагающих машин // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 101, 32 р. URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013–101.
15. *Ветюков М. М.*, *Платовских М. Ю.*, *Тимофеев И. П.* Фрикционные автоколебания в системе с переменной массой // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 4. – С. 18–22. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Королев Игорь Алексеевич[1] – кандидат технических наук, ассистент, e-mail: korolyov_ia@spmi.ru, korolyov_ia@inbox.ru,
Тимофеев Игорь Парфенович[1] – доктор технических наук, профессор, e-mail: partim@mail.ru,
[1] Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 6, pp. 60–73.

UDC 622.271.5

I.A. Korolev, I.P. Timofeev

PARAMETER'S OPTIMIZATION OF WALKING MACHINE FOR DEVELOPMENT OF SEABED RESOURCES

This paper is on work carried out as part of the research on the continental mining of solid minerals and searching alternative solutions of raw material's procurement for leading industries. The value of conducting underwater operations for the extraction of shelf zone's ferromanganese nodules is described. Schematic diagram of conducting mining operations is provided. The construction of a mining complex for mining ferromanganese nodules of the Baltic Sea with the possibility of its separation and partial enrichment on the seabed during the process of production is proposed. The article deals with the means for moving the mining workers of seabed, the technological walking machine working by the displacement of the center of mass by way of a movable counterweight, and its construction are given. The dependence of the gravity of the counterweight satisfies the condition of the machine's movement. The issues of the stability of the machine's movement and conditions of use extraction technology are shown.

Key words: ferromanganese nodules, solid minerals, subsea extraction, subsea production complex, diagrams of mining operations, walking machine, mining working body, seabed, the displacement of the center of mass, stability of the process.

AUTHORS

Korolyov I.A.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant,
e-mail: korolyov_ia@spmi.ru, korolyov_ia@inbox.ru,
Timofeev I.P.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: partim@mail.ru,
[1] National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Bykhovskiy L. Z., Terent'ev V. B., Tigunov L. P. *Mineral'noe syr'e. Seriya geologo-ekonomicheskaya*. 2010, no 31, 108 p.

2. Timofeev I. P., Vdovichenko V. I. *Copyright certificate RU 471452*, 19.11.1973.

3. Dobretsov V. B., Rogalev V. A., Opryshko D. S. *Mirovoy okean i kontinental'nye vodoemy: mineral'nye resursy, osvoenie, ekologiya* (Oceans and inland bodies of water: mineral resources, development, ecology), Saint-Petersburg, MANEB, 2007, 796 p.

4. Drobadenko V. P., Kalinin I. S., Malukhin N. G. *Metodika i tekhnika morskikh geologorazvedochnykh i gornykh rabot* (Methods and techniques of marine exploration and mining operations), Novosibirsk, InFolio, 2010, 352 p.

5. Briskin E. S., Zhoga V. V., Chernyshev V. V., Maloletov A. V. *Osnovy rascheta i proektirovaniya shagayushchikh mashin s tsiklovymi dvizhitelyami*: monografiya (Fundamentals of calculation and design of walking machines with cycle movers: monograph), Moscow, Mashinostroenie, 2006, 164 p.

6. Korolev I. A., Timofeev I. P. *Zapiski gornogo instituta*. 2012, vol. 196, pp. 244–247.

7. Kolton G. A., Korolev I. A. *Zapiski gornogo instituta*. 2014, vol. 209, pp. 55–58.

8. Korolev I. A., Timofeev I. P. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii: materialy II mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Computer-aided design in mechanical engineering: Materials of the II International correspondence scientific-practical conference), Novokuznetsk, 2014, pp. 208–211.

9. Korolev I. A., Kuz'kin A. Yu., Sokolova G. V., Timofeev I. P. *Innovatsii na transporte i v mashinostroenii: sbornik trudov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. T. II (III International scientific-practical conference «Innovations in transport and mechanical engineering», vol. II), Saint-Petersburg, NMSU «Gornyy», 2015, pp. 23–26.

10. Korolyov I. A., Timofeev I. P. Modern trends of equipment's development for production of solid seabed minerals. *Reports of the XXIII International Scientific Symposium «Miner's Week 2015»*, Moscow, 2015, pp. 529–539.

11. *Morskaya doktrina Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda*: Utv. Prezidentom RF ot 21.07.2001 Pr-1387. Bank dokumentov MO RF (Maritime Doctrine of the Russian Federation for the period up to 2020: Approved by President of the Russian Federation of 21.07.2001 Ex-1387), Bank of the Russian Federation Defense Ministry documents.

12. Neizvestnov Ya. V., Kondratenko A. V., Kozlov S. A. *Trudy VNIIOkeanologii M-va prirodnykh resursov RF v RAN*; T. 197 (Proceedings of the Institute of Oceanology of the Russian Federation Ministry of Natural Resources in the Russian Academy of Sciences; vol. 197), Saint-Petersburg, Nauka, 2004, 281 p.

13. Tarasov Yu. D., Timofeev I. P., Bol'shunov A. V., Morus V. N., Korolev I. A. Patent RU 2466275, 2012.

14. Pavlovskiy V. E. *Preprinty IPM im. M.V.Keldysha*. 2013, no 101, 32 p. available at: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013–101.

15. Vetyukov M. M., Platovskikh M. Yu., Timofeev I. P. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*. 2010, no 4, pp. 18–22.