УДК.622.271.5

И.П.ТИМОФЕЕВ, *д-р техн. наук, профессор, partim@mail.ru*
И.А.КОРОЛЕВ, *аспирант, izumrud222@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

I.P.TIMOFEEV, *Dr. in eng. sc., professor, partim@mail.ru*
I.A.KOROLYOV, *post-graduate, izumrud222@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЕГО ГИБКИМ ТЯГОВЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

В статье рассмотрены современные проблемы мирового минерально-сырьевого комплекса, отражены основные перспективы и вопросы актуальности комплексного освоения твердых полезных ископаемых морского дна. Представлены состав, морфология и потенциальные запасы железомарганцевых конкреций, рассмотрен комплекс оборудования по добыче железомарганцевых конкреций, а также силовые характеристики, оказывающие влияние на процесс добычи. На основе составленной математической модели определены зависимости между силовыми и кинематическими характеристиками. Выведено основное уравнение движения донного устройства с помощью численных методов.

Ключевые слова: железомарганцевые конкреции, добычной комплекс, цепная линия. переменная масса.

THE INVESTIGATION OF COMPLEX PRODUCTION OF FERROMANGANESE NODULES DURING ITS MOVEMENT BY FLEXIBLE TRACTION ELEMENTS

The article deals with contemporary problems of the world mineral complex, reflects the main issues of relevance and prospects of integrated development of solid mineral resources of the seabed. The composition, morphology and potential reserves of iron-manganese nodules are presented, a complex of equipment for the extraction of iron-manganese nodules and power characteristics that influence the extraction process are considered. On the basis of a mathematical model, the relationship between the force and kinematic characteristics is defined. The basic equation of motion of bottom devices is derived, concluded the possibility of solving this equation by numerical methods.

Key words: ferromanganese nodules, mining complex, catenary, variable mass.

Освоение ресурсов морского дна на сегодняшний день является актуальной задачей в связи с постепенным истощением континентальных месторождений, дороговизной добычных процессов и повышающейся сложностью ведения работ.

Между тем в последние десятилетия было установлено, что на дне морей и океанов сосредоточены огромные ресурсы полезных ископаемых, некоторые из них уже успешно добываются в прибрежных районах Мирового океана [1]. Обладая рядом преимуществ и достоинств, разработка месторождений полезных ископаемых морского дна (в основном, в шельфовой зоне) является перспективным направлением развития горно-добычных работ:

- освоение месторождений морского дна с поправкой на современное состояние техники в ряде случаев более рентабельно за счет исключения буровзрывных работ;
- концентрация полезных ископаемых в морских месторождениях выше, что также снижает себестоимость процесса добычи;

• некоторые страны обладают существенными запасами ископаемых в шельфовой зоне при практически полном отсутствии их на материковой части.

В настоящее время в ряде государств разработка морских месторождений имеет большой удельный вес в общем объеме добычных работ. Ведется добыча железосодержащих песков у берегов Японии и Новой Зеландии; рутила, циркона, ильменита в Шри-Ланке; циркона, ильменита и платины в США; касситерита в Европе у п-ова Корнуолл; алмазов и золота в странах Южной Африки, а также различных полезных ископаемых у берегов Австралии, Канады, Бразилии и стран Юго-Восточной Азии. В Российской Федерации ведется разработка россыпных месторождений золота (около 50 % от всей добычи).

Особый научный и экономический интерес представляют железомарганцевые конкреции (ЖМК) (рис.1) – стяжения гидроокислов железа и марганца, образующиеся на дне океанов и морей.

В большинстве случаев конкреции содержат ядро, представляющее собой какое-либо инородное тело (зачастую – обломки вулканических пород), окаймленное оболочкой Fe-Mn-оксидов.

Практическую ценность ЖМК трудно переоценить, их морфологический состав, а также потенциальные запасы металлов в ЖМК экваториальной зоны Тихого океана следующий:

Морфология ЖМК	Mn	Ni	Cu	Co
Содержание, %	27,5	1,26	1,03	0,25
Потенциальные запасы, млн т	6000	300	250	100

Содержание в ЖМК Mo, Zn, Pb и редкоземельных элементов не превышает 1 %.

Установлено, что если бы только 10 % конкреций, залегающих на дне Мирового океана, оказались бы экономически выгодными для разработки, то запасов металлов в них хватило бы на сотни лет при существующем уровне их потребления мировой промышленностью. Некоторые ученые полагают, что скорость накопления металлов в ЖМК на обширных площадях Мирового океана превышает темпы их потребления промышленностью, и, следовательно, конкреции можно считать возобновляемым минеральным сырьем.

В России ЖМК были обнаружены геологами в 80-е годы XX в. на поверхности дна Финского залива [2], однако вопрос освоения этих месторождений был подвергнут детальному рассмотрению лишь в начале 90-х гг., после развала СССР, когда Российская Федерация была вынуждена импортировать марганец с месторождений Грузии и Украины. Российские континентальные месторождения ЖМК Красноярского края и Кемеровской области достаточно удалены от населенных пунктов и к тому же по геологическим данным не обладают высоким содержанием марганца, что делает их разработку нерентабельной на данном этапе.



Рис.1. Железомарганцевые конкреции

На работах по добыче полезных ископаемых со дна Мирового океана используются технические средства, имеющие различные назначения, конструкции, принципы действия, достоинства и недостатки [3]. В большинстве добычных комплексов, ведущих разработку механическим способом, присутствуют гибкие элементы, располагающиеся в толще воды согласно уравнению цепной линии:

$$z = ach\left(\frac{x}{a}\right) = a\frac{e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}}{2} - a, \qquad (1)$$

где z и x – координаты цепной линии, м; a – параметр цепной линии, м.

Гибкие элементы оказывают существенное влияние на характер движения донного устройства и, как следствие, на эффективность его применения с точки зрения производительности и экологии.

Рассмотрим схему добычного комплекса, который состоит из ковшово-скреперного рабочего органа (донное устройство), перемещаемого по дну канатной системой, оборудованной лебедками, установленными на плавательном средстве (рис.2). Сознательно не рассмотрен случай изменения длины тягового элемента, движение ковша-скрепера осуществляется за счет удаления плавсредства. Масса донного устройства при транспортировке непостоянна и с течением времени увеличивается, поскольку емкость ковша-скрепера заполняется донными отложениями, тяговый элемент меняет свое положение в пространстве.

Задача математического моделирования – нахождение зависимостей между основными силовыми ($T_г$, W, $R_{рез}$, $F_{тр}$) и кинематическими (x – путь, V – скорость, a – ускорение) параметрами системы донный агрегат – гибкий тяговый элемент.

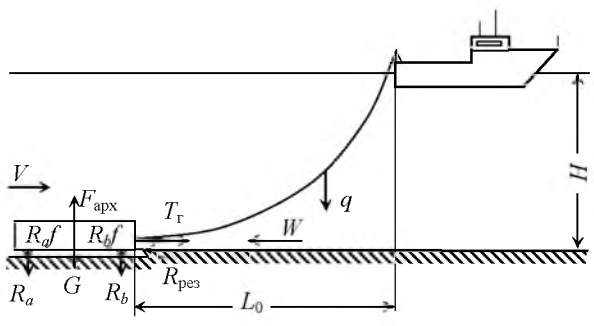


Рис.2. Модель взаимодействия гибкого тягового элемента и донного агрегата

Процесс движения донного устройства под действием сил натяжения канатной системы можно определить по уравнение И.В.Мещерского для движения частицы переменной массы [4]:

$$M\frac{dV}{dt} + \Delta m\frac{dV}{dt} = T_г - R_{рез} - F_{тр} - W, \qquad (2)$$

где M – масса донного устройства; V – скорость движения донного устройства; $T_г$ – горизонтальная составляющая силы натяжения, предоставляющая функциональную зависимость от линейной массы гибкого тягового элемента и удаления донного устройства от плавсредства; W – сила лобового сопротивления при движении в среде; $R_{рез}$ – сила сопротивления резанию; $F_{тр}$ – сила трения; $\Delta m(dV/dt)$ – приращение массы донного устройства в момент времени t.

Горизонтальная составляющая силы натяжения $T_г$ зависит от линейной массы тягового элемента q и от расстояния между донным устройством и плавсредством L_0 и может быть представлена в виде

$$T_г = aqL_0 + bqL_0 + cq, \qquad (3)$$

где a, b, c – коэффициенты полинома.

Сила сопротивления резанию $R_{рез}$ принята постоянной и определяется из выражения:

$$R_{рез} = pBh_{стр},$$

где p – удельное сопротивление резанию; B – ширина захвата исполнительного органа; $h_{стр}$ – толщина снимаемого слоя донного грунта.

Сила сухого некулонова трения $F_{тр}$ возникает между донным устройством и поверхностью при движении

$$F_{тр} = -fN = -f(M + \Delta m)g, \qquad (4)$$

где f – коэффициент трения.

Кроме того, как видно из уравнения, на донное устройство со стороны среды действует сила лобового сопротивления:

$$W = -C_{X_0}\frac{\rho V^2}{2}S, \qquad (5)$$

где V– скорость донного устройства, м/с; C_{X_0} – безразмерный аэродинамический коэффициент; ρ – плотность среды, кг/м^3; S – характерная площадь, м^2.

Перепишем уравнение (2) в дифференциальном виде (при начальных условиях $x = 0$, $V = 0$, $a = 0$):

$$(M + \Delta m)\frac{dV}{dt} = aqV^2d^2t + bqVdt + cq -$$

$$- f(M + \Delta m)g - R_{\text{рез}} - C_{X_0}\frac{\rho V^2}{2}S. \quad (6)$$

Полученное уравнение позволяет выявить искомую зависимость между силовыми и кинематическими параметрами системы, на основании которой можно выявить характер движения, а также скорость и ускорение донного устройства при транспортировке его гибким тяговым элементом.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. *Добрецов В.Б.* Освоение минеральных ресурсов шельфа. Л.; 1980. 272 с.

3. *Лукошков А.В.* Техника исследования морского дна. Л., 1984, 264 с.

4. *Тимофеев И.П.* Шагающие машины для освоения ресурсов морского дна. Л., 1987. 176 с.

REFERENCES

1. *Dobretsov V.B., Rogalev V.A., Opryshko D.S.* Oceans and continental waters: mineral resources exploration, and ecology. International Academy of Ecology, Man and Nature. Saint Petersburg. 2007. 796 p.

2. *Dobretsov V.B.* Mineral resources of the shelf. Leningrad, 1980. 272 p.

3. *Lukoshkov A.V.* Technique of the sea bed. Leningrad, 1984. 264 p

4. *Timofeev I.P.* Walking machines for the development of seabed resources. Leningrad, 1987. 176 p.