УДК 622.23.037.008

М.Л.КАБАНОВ
Горно-электромеханический факультет, аспирант кафедры рудничных стационарных установок

ТРАССООБРАЗОВАНИЕ ГИБКОГО ШАРНИРНОГО ТРУБОПРОВОДА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Одним из наиболее приоритетных направлений в горно-добывающей промышленности является добыча с морского дна полиметаллических песков, илов и конкреций. Обычно пески и илы залегают достаточно толстым слоем на пересеченной местности с каменистыми выступами, что связано с их наносным происхождением под действием направленных потоков воды.

Отработку таких месторождений возможно проводить с помощью комплексов оборудования для подводной добычи полезных ископаемых.

Предлагаемый комплекс позволит добывать полезные ископаемые с глубин, недоступных для имеющихся на данный момент добычных технических средств.

One of the most prioritiest directions in the mining industry is extraction from a sea-bottom of polymetallic sand, silt. Usually sand and silt are deposited thick enough layer on a cross-country terrain with stony ledges that is connected to their alluvial origin under action of the direct streams of water.

Improvement of such deposits is possible for spending with the help of complex of the equipment for underwater extraction of minerals.

The offered complex will allow to extract minerals from the depths, inaccessible to means available at present for extraction.

В состав предлагаемого комплекса оборудования для подводной добычи полезного ископаемого (рис.1) входит плавсредство, обеспечивающее его энергией (*а*) и добычной снаряд (подводная горная машина), расположенный на гусеничной тележке (*б*); 1 – машина для добычи конкреций; 2 – гибкий шарнирный трубопровод; 3 и 3' – плавсредство для складирования полезного ископаемого*.

Такой комплекс способен осуществлять добычу и транспортирование полезного ископаемого с глубин больших, чем все имеющиеся на данный момент добычные технические средства.

Рассматриваемая горная машина обеспечивает рыхление породного массива, образование смеси горной массы с водой и подачу ее в трубопровод для последующего подъема на поверхность. Так как самоходная гусеничная тележка является подвижной, то гидротранспортирование необходимо осуществлять по гибкому трубопроводу. Однако максимальный диаметр выпускаемых отечественной промышленностью гибких трубопроводов (буровых шлангов) не превышает 260 мм, что существенно ограничивает возможную производительность такой установки из-за невысокой пропускной способности. Одним из путей решения проблемы является использование вместо гибкого трубопровода шарнирно соединенных металлических труб, каждая из которых помещена в «рубашку» из наиболее легких, но достаточно прочных материалов (дерево, пластмассы и др.), что позволяет не только создать трубопровод положительной плавучести, но и в какой-то мере предоставит защиту металлическим трубам от агрессивного воздействия морской воды**.

---

* *Маховиков Б.С.* Технология подводной разработки россыпей на шельфе и глубоководных районах морской акватории России // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГГУ. М., 2000. № 2.

** *Маховиков Б.С.* Расчеты гидроподъемных комплексов для добычи полиметаллических конкреций с поверхности морского дна / Б.С.Маховиков, Н.В.Братчиков // Машиностроение и автоматизация производства. Вып.13 / СГЗТУ. СПб, 1999.

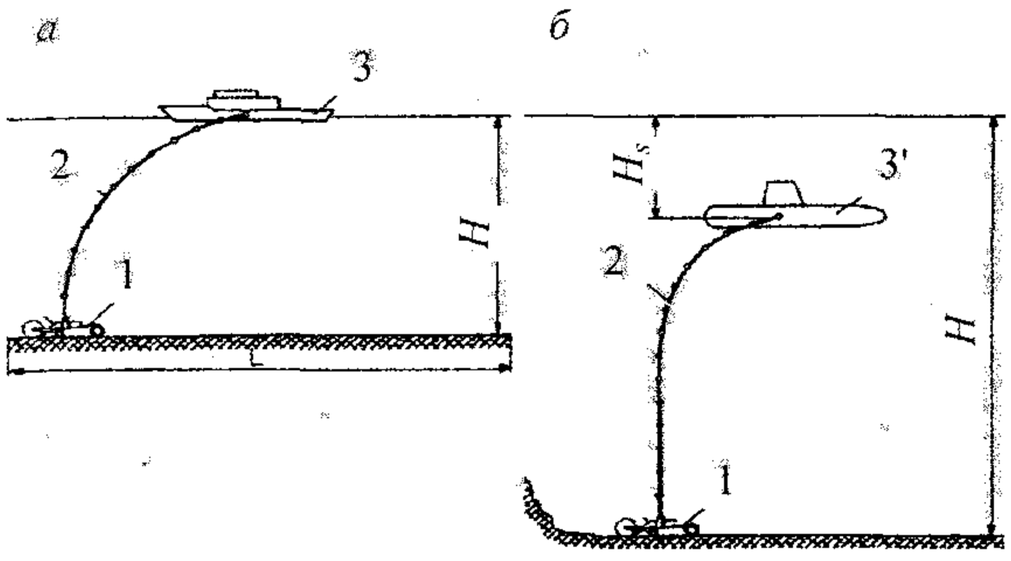


Рис.1. Схема добычного комплекса

Таким образом, при использовании рассматриваемого комплекса значительно снижается зависимость его от плавсредства, так как между ними отсутствует жесткая связь. В результате уменьшается влияние неблагоприятных метеорологических факторов (ветер, волнение моря, низкая видимость и т.д.) на возможность проведения добычных работ. Необходимо отметить также и вероятность использования в качестве плавсредства подводной лодки, что полностью исключает зависимость работы комплекса от метеорологических и климатических условий в районе проведения горно-добывающих работ.

В результате появляется возможность проведения разработок шельфовых месторождений полезных ископаемых практически в течение всего года, невзирая на неблагоприятные климатические условия. Этот факт особенно актуален для России, большая часть шельфовых месторождений которой располагается в морях Северного Ледовитого океана. При использовании надводного плавсредства разработку таких месторождений можно проводить лишь в тот период, когда поверхность воды очищается от ледяной корки, что составляет 3,5-4 месяца в году.

Гибкий шарнирный трубопровод, связывающий подводную добычную машину с пульпоприемником, в качестве которого могут выступать как надводное, так и подводное судно, в процессе движения добычной машины по дну непрерывно изменяет свою конфигурацию. Для определения сил сопротивления, действующих на добычную машину, и параметров расчета гидравлических сопротивлений движению смеси воды с твердыми частицами полезных ископаемых внутри трубопровода необходимо знать конфигурацию трасс такого трубопровода. Трассы образованные им, можно разделить на два типа: – плоские, т.е. трассы, образованные шарнирным трубопроводом, лежащим в одной плоскости (рис.2); 2 – пространственные, которые возникают после прохождения добычной машиной критической точки, обозначенной χ и определяемой по формуле:

$$\chi = \frac{1-\sin\beta}{\sin\beta},$$

где $\beta = 0{,}6365$ – угол наклона трубопровода в вытянутом положении при длине карьера 500 м и глубине моря 200 м в районе добычи.

Плоские формы трасс, похожие на образованные гибкой нитью, обладающей положительной плавучестью и описываемые уравнением цепной линии

$$y = kch\left(\frac{x}{k}\right),$$

представлены кривыми, показанными на рис.2.

Участок, в котором существуют плоские трассы, делится на две части точкой κ, определяемой по формуле

$$\kappa = \frac{\cos^2\beta}{\sin^2\beta}\ln\left(\frac{\cos\beta}{1-\sin\beta}\right).$$

После прохождении добычной машиной этой точки появляется всплывший участок трубопровода. Поскольку взаимная подвижность звеньев ограничена, так как

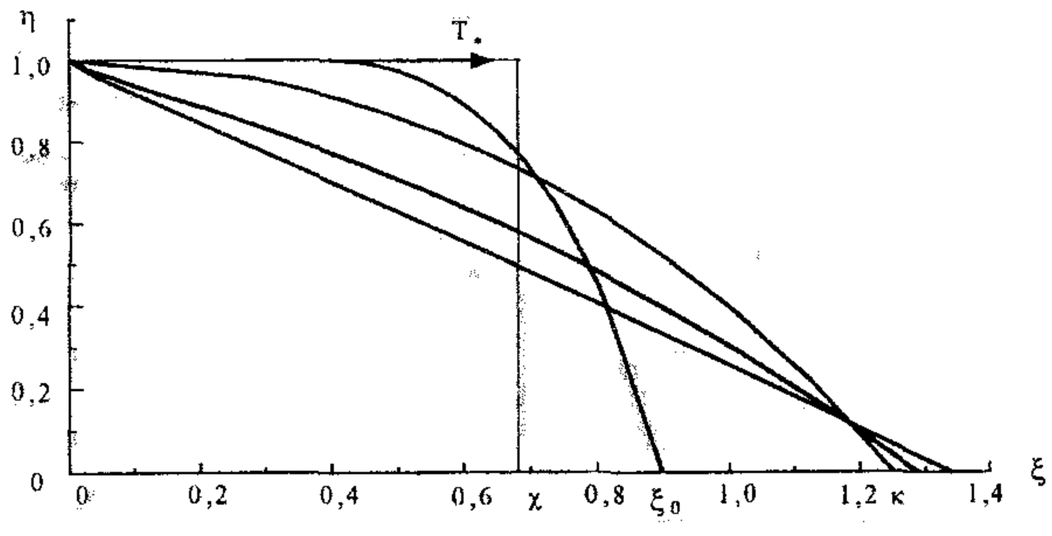


Рис.2. Трассы гибкого шарнирного трубопровода

трубопровод составлен из жестких звеньев, связанных между собой сферическими шарнирами с углом взаимного поворота 15°, образуются участки, состоящие из прямой (всплывшего участка трубопровода) и дуги окружности радиуса R,

$$R = \frac{\ell}{2\sin 7{,}5^\circ}.$$

Участок трубопровода от конца дуги окружности до добычной машины можно рассматривать как гибкий, образующий цепную линию с точкой подвеса, находящейся на глубине,

$$h = R(1 - \cos(15^\circ n + 7{,}5^\circ) - (1 - \cos 7{,}5^\circ)),$$

где n – число звеньев трубопровода в дуге окружности.

На данном этапе из возможных внешних сил, действующих на трубопровод, учитываются только архимедова сила и вес труб без внешних возмущений. Действие внутренних сил сопротивления звеньев будут учтены в дальнейших исследованиях. Нами разработана математическая модель формирования трассы, основанная на использовании уравнения гибкой нити.

Научный руководитель, профессор, д.т.н. *Б.С.Маховиков*