

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАТНО-КОВШОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Т.В. Шепель, А.Е. Шевченко, Национальный горный университет, Украина

Приведены результаты анализа канатно-ковшовых добычных систем для разработки глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых. Определены основные направления развития данного типа оборудования. Рассмотрены перспективы применения канатно-ковшовых добычных комплексов для промышленного освоения глубоководных органо-минеральных осадков в Черном море на глубинах 500 – 2200 м.

Ресурсный потенциал Черного моря представляет огромный интерес для экономического развития стран Причерноморского региона. Помимо газогидратов, полиметаллических конкреций, россыпей цветных и благородных металлов, в глубоководной части Черного моря были выявлены колоссальные запасы органо-минеральных осадков (порядка 320 млрд. м³), которые представляют значительную агрономическую, промышленную и экологическую ценность.

Глубоководные органо-минеральные осадки (ГВОМО) – сапропелевые и кокколитовые илы, повсеместно распространены в Черном море на глубинах 500 – 2200 м и залегают в придонном слое единым горизонтом мощностью 0,35 – 2 м [1]. Мелкодисперсная структура ГВОМО (80-85% частиц имеют крупность менее 10 мкм) ограничивает возможность применения гидравлических способов разработки из-за низкой эффективности процесса отделения ценного компонента от воды. Так, например, для обезвоживания глинистых материалов в составе пульпы на суше применяются методы осаждения (гравитационного – в чеках-отстойниках, центробежного – в сепараторах и центрифугах) и фильтрования (в гравитационном и центробежном полях, под давлением и в вакууме). Гравитационные методы обезвоживания требуют значительных производственных площадей и затрат времени, необходимого для обезвоживания материала (от 1 до 12 месяцев), что практически нереализуемо в условиях открытого моря [2]. Обезвоживание глинистых материалов в составе пульпы на центрифугах также имеет низкую эффективность из-за больших потерь твердого компонента на сливе (20 - 30% и более). Фильтр-прессы наиболее полно отвечают требованиям к обезвоживанию ГВОМО в открытом море. Однако их производительность в значительной степени зависит от исходной влажности и свойств обезвоживаемого материала (продолжительность цикла фильтрования может составлять от 3 до 200 мин и более). Обезвоживание высококонцентрированных пульп позволяет в разы увеличить производительность фильтр-прессов. Поэтому для обеспечения высокой эффективности использования фильтровального оборудования, что в свою очередь позволит достигнуть требуемой производительности морского горно-обогательного комплекса, влажность добываемого сырья должна приближаться к влажности осадков в условиях естественного залегания, что возможно при использовании механических способов отработки подводных месторождений. С этой точки зрения наиболее перспективной для реализации может рассматриваться канатно-ковшовая технология добычи.

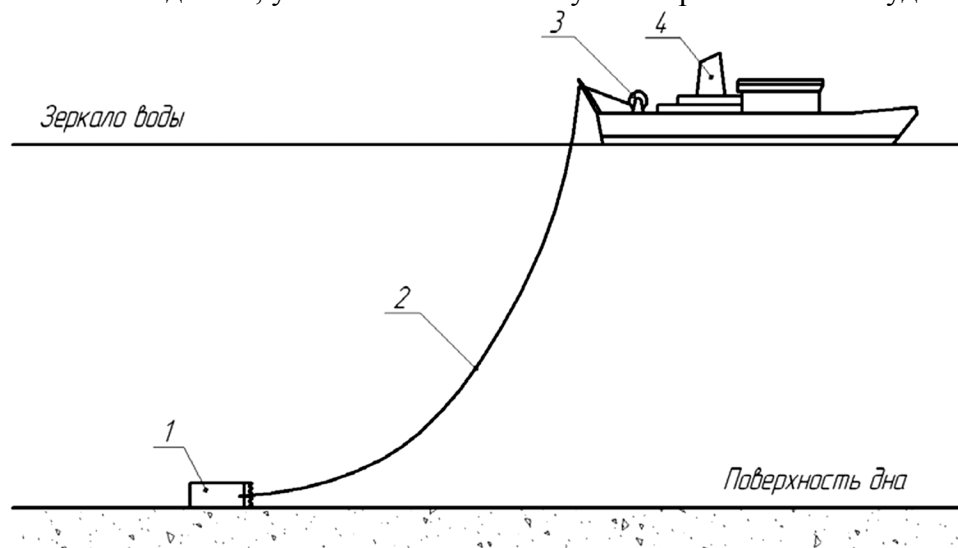
В мире пока нет практики промышленного освоения месторождений твердых полезных ископаемых на больших глубинах. Основные проекты добычных комплексов, как правило, наследуются от научных и инженерных изысканий, проводившихся во второй половине XX века для освоения месторождений полиметаллических конкреций в Тихом и Индийском океанах, а также залежей ГВОМО в Черном море [1, 3]. Среди испытанных добычных систем с рабочим органом ковшового типа, предназначенных для разработки полезных ископаемых на глубинах более 500 м, известны канатно-ковшовые системы периодического действия – одночерпаковые драги, к которым относятся скреперные драги (применяются на глубинах до 9000 м) и драглайновые драги (до 1500 м), а также системы непрерывного действия – многочерпаковые драги с рабочим органом в виде бесконечной ковшовой линии (одна из таких си-

стем была испытана для добычи конкреций с глубины 4700 м) [4-6]. Здесь следует отметить, что понятие «драга» применимо в том случае, если добычное оборудование осуществляет не только подводную разработку породы, но и ее обогащение. В противном случае перечисленные добычные системы будут относиться к одно- или многочерпаковым снарядам. Под канатно-ковшовыми добычными системами понимается горное оборудование, включающее ковш для разработки породы и гибкий тяговый орган (канат) для перемещения одного или некоторого количества ковшей. Одно- и многочерпаковые драги имеют свои достоинства и недостатки, что применительно к разработке ГВОМО требует проведения более детального анализа.

Целью настоящей работы является исследование перспектив применения канатно-ковшовых добычных систем для промышленного освоения ГВОМО в Черном море.

Канатно-ковшовое оборудование периодического действия.

Для разработки залежей полиметаллических конкреций на дне океана американским исследователем Дж. Мерио была предложена добычная система, включающая два судна – добычное и транспортирующее [7]. Оборудование для разработки конкреций (рис. 1) представляет собой скреперную драгу, включающую ковш 1, подвешиваемый на канате 2, поднимаемого и опускаемого лебедкой 3, установленной на палубе в кормовой части судна 4.



1 – ковш; 2 – гибкий тяговый орган; 3 – лебедка; 4 – судно

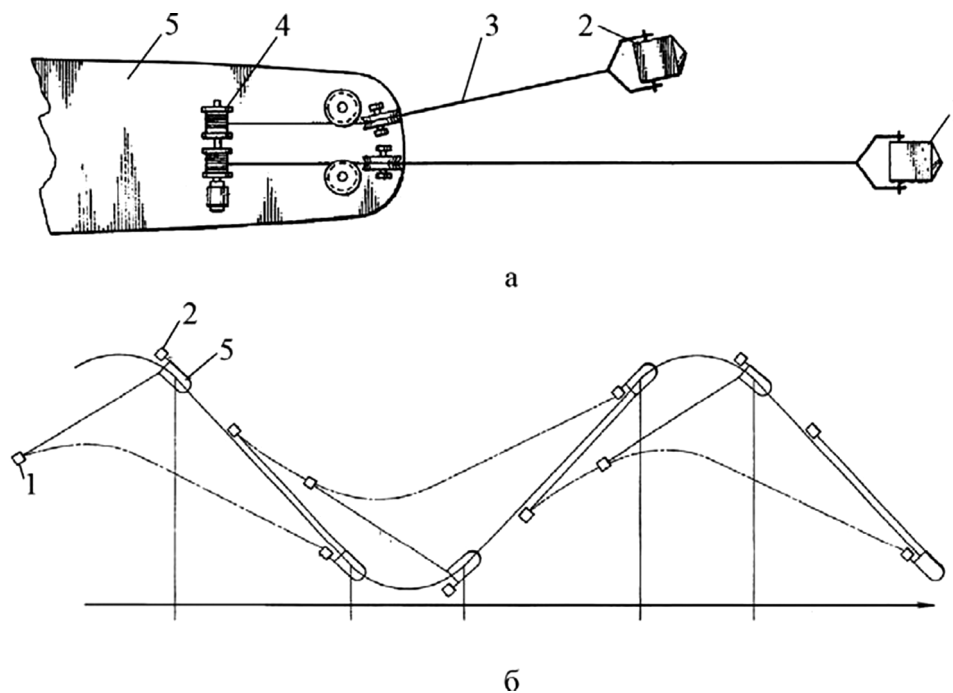
Рис. 1. Скреперная драга

Второе судно представляет собой самоходную баржу, предназначенную для транспортирования конкреций. Цикл отбора конкреций включает опускание драгового ковша на дно, черпание и подъем заполненного ковша на палубу с последующей разгрузкой отобранного материала в баржу. Для осуществления черпания судно должно находиться на некотором расстоянии от точки опускания ковша, поэтому длина вытравленного каната должна превышать глубину океана. Для судна водоизмещением 2000 т Дж. Мерио предложена скреперная драга с габаритными размерами ковша 6х3,5х0,9 м весом около 3 т, обеспечивающая производительность до 13 т извлекаемого материала за цикл (при коэффициенте наполнения ковша 0,65). Данное оборудование может быть использовано для добычи конкреций на глубинах до 1500 м.

Максимальная скорость опускания ковша не превышает скорости его свободного падения в воде. Согласно расчетам, скорость свободного падения ковша, предложенного Дж. Мерио, не превышает 3 м/с. Поскольку сопротивление, возникающее при подъеме драгового ковша в воде, меняется в квадратичной зависимости от скорости, а мощность, расходуемая на подъем – в кубической, существует рациональная скорость, превышение которой приводит к значительному удорожанию добываемого сырья. Поэтому повышение производительности

скреперной драги возможно за счет увеличения вместимости ковша, либо путем применения нескольких драговых ковшей.

Один из возможных вариантов конструктивного исполнения добычного комплекса с двумя драговыми ковшами приведен в патенте [8]. Добычное судно (рис. 2, а) имеет двухбарабанную лебедку с многослойной навивкой каната. При опускании одного ковша происходит подъем другого. При этом судно движется зигзагообразно (рис. 2, б), что исключает возможность запутывания подъемных канатов. Применение такого оборудования позволяет почти в два раза повысить производительность добычного комплекса.



1,2 – драговые ковши; 3 – тяговый канат; 4 – двухбарабанная лебедка; 5 – судно
Рис. 2. Устройство (а) и схема отработки залежи (б) добычным оборудованием с двумя драговыми ковшами

В НИПИОкеанмаш (г. Днепропетровск) проводились инженерные проработки по созданию скреперных драг для добычи ГВОМО. При этом рассматривались три типоразмера драговых ковшей, характеристики которых приведены в табл. 1. Общий вид одной из разработок показан на рис. 3 [1]. Особенностью приведенного драгового ковша является наличие обтекателя, который отклоняется при черпании донных осадков и закрывается при подъеме ковша в толще воды, исключая вымывание отобранной горной массы. Такая конструкция может использоваться при отборе крупномасштабных проб ГВОМО. При этом ковш может оснащаться сменным контейнером, который извлекается после каждого цикла драгирования и заменяется пустым. Это обеспечивает возможность складирования отобранных осадков при перегрузке без обогащения на судне.

Для ограничения величины заглубления драгового ковша в донный грунт разработаны конструкции ковшей с ограничителями заглубления [9, 10]. Пример одного из таких ковшей для добычи конкреций приведен на рис. 4.

Для повышения качества отработки месторождения на драговых ковшах могут дополнительно устанавливаться средства видеонаблюдения, навигационные устройства и средства контроля касания дна [7]. Однако при этом качество отработки подводного месторождения все же остается крайне низким.

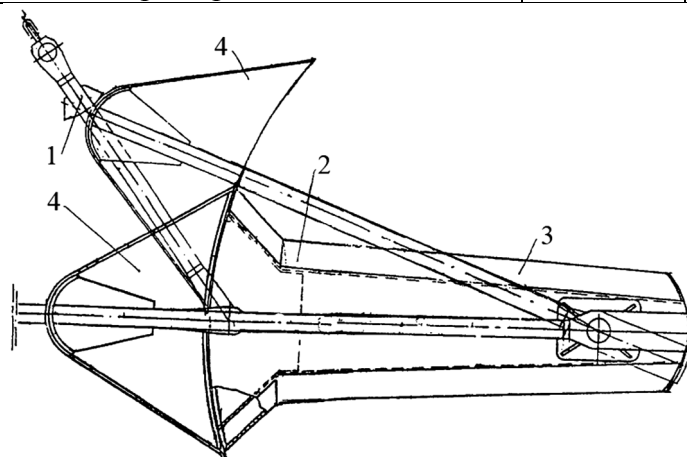
По данным зарубежных исследований, добычу полезных ископаемых со дна морей и океанов можно осуществлять экскаваторами-драглайнами до глубины 1500 м [3]. В США проводились работы по созданию драги с драглайном для добычи глубоководных конкреций,

технические характеристики которых приведены в табл. 2. Наряду с традиционными, ковши драглайна могут иметь и крылообразную форму для сокращения цикла черпания. Применение драглайнов требует специальных судов и дорогостоящего оборудования.

Таблица 1

Массогабаритные характеристики драговых ковшей для добычи ГВОМО
(проект НИПИОкеанмаш)

Параметр	Объем ковша, м ³		
	7,5	10,0	15,0
	Значение параметра		
Длина, м	3,2	3,5	4,0
Ширина, м	2,05	2,26	2,6
Высота, м	1,47	1,62	1,85
Масса, т	5,68	7,2	10,27
Масса ковша с ГВОМО, т	14,68	19,2	28,27
Весовая отрицательная плавучесть пустого ковша, т	4,94	6,26	8,92
Весовая отрицательная плавучесть заполненного ковша, т	6,335	8,12	11,71
Усилие в подвеске при черпании, тс	7...10	8...12	11...16



1 – тяговая подвеска; 2 – ковш; 3 – контейнер; 4 – крышка
Рис. 3. Драговый ковш конструкции НИПИОкеанмаш

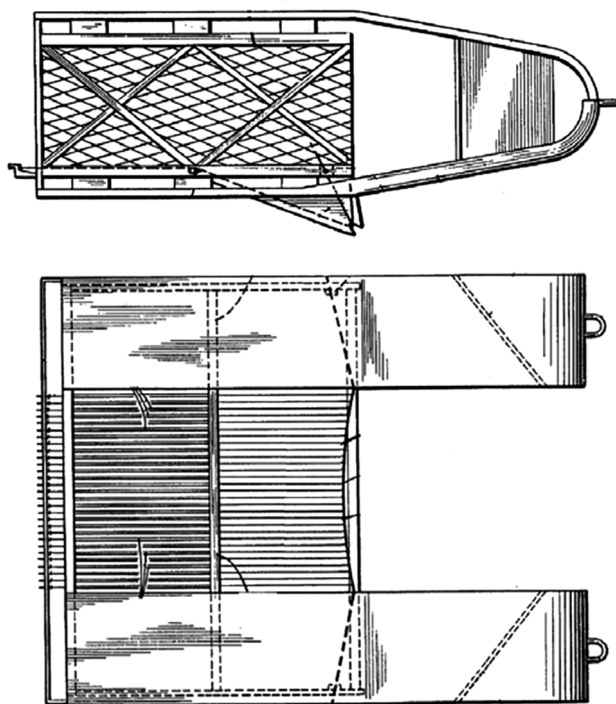


Рис. 4. Скреперная драга для добычи конкреций с ограничителями заглубления в грунт

Таблица 2

Драглайновые драги, США (проект)

Показатели	Глубина черпания, м	
	305	915
Вместимость ковша, м ³	13,2	13,2
Мощность драглайна, кВт	1100	1180
Производительность, м ³ /сут	670	437

Таким образом, канатно-ковшовое оборудование периодического действия является простым с точки зрения конструктивного исполнения, наиболее приспособлено к агрессивной сероводородной среде Черного моря (в рабочей зоне находится только ковш и тяговый орган), требует минимума капитальных затрат на создание и может быть привязано к существующим плавсредствам. Недостатком такого способа добычи является низкая производительность добычного оборудования и низкое качество отработки подводного месторождения вследствие отсутствия возможности управления рабочим органом в забое.

Основным отличием ковшей для добычи ГВОМО и конкреций является способ изоляции отобранного сырья от воздействий окружающей водной среды. При разработке конкреций встречные потоки очищают конкреции от илов, осуществляя таким образом обогащение, поэтому стенки драгового ковша выполнены из сетчатого материала, либо предусмотрено большое количество отверстий. При добыче ГВОМО следует исключать вымывание горной массы при подъеме заполненного ковша в толще воды. Поэтому отверстия для отвода воды из ковша при черпании предусмотрены в основном на задней стенке, а для исключения воздействия встречных потоков на горную массу могут применяться обтекатели различных конструкций.

Канатно-ковшовое оборудование непрерывного действия.

Для добычи конкреций со дна океана на основе изобретения японского инженера Масуда была предложена конструкция многочерпаковой драги с бесконечной ковшовой линией без жесткой рамы. Рабочий орган представляет собой бесконечный синтетический нескручивающийся канат с закрепленными на нем ковшами. Ковшова линия проходит вдоль борта судна от носа до кормы и

свешивается с него на дно. Полупромышленная установка была создана на базе грузового судна «Чиода Мару» [4]. Применялись черпаковые цепи двух типов: одна с диаметрами каната 40 мм, длиной 8200 м и разрывным усилием 20 тс, с 240 черпаками емкостью 45 кг конкреций; другая – с диаметром каната 20 мм, длиной 10 000 м и разрывным усилием 7 тс. Расстояние между черпаками составляло 25 м. Применялись также черпаки емкостью 100 кг конкреций. Минимальное расстояния между нисходящей и восходящей ветвями 1 м на каждые 25 м глубины обеспечивают отсутствие зацепления между ковшами. Испытания такой драги производилось при добыче мелкозернистого песка с глубины 1500 м, а также при добыче конкреций с глубины 3700 м. Скорость движения черпаковой цепи составляла 0,6...0,9 м/с, скорость бокового смещения судна – 0,2...0,5 м/с. На основании проведенных работ подсчитано, что производительность установки может составлять до 1,5 млн. т конкреций в год. При ковшах емкостью 5 т конкреций и канате с разрывным усилием 2500 тс с глубины 6000 м можно добывать 5000 т конкреций в сутки. В 1972 г. система была испытана на глубине 4700 м.

Модификации драги для добычи конкреций с бесконечной ковшовой линией приведены в патентах [11-13] в которых предлагаются способы усовершенствования технологии ведения добычных работ, приведены способы подвески ковшей, оборудование для привода ковшовой линии и разгрузки ковшей. В патенте [14] предложено использовать пластины, закрепляемые на тяговом канате, для увеличения дистанции между ветвями ковшовой линии. Увеличение дистанции достигается за счет действия на пластины гидродинамического сопротивления, вследствие чего возникает усилие, отклоняющее нисходящую ветвь от восходящей. Такой же эффект может быть достигнут при подвешивании ковшей к канату под некоторым углом атаки на двух дужках разной длины (дражная система HDS–SLB).

Стремление исключить возможность зацепа ветвей бесконечной ковшовой линии между собой привело к разработке дражной системы CLB (рис. 5), представляющую бесконечную ковшovou линию, которая опирается на два судна [4, 7, 15]. Было подсчитано, что при удалении судов друг от друга на 1 км вероятность зацепа ветвей между собой при глубине разработки до 6 км практически полностью исключается. Другим направлением модификации бесконечной ковшовой линии является использование придонных блоков (патенты [16-19]), позволяющих сделать процесс добычи более управляемым и повысить качество отработки месторождения. Оснащение придонных блоков движителями переводит рассматриваемое оборудование к классу добычных систем с подводным агрегатом и канатно-ковшовой подъемно-транспортной системой. Такое оборудование отличается своей конструктивной сложностью и крайне низкой надежностью.

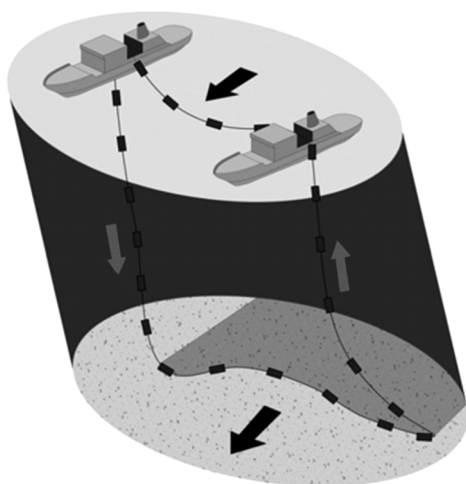


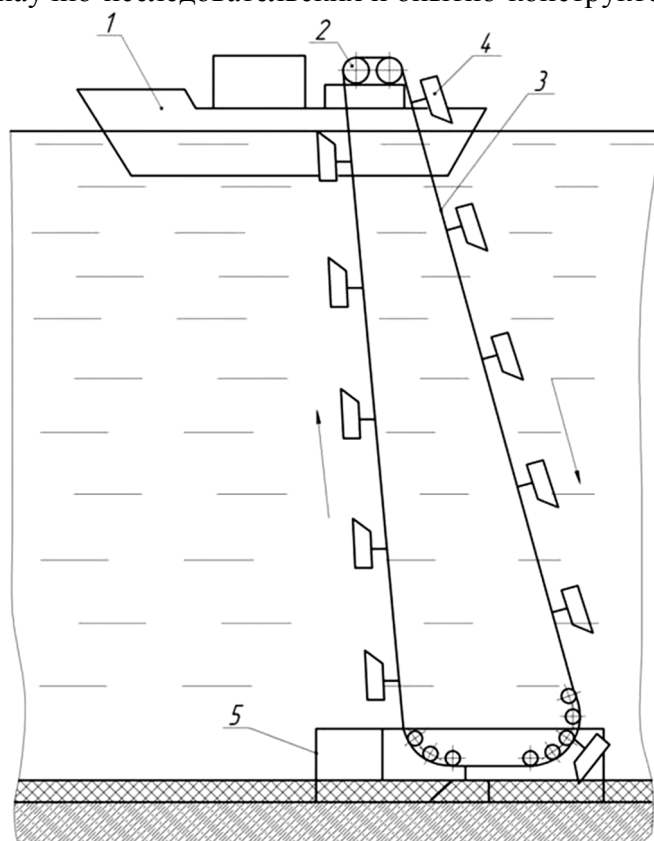
Рис. 5. Дражная система CLB

НИПИокеанмаш была предложена установка для непрерывной добычи ГВОМО с бесконечной ковшовой линией и придонным блоком (рис. 6) [20]. Ковши установки снабжены обтекателями для исключения вымывания горной массы при подъеме в толще воды. Придонный блок содержит направляющие, которые обеспечивают постоянство величины заглубления ковшей в грунт, а так-

же открывают и закрывают обтекатели при черпании. Применение такой установки может обеспечить требуемое качество отработки месторождений ГВОМО в Черном море, отвечает требованию исключения вымывания горной массы при подъеме, однако вопросы, связанные с обеспечением необходимой надежности добычного комплекса все же остаются открытыми.

Таким образом, оборудование с бесконечной ковшовой линией способно обеспечить высокую производительность добычного комплекса, однако обладает низкой надежностью. По мнению многих исследователей, низкая надежность такого оборудования сводит на нет преимущества канатно-ковшового оборудования непрерывного действия по сравнению с оборудованием периодического действия.

Требованиям, предъявляемым к добычному комплексу для промышленного освоения месторождений ГВОМО, наиболее полно отвечает установка с бесконечной ковшовой линией, придонным блоком и ковшами, оснащенными обтекателями. Такая добычная установка способна обеспечить высокую производительность и необходимое качество отработки подводных месторождений. Исключение вымывания горной массы из ковшей при подъеме в толще воды обеспечивает минимальный (по сравнению с другими системами с бесконечной ковшовой линией) урон окружающей среде при проведении добычных работ. Для повышения надежности такого оборудования могут быть использованы технические решения, разработанные применительно к добыче конкреций со дна океана (например, гидродинамическое разведение ветвей, использование нескольких судов и т.д.). Оценка возможности технической реализации подобного комплекса для добычи ГВОМО в Черном море требует проведения большого объема научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.



1 – судно; 2 – лебедка; 3 – гибкий тяговый орган; 4 – ковш; 5 – придонный блок

Рис. 6. Установка для подводной разработки полезных ископаемых (проект НИПИОкеанмаш)

Использование канатно-ковшового оборудования периодического действия целесообразно для отбора крупномасштабных проб ГВОМО. Данное оборудование отличается своей простотой, высокой надежностью и возможностью привязки к существующим плавсредствам, что позволяет существенно снизить затраты на создание добычного оборудования.

Список литературы

1. Шнюков Е.Ф. Минеральные богатства Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов. – Киев: «Карбон-ЛТД», 2004. – 290 с. – ISBN 966-02-3058-3.
2. Ярыгина А.А. Очистка водных объектов от донных отложений / А.А. Ярыгина, С.В. Ермолаев, О.В. Орлова // Экология производства. – №12. – 2010. – С. 5-10.
3. Добрецов В.Б. Освоение минеральных ресурсов шельфа / В.Б. Добрецов. – Ленинград: «Недра», 1980. – 272 с.
4. Нурок Г.А. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов / Г.А. Нурок, В.В. Ржевский. – Москва: «Недра», 1979. – 381 с.
5. Добрецов В.Б. Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология / В.Б. Добрецов, В.А. Роголев, Д.С. Опышко. – СПб.: Междунар. акад. наук экологии, безопасности человека и природы, 2007. – 796 с. – ISBN 5-93048-039-7.
6. Rybar P. Polymetalicke konkrecie: bohatstvo na dne mori a oceanov / P. Rybar, H. Namrak, J. Kosco. – Kosice, Slovak republic : TU, FBERG, 2011. – ISBN 978-80-553-0326-0.
7. Мерио Дж. Минеральные богатства океана / [ред.] К.К. Зеленова, [перев.] И.М. Варенцова. – М.: «Прогресс», 1969. – 440 с.
8. Пат. 3777377 США, E02F1/00. Method of collecting submarine resources / Toritani M.; заявитель и патентообладатель Toritani M. – USD3777377 19711027; опубл. 11.12.1973.
9. Пат. 4185404 США, E02F5/00. Nodule dredging bucket / Charles C., Hue J.-P., Le Foll F.; заявитель и патентообладатель Centre National Exploit Oceans (France). – US770835314 19770921; опубл. 29.01.1980.
10. Пат. 3365823 США. Ocean floor mining system / Vogt R.; заявитель и патентообладатель Scientia Corp. Опубл. 30.01.1968.
11. Пат.1239178 Великобритания. E02F3/08. Improvements in dredging / Masuda Y., Facuda H.; заявитель и патентообладатель Masuda Y. – №18619/70; опубл. 14.07.1971.
12. Пат. 4226035 США, E02F3/08, E02F3/14. Apparatus for continuously dredging submarine mineral deposit / Saito N.; заявитель и патентообладатель Saito N. – US780871197 19780121; опубл. 07.10.1980.
13. Пат. 7208061 Япония. E21C50/00. Bucket mining device of deep-sea minerals / Masuda Y.; заявитель и патентообладатель Fukada Hideaki. – JP940023064 940125; опубл. 08.08.1995.
14. Пат. 3908291 США, E02F3/14, A01K74/00, A01K79/00. Apparatus for preventing tangle of endless rope in mining or sea life gathering / Masuda Y.; заявитель и патентообладатель Masuda Y. – US730428834 19731227; опубл. 30.09.1975.
15. Пат. 3889403 США, E02F5/00. Method and apparatus for continuous underwater mining using plural ships / Gauthier M., Tessier M., Fleruy D., Jegousse M.; заявитель и патентообладатель Centre Nat. Exploit. Oceans. – US730360594; опубл. 17.06.1975.
16. Пат. 3943644 США, E02F3/08. Mining dredge having endless bucket conveyor and flexible gulch train / Walz A.; заявитель и патентообладатель Walz A. – US740483068 19740625; опубл. 16.03.1976.
17. Пат. 3955294 США, E02F3/14. Elevator apparatus for towed deep-sea particle harvester / Morgenstein M.; заявитель и патентообладатель Hawaii Marine Research Inc. – US750548483 19750210; опубл. 11.05.1976.
18. Пат. 3999313 США, E02F3/14. Towed sled for deep-sea particle harvest / Andrews J.; заявитель и патентообладатель Hawaii Marine Research Inc. – US750548301 19750210; опубл. 28.12.1976.
19. Пат. 4055006 США, E02F3/08. Deep-sea ore collecting and hoisting apparatus / Shibata J.; заявитель и патентообладатель Mitsubishi Kaihatsu Kabushiki. – US760673591 19760405; опубл. 25.10.1977.
20. Пат. 25339 Україна, МПК E21C50/00. Установка для підводної розробки корисних копалин / Зиборов А.П., Мішин В.В., Мажбіц А.Г., Нагорна В.Г.; заявник та патентовласник Державна гірнична академія України. – № 95010325; заяв. 24.01.95; опубл. 15.02.01, . Бюл. №1.