

УДК 622.272.5:552.124:553.04(26)

Г.Г. Пивняк<sup>1</sup>, В.П. Франчук<sup>1</sup>, А.П. Зиборов<sup>1</sup>, В.П. Надутый<sup>1</sup>, А.И. Егурнов<sup>1</sup>

## О НЕОБХОДИМОСТИ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗРАБОТОК, СВЯЗАННЫХ С СОЗДАНИЕМ МОРСКОГО ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Представлен состав оборудования для подводной добычи, транспортировки и обогащения полиметаллических конкреций. Приведены результаты предварительных испытаний некоторых видов оборудования. Намечены проблемы и задачи, требующие решения при создании морского горно-металлургического комплекса.*

Мировой океан в последние десятилетия, как потенциальная база обеспечения минеральным сырьем на долгосрочную перспективу различных отраслей промышленности, является объектом интенсивных исследований развитых стран.

В океанических месторождениях запасы металлоносного, энергетического и агрохимического сырья огромны [5], интерес к их освоению у мирового сообщества, по мере истощения месторождений на суше, растет. Однако сырье из морских месторождений относится, в основном, к разряду нетрадиционных, т.е. не применяемых ранее в промышленности. Для обеспечения его эффективного использования необходимы технологии и техника, соответствующие новым (морским) горнотехническим условиям, которые можно отнести к экстремальным (большие глубины, высокое гидростатическое давление, агрессивная среда и т.п.). Создать технику для этих условий возможно только при соответствующем уровне развития науки и техники.

За последние три десятилетия мировым сообществом был достигнут, с одной стороны, значительный прогресс в области разработок новых технологий и проведения испытаний по добыче, в т.ч. глубоководной, полезных ископаемых различными группами ученых — исследователей и инженеров в США, Канаде, Франции, Германии, Японии, России, СО Интерокеанметалл (Польше и др. странах — участниках), Индии, Корее, Китае, Украине, с другой — выявлено большое количество вопросов, остающихся пока что без ответа, и проблем, требующих упреждающего решения перед началом коммерческой (промышленной) добычи [5].

Мировые научные центры активно работают над поиском и созданием новых экологически щадящих технологий и технических средств для морского горного и горно-металлургического производства, решают при поддержке государства задачи финансирования, так как уверены, что прогнозируемый дефицит сырья вынудит ведущие горнорудные и энергетические компании мира продолжить инвестирование этих работ. Формируется перспективная и емкая ниша рынка по наукоемким технологиям, машинам и оборудованию, рыночная ситуация, которая, наряду с оборудо-

© Г.Г. Пивняк<sup>1</sup>, В.П. Франчук<sup>1</sup>, А.П. Зиборов<sup>1</sup>, В.П. Надутый<sup>1</sup>, А.И. Егурнов<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Национальный горный университет, Днепрпетровск.

ванием и сырьем на начальном этапе, во многом будет определять потребность в интеллектуальной собственности в этой сфере.

Эйфория быстрых глобальных многомиллиардных проектов рубежа 90-х годов прошлого века проходит [1]. Проблема в своем решении входит в необходимый, но не столь эффективный период поиска, создания и отработки технических средств и технологий для промышленной добычи, обогащения и переработки морского минерального сырья, не имеющих аналогов в традиционных технологиях.

Рассмотрим сложившуюся ситуацию на примере морского горно-металлургического комплекса (МГМК) для промышленной добычи полиметаллических конкреций (ПМК), который включает в себя ряд взаимосвязанных в едином технологическом цикле производств (добычное, обогащательное, транспортное, металлургическое), действующих как в акватории Мирового океана, так и на суше, разделенных друг от друга тысячами морских миль (рис. 1).

Такой комплекс, по современным представлениям, должен состоять из плавучего средства (судна или платформы) 1, на котором базируется технологическое оборудование, необходимое: для отработки подводного забоя и подъема экскавируемой горной массы на борт плавсредства (добыч-



Рис. 1. Морской горно-металлургический комплекс

ное), для обезвоживания сырья и утилизации отходов обогащения, возможно с получением промежуточного концентрата (обогащительное), для перегрузки в транспортные суда, которые доставляют концентрат на береговые базы, перегрузки в транспорт суши (транспортное) и оборудование металлургического передела на предприятиях суши.

Система трубопроводного транспорта 2 включает систему подъема полезного ископаемого, систему подачи энергоносителя, трубопровод возврата транспортной жидкости, кабели энергоснабжения и управления добычным оборудованием. В донной части к нему примыкает установка 3 загрузки полезного ископаемого, назначение которой — прием полезного ископаемого от агрегатов сбора 4, подготовка к виду, пригодному для транспортирования системой 2. Подготовленный к транспортированию продукт доставляется транспортными судами 5 к комплексу предприятий металлургического передела 6, расположенных на суше.

### 1. Добычное оборудование

Разработка месторождений ПМК производится с помощью установленного на плавсредстве добычного технологического оборудования, включающего агрегат сбора (АС) — 4 и систему подъема (СП) — 2, (см. рис. 1).

Производительность единичного ПДК в настоящее время оценивается в 1,5 млн т влажных конкреций в год (предприятия — до 4 млн т/год). ПМК залегают на поверхности морского дна в основном в один слой со средней плотностью 10 кг/м<sup>2</sup> в слабых донных осадках (жидкотекучие грунты с несущей способностью в пределах 7 кПа) на глубинах 5–7 км [1].

Для обеспечения принятой производительности ПДК за год должен отработать площадь морского дна  $\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{10} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ м}^2$ , а с учетом ожидаемых потерь ПМК при выемке (25–30%) эта площадь соответственно должна быть увеличена в 1,25 ÷ 1,3 раза.

Система будущей разработки подводного забоя должна обеспечивать не только эксплуатационную производительность, но и требования экологической безопасности, связанные с сопутствующим процессу отработки забоя взмучиванием донных осадков и изменением рельефа дна.

Ограничивающими внешними факторами в данном случае могут являться: поле распределения скорости придонного течения (потока) и его направление, что определяет направление сноса вмещающих конкреции осадков из зоны забоя (естественно, желательно, чтобы они относились в выработанное пространство); гидродинамическое сопротивление среды (ограничивает скорость перемещения АС по дну); наличие кинематической и технологической связи между АС и последующей транспортной системой (ограничивает маневренность АС в забое) и т.п.

В общем случае производительность добычного оборудования единичного ПДК определяется зависимостью

$$Q_{до} = Q_{техн} P I_p,$$

где  $Q_{техн}$  — техническая производительность, т/сутки;  $p$  — вероятность сохранения  $Q_{техн}$  в рассматриваемом промежутке времени;  $t_p$  — время непосредственной работы ПДК в течение года, сут.

Реально достижимая  $Q_{до}$  в условиях конкретного добычного участка — главный показатель, определяющий основную эксплуатационную характеристику ПДК в целом.

Система будущей разработки подводного забоя должна:

- обеспечивать с минимальными потерями обработку значительной площади морского дна;
- обладать высокими показателями надежности с учетом минимальной возможности проведения технического обслуживания на морском дне;
- обеспечивать экологические ограничения, определенные правилами Международного органа по морскому дну (МОМД) при проведении добычных работ.

Видимо, не требуется особых доказательств того, что создать такой комплекс, не располагая соответствующими ресурсами и новейшими технологиями, практически невозможно. Следует также учитывать, что:

прошлого опыта создания и эксплуатации горного оборудования для рассматриваемых горно-технических условий нет, что, естественно, усугубляет ситуацию;

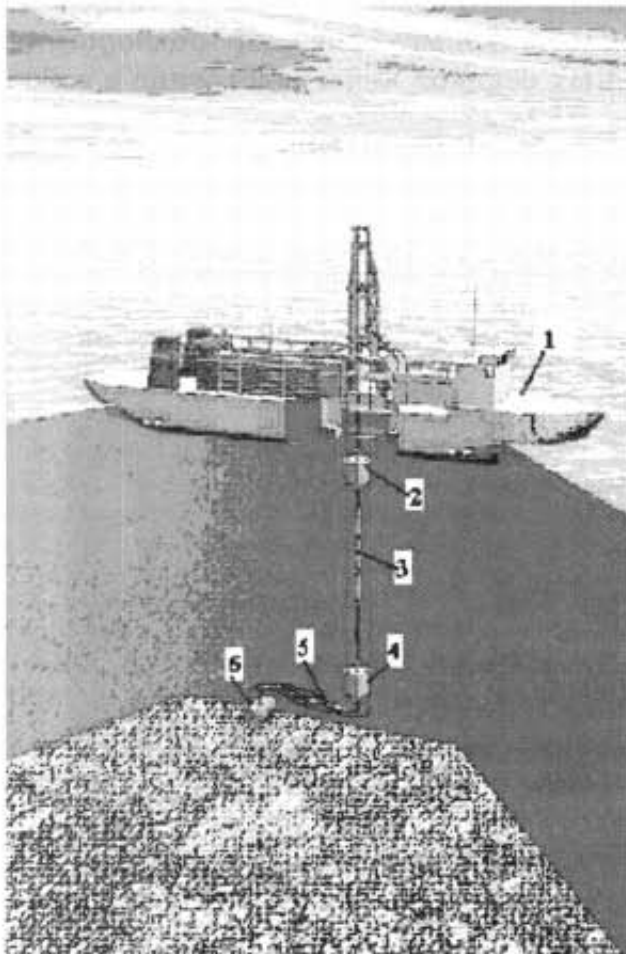


Рис. 2. Система сбора и подъема конкреций

состояние знаний (научно-технического потенциала) в данной сфере деятельности объективно оценить весьма сложно, т.к. страны-разработчики практически закрывают всю техническую информацию по новым технологиям.

Предложен целый ряд альтернативных вариантов как АС (от автономных до жестко связанных с плавсредством через систему подъема) так и СП (гидротранспорт, ковшовая цепи, скипы и т.п.) [1]. Наиболее перспективной на данном этапе представляется конструктивно-кинематическая схема добычного технологического оборудования с автономным АС (6, рис. 2), гибкой связью 5, гидротранспортной системой подъема СП 2-4, базирующейся на плавсредстве 1.

По своему назначению, сложности создания и эксплуатации — это наиболее ответственный и

наименее подготовленный к промышленной эксплуатации (несмотря на многочисленные предложенные варианты) комплекс оборудования.

На наш взгляд создание АС для отработки донного забоя с учетом перечисленных выше основных ограничений - задача не только сложная в постановке, но и комплексная, требующая одновременного рассмотрения взаимоувязанных в едином технологическом процессе операций, проведения сопутствующих исследований, включая постановку эксперимента в условиях, тах, приближенных к промышленной эксплуатации.

Предварительный анализ параметров АС, проведенный в ИГТМ НАН Украины и НГУ показывает, что прогнозируемую производительность единичного ПДК возможно обеспечить минимум при двух агрегатах сбора, работающих на общую гидротранспортную систему.

В качестве одной из перспективных схем представляется конструкция АС с подборщиком конкреций в виде наклонного вибрационного лотка, имеющего возможность изменять глубину погружения в донные осадки. Конструкция такого АС предложена ИГТМ НАН Украины с участием НИПИокеанмаш и НГУ (рис. 3).

Отличительной особенностью данного типа АС является: простота конструкции, технологичность ее изготовления, высокая ремонтпригодность, отсутствие традиционных цепных, винтовых, карданных, ременных и ленточных трансмиссий, при работе которых проявляются интенсивный износ, вытяжка и низкая надежность. Применение виброподборщика позволяет: снизить взмучивание донных осадков непосредственно в забое

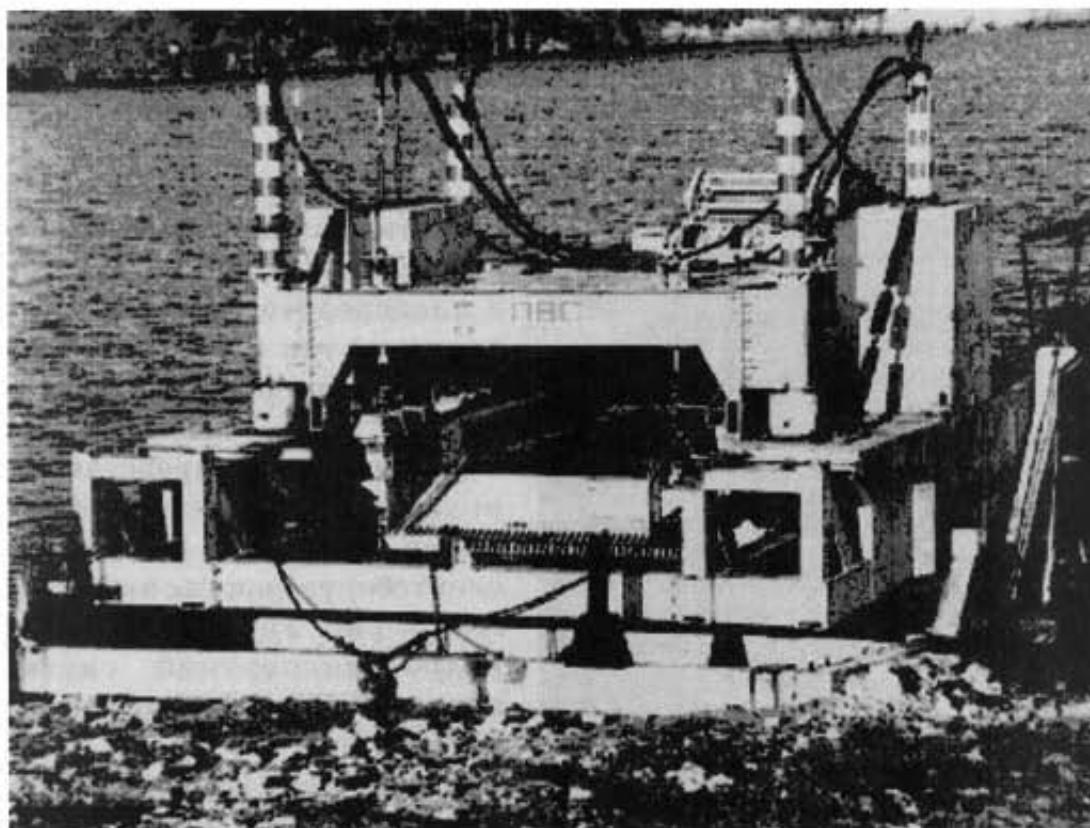


Рис. 3. Экспериментальный образец агрегата сбора конкреций

за счет локализации отделяемых илов в придонной области; преодолевать препятствия высотой до 0,3 м, выступающие над слоем донного ила; расширить полосу сбора конкреций при незначительных энергетических затратах привода; уменьшить механическое и гидравлическое сопротивление движению подборщика за счет вибрационного взаимодействия рабочего органа с донными отложениями и уменьшения габаритов по высоте. Экспериментальный образец устройства сбора с таким подборщиком был изготовлен и испытан в ИГТМ НАН Украины и на полигоне института НИПИОкеанмаш. Получены положительные данные о его работе.

Следующим важным и достаточно сложным звеном в технологическом оборудовании при добыче ПМК является система трубопроводного транспорта. Вопросы внешней и внутренней гидромеханики трубопровода при исследовании движения трехфазных смесей с учетом воздействия морских течений достаточно предметно рассмотрены в работах ученых НГУ [4]. Необходимо учитывать, что рассмотренные звенья добычной системы (АС и СП) достаточно жестко взаимосвязаны в технологическом плане. Конструктивно-технологические параметры добычного оборудования, включающего АС, гибкую связь, транспортную систему нельзя рассматривать изолированно от маневренности плавсредства и возможностей системы управления, от технологических схем обработки подводного забоя (выемочных единиц в целом), от экологических ограничений и ряда других параметров. Поэтому выбору рациональных конструктивно-технологических параметров должны предшествовать серьезные научные исследования.

## 2. Обогащительное оборудование

ПДК представляет собой энергонасыщенный комплекс ограниченных параметров. Учитывая ограниченность площадей и энергопотребления, оборудование для переработки полезного ископаемого производительностью 300—500 т/час по исходному продукту должно быть максимально энергетически экономичным и малогабаритным (модульного исполнения). С этой

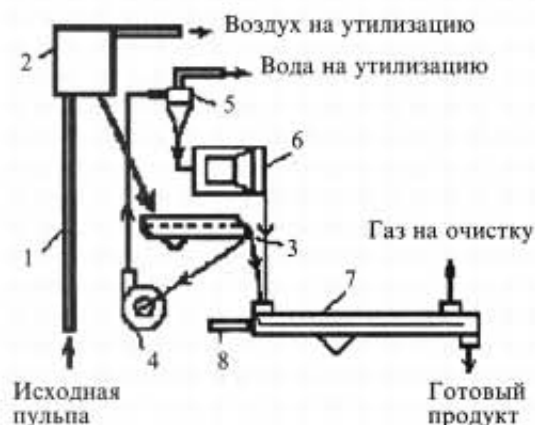


Рис. 4. Схема подготовки материала к транспортированию

точки зрения рациональна технологическая схема (рис. 4), предусматривающая после отделения исходной пульпы, поступающей по транспортному трубопроводу 1 от воздуха в устройстве 2, выделение твердого продукта на грохотах 3 со сложным движением рабочей поверхности, слабо чувствительных к качке судна). Одновременно на этих грохотах выделяются остатки ила в подрешетный продукт. Поскольку в настоящее время сведения о степени измельчения конкреций в процессе их транс-

портирования по длинному трубопроводу предварительные, возможно, придется в технологической схеме предусмотреть сгущение подрешетного продукта в гидроциклонах с выделением ценного компонента. На этой операции могут эффективно работать гидроциклоны 5 и песковые насосы 4 конструкции института Гипромашобогатение (г. Днепропетровск). Дальнейшее обезвоживание материала после сгущения в гидроциклонах эффективно может быть осуществлено в пульсирующих центрифугах 6 конструкции института Гипромашуглеобогатение (г. Луганск). Отдельные системы, которые могут включать процессы сушки и затаривания (напр., утилизация воды и воздуха), требуют дополнительных исследований. Из существующих конструкций сушильных аппаратов наиболее компактной, экономичной и экологически щадящей является вибрационная сушильная установка конструкции Национального горного университета (г. Днепропетровск), состоящая из вибрационного конвейера 7 закрытого типа, имеющего перфорированную перегородку, и теплогенератора 8. Экономичность установки обеспечивается тем, что процесс сушки в ней осуществляется как за счет нагрева при контакте с горячей рабочей поверхностью, так и за счет омыwania продукта горячими газами при прохождении их сквозь слой виброкипящего материала. В то же время следует отметить, что набор перечисленных технологий и технических средств зависит от требований, предъявляемых к сырью, загружаемому в транспортные суда, которые еще предстоит разработать.

**3. Комплекс предприятий по переработке и металлургическому переделу ПМК** в сегодняшнем представлении включает в себя обогатительную фабрику и металлургические предприятия. Учитывая сложный многокомпонентный состав ПМК, механические способы передела и обогащения могут быть применены только для предварительного разделения минералов. Процесс получения металлов в этом случае проводится с использованием гидро- и (или) пирометаллургических способов. Работы в этом направлении проводятся в Национальной металлургической академии Украины (г. Днепропетровск) [2].

Изложенный материал свидетельствует о сложности проблемы технического оснащения морского горно-металлургического комплекса, необходимости научного и технического обеспечения разработок, формирования новых идей. Кооперация и международное сотрудничество в рамках совместных проектов может стать основой для получения реальных результатов.

1. *Железомарганцевые конкреции Индийского океана* /Е.Ф. Шнюков, Г.Н. Орловский, С.А. Клещенко, В.П. Резник, А.П. Зиборов, А.А. Щипцов.— К.: ОМГОР НАНУ, 2001.— 329 с.

2. *Зиборов А.П., Нефедов Ю.А. На пути к рудным богатствам...Мирового океана // Украина, Металл. Бюллетень, 2005.— № 2 (92).— С. 68–73.*

3. *Кругляков В.В. Экологические проблемы освоения железомарганцевых конкреций океанических котловин и задачи исследований // II Международная конференция и выставка по разработке новых технических средств и технологий для работ на шельфе и в Мировом океане. Тезисы. Геленджик, НИПИокеангеофизика, 2001.— С. 329–332.*

4. Франчук В.П., Кириченко Е.А., Зиборов А.П. Исследования напряженно-деформированного состояния транспортного трубопровода гидроподъема // Геотехническая механика. Межвед. сборник научных трудов. ИГТМ НАН Украины, 1999. — Вып. 13. — С. 57–65.

5. *The Proceedings of The Fourth (2001) ISOPE OCEAN MINING SYMPOSIUM*, Szczecin, Poland, 2001. — 189 с.

Подано склад устаткування для підводного видобування, транспортування і збагачення поліметалічних конкрецій. Наведені результати попередніх випробувань деяких видів устаткування. Окреслені проблеми та задачі, що потребують вирішення при створенні гірничо-металургійного комплексу.

Composition of equipment for submarine booty, transportation and concentration of polymetallic nodules is submitted. The results of preliminary tests of some types of equipment are given. Problems and tasks demanding solution when creating a marine mining-and-metallurgical complex are projected.

УДК 621.785:552.124

Ю.А. Нефедов<sup>1</sup>, Л.И. Анелок<sup>1</sup>, С.Н. Килессо<sup>1</sup>, Е.В. Крюков<sup>1</sup>

## ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ОКЕАНИЧЕСКИХ КОНКРЕЦИЙ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ

*Исследованы и экспериментально опробованы процессы подготовки железомарганцевых конкреций (ЖМК) к плавке агломерацией, брикетированием, окомкованием и восстановительным обжигом.*

*Установлена низкая спекаемость аглошихт из ЖМК при агломерации их по известным технологическим схемам. Для окускования мелких фракций ЖМК (5–0 мм) целесообразно применять брикетирование при давлении 0,25–0,5 т/см<sup>2</sup>, а для пылеватых фракций (<250 мкм) — окомкование увлажненных шихт (28–32% H<sub>2</sub>O) с последующим обжигом брикетов и окатышей при 850–900 °С. Показана принципиальная возможность получения металлизированного огарка в процессе восстановительного обжига конкреций при 850–900 °С.*

В настоящей статье приведены результаты экспериментального опробования подготовки железомарганцевых конкреций (ЖМК) к плавке агломерацией, брикетированием, окомкованием и восстановительным обжигом.

Исследования проводили на усредненной пробе ЖМК, содержащей (в %): 25,6 Mn, 4,50 Fe; 1,30 Cu; 1,54 Ni; 0,21 Co; 0,17Pb; 0,12 Zn; 7,39 CaO; 2,43 MgO; 10,65 SiO<sub>2</sub>; 4,66 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,50 TiO<sub>2</sub>; 2,57 Na<sub>2</sub>O; 1,14 K<sub>2</sub>O; 0,24 C; 0,14 P; 0,003 S; 4,6 H<sub>2</sub>O; 20,1 П.П.П.

© Ю.А. Нефедов<sup>1</sup>, Л.И. Анелок<sup>1</sup>, С.Н. Килессо<sup>1</sup>, Е.В. Крюков<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.