

УДК 622.271.63

В.Ю. Кухарь¹, Е.С. Запара¹, А.П. Зиборов¹

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И НЕСВЯЗНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ПРОЦЕСС ПОДДОННОЙ ДОБЫЧИ

Экспериментально исследовано влияние физико-механических свойств вмещающих пород и несвязных полезных ископаемых на процессы поддонной добычи методом воронок с использованием эжекторного рабочего органа.

Строительные пески являются одним из важнейших видов полезных ископаемых шельфа Черного моря, где их геология и ресурсы достаточно хорошо изучены. Большой интерес в пределах этого региона представляют скрытые захороненные аккумулятивные формы — мощные толщи строительных, в ряде случаев чистых кварцевых песков под слоем покрывающих пород. Весьма возможно, что в будущем эти пески смогут составить важную сырьевую базу строительных материалов.

Проблема их освоения связана с созданием экологически щадящих технологий, в т.ч. и для захороненных месторождений, и разработкой для этих условий технических средств.

Подводные морские и пресноводные месторождения несвязных полезных ископаемых (кварцевый и кальциевый песок, россыпи, гравий) могут иметь вид как достаточно протяженных в горизонтальной плоскости массивов, так и локальных образований — линз. Слой несвязного полезного ископаемого (НПИ) месторождения любого типа ограничен породами с иными физико-механическими свойствами. Как правило, такие грунты не представляют коммерческой ценности, их извлечение обусловлено необходимостью вскрытия продуктивного слоя. Эти грунты по сложившейся в горном деле терминологии относятся к вмещающим породам. Слой вмещающей породы, подстилающий полезное ископаемое, носит название плотик, слой вмещающей породы, покрывающий полезное ископаемое, носит название кровля (в геологии россыпей — торфа). Наличие плотика для массива несвязного полезного ископаемого обязательно, кровля может отсутствовать [1, 2, 3, 6, 7].

Рассмотрим основные физико-механические свойства вмещающих пород и их влияние на процесс добычи НПИ и конструкцию грунтозаборного устройства.

Плотик по сравнению с НПИ имеет равную или большую плотность скелета грунта, большую плотность сложения, удельное сцепление и раз-

© В.Ю. Кухарь¹, Е.С. Запара¹, А.П. Зиборов¹:

¹ Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина.

мывающую скорость, меньший коэффициент фильтрации [3]. Породы плотика могут быть глинистыми (глина, суглинок, плотные илы), грубозернистыми (ракуша, раковинный детрит, гравий), реже скальными. Граница между плотиком и НПИ может быть как четкая, так и смазанная с постепенным насыщением НПИ пустой породой.

Влияние подстилающих пород на процесс добычи НПИ и конструкцию грунтозаборного устройства связано с определением его предельной глубины заглубления. По данным геологоразведки разрабатываемого месторождения, заглубление грунтозаборного устройства в массив НПИ прекращают при достижении плотика или на расчетном расстоянии от него. В последнем случае оставляют целик НПИ, его мощность определяется из условия предотвращения разубоживания добываемого НПИ породами плотика.

Кровлю в зависимости от физико-механических свойств и ее поведения при отработке поддонного забоя условно можно разделить на три типа: устойчивую (прочную), пластичную (вязкопластичную, вязкую) и текучую.

Устойчивая кровля представлена сцементированными породами, имеющими прочные связи между частицами. Примерами пород устойчивой кровли являются ракушняк, сцементированная ракуша или раковинный детрит, слежавшиеся глины, илы техногенного генезиса с высоким содержанием нефтепродуктов. Устойчивая кровля допускает обнажение своей подошвы на значительных площадях и сохраняет ненарушенную структуру длительное время ($\sim 10^4$ – 10^5 с) после этого. Породы устойчивой кровли имеют соизмеримую с НПИ плотность скелета грунта, большие удельное сцепление и размывающую скорость, значительно меньший коэффициент фильтрации (табл. 3), плохо поддаются гидроразмыву. Породы устойчивой кровли, как правило, изотропны по мощности пласта.

Таблица 1

Основные физико-механические свойства подводных НПИ и вмещающих пород [1, 2, 3, 6]

Наименование породы	Средний диаметр частиц, мм	Плотность скелета грунта, г/см ³	Пористость, %	Сцепление в обводненном состоянии, кг/м ²	Гидравлическая крупность, м/с	Коэффициент фильтрации, см/с
Песок кварцевый:						
	крупнозернистый	2,0–1,0	35–40	50	$100 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-1}$
	среднезернистый	1,0–0,5	2,5–2,7	38–42	$53 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$
мелкозернистый	0,5–0,1		40–45	50	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$
Глина	0,005–0,001	2,0–2,7	40–55	1000	$7 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Суглинок	0,003	2,0–2,3	35–50	500	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-5}$
Ил плотный	0,05	2,0–2,2	40–50	500	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$
Ил рыхлый	0,01	2,0–2,2	45–60	100	$0,07 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$
Раковинный детрит	5,0–0,5	2,1–2,4	35–65	50–150	–	–
Гравий	2,0–20,0	2,1–2,7	33–40	0–20	0,1–0,5	0,5–10
Галька	20,0–50,0	2,1–2,7	35–40	–	0,3–1,5	5–20

Пластичная кровля представлена, в основном, глинистыми грунтами или илами плотного сложения, иногда с включениями ракуши, раковинного детрита, гальки, скальных обломочных включений или песка. Породы пластичной кровли на некоторое время ($\sim 10^3$ – 10^4 с) допускают обнажение своей подошвы с сохранением ненарушенной структуры, после чего происходит их плавное проседание или обрушение в выработанное пространство забоя. Породы имеют по сравнению с НПИ соизмеримую или меньшую плотность скелета грунта, большие удельное сцепление и размывающую скорость, значительно меньший коэффициент фильтрации, поддаются гидроразмыву. Прочностные свойства и размывающая скорость пород пластичной кровли по мощности пласта вглубь увеличиваются, а коэффициент фильтрации уменьшается.

Текучая кровля представлена, в основном, илами неплотного сложения или коллоидными взвесями, в нижних слоях иногда с включениями ракуши, раковинного детрита или песка. Породы текучей кровли при обнажении подошвы теряют свою структуру и перемещаются в выработанное пространство. Породы имеют по сравнению с НПИ меньшую плотность скелета грунта, малое сцепление и размывающую скорость, легко поддаются гидроразмыву. Как правило, текучая кровля постепенно переходят в НПИ без образования четкой границы.

Одним из возможных способов экологически щадящей добычи НПИ из-под кровли является способ воронок [4]. Добыча НПИ из поддонного забоя осуществляется цилиндрическим грунтозаборным устройством в вертикальном положении (способ внедряющегося грунтозаборного устройства). Сущность способа добычи заключается в следующем: работающее грунтозаборное устройство заглубляют на требуемую глубину в добываемое НПИ, при этом часть НПИ, находящаяся непосредственно перед его всасывающим отверстием, разрыхляется за счет гидродинамического и фильтрационного воздействий потока воды и всасывается грунтозаборным устройством. Создание разрежения перед всасывающим отверстием может быть осуществлено различными способами, например, при помощи эжектора. По мере отработки забоя происходит перемещения НПИ и кровли, зависящие от их физико-механических свойств. Выполненные теоретические исследования [5] позволили получить параметр, количественно характеризующий процесс перемещения кровли по мере отработки поддонного забоя. Экспериментальные исследования позволяют более обоснованно продолжить изучение этого сложного процесса.

Процессы всасывания НПИ из поддонного забоя в массиве песка, а также образования вследствие этого выработанного пространства без и при наличии покрывающих пород были изучены визуальным наблюдением в ходе экспериментов на лабораторной установке.

Грунтозаборное устройство заглубляли в массив НПИ и выбирали весь объем, находящийся над всасывающим отверстием. Разрыхление НПИ и создание пульпы, пригодной к гидротранспортированию, осуществляли посредством наклонных водяных струй, истекающих из размывающих форсунок грунтозаборного устройства.

Воздействие размывающей струи на водонаполненное НПИ проявляется двояко. Во-первых, на активном участке струйного потока происходит размыв НПИ за счет гидродинамического воздействия на его частицы, приводящего к их отрыву от массива и взвешиванию в потоке жидкости. Во-вторых, по мере распространения струйного потока происходит преобразование кинетической энергии струи в потенциальную энергию давления с возникновением градиента давления. При этом возникает осесимметричное объемное движение поровой воды НПИ, направленное от струйного потока к его донной поверхности — фильтрационный поток.

Рассмотрим процесс отработки поддонного забоя массива песка без покрывающих пород (рис. 1). При включении систем размыва и всасывания рабочего органа начинался размыв НПИ водяными струями с образованием зоны размыва. Одновременно происходило всасывание образованной при этом водопесковой пульпы. Зона размыва увеличивалась и достигала своих максимальных и установившихся размеров при равновесном балансе воды, поступающей в зону размыва, отсасываемой из нее в составе пульпы и фильтрующейся к донной поверхности НПИ. При этом фильтрационный поток оказывал дополнительное дезинтегрирующее воздействие на слой НПИ, лежащий над всасывающим отверстием рабочего органа, за счет механической суффозии мелких частиц и увеличения при этом пористости НПИ, а также за счет его дополнительного насыщения водой и перевода в плавунное состояние. После извлечения всего объема из образовавшейся зоны размыва НПИ, находящееся над ней, опускалось вниз под действием силы тяжести, дополнительно разрыхлялось, насыщалось водой и отсасывалось. Таким образом, создавался ток НПИ от поверхности дна к всасывающему отверстию рабочего органа.

В зависимости от скорости фильтрационного потока, определяемой балансом расходов воды и твердого в забое, высотой и свойствами слоя НПИ над всасывающим отверстием рабочего органа, углом наклона осей размывающих форсунок, возможно образование замкнутого (рис. 1) и незамкнутого забоя (рис. 2). При незамкнутом забое происходило нарушение целостности слоя НПИ, лежащего над всасывающим отверстием, проявляющееся в виде грифона с выходом его на донную поверхность. Грифон начинался на наиболее удаленной от оси рабочего органа верхней границе зоны размыва и с незначительными динамическими отклонениями вертикально достигал донной поверхности. При этом часть размыва НПИ выносилась на донную поверхность и оседала по бокам от грифона.

Разделим НПИ, расположенный над зоной размыва, на две зоны: движения и покоя (рис. 1). Визуальными наблюдениями установлено, что максимальная скорость тока НПИ в зону размыва обнаруживалась вдоль рабочего органа, минимальная — на границе зон движения и покоя. Внутренняя граница зоны движения расположена под углом естественного откоса для водонасыщенного НПИ (для песка 27° – 35°). Наружная граница наклонена под некоторым углом (для песка 75° – 80°) и продолжается от всасывающего отверстия до поверхности дна. В процессе выемки НПИ внутренняя граница зоны движения плоско-параллельно опускается. После достиже-

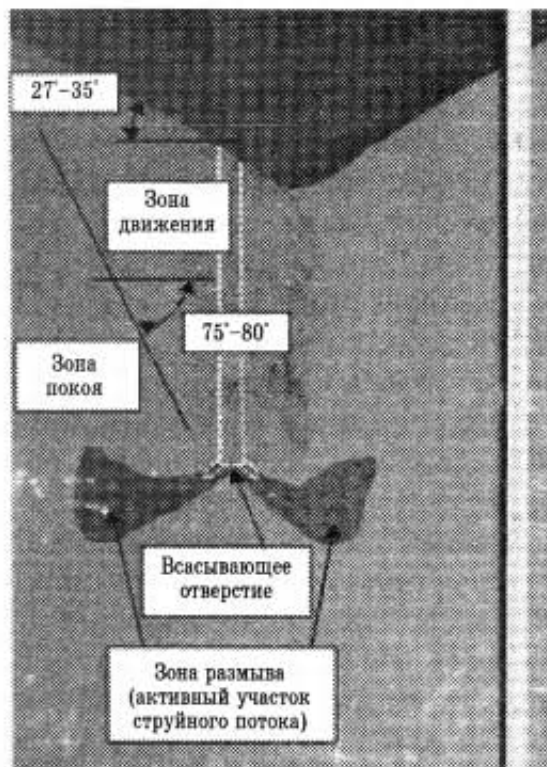


Рис. 1. Замкнутый поддонный забой массива песка без покрывающих пород

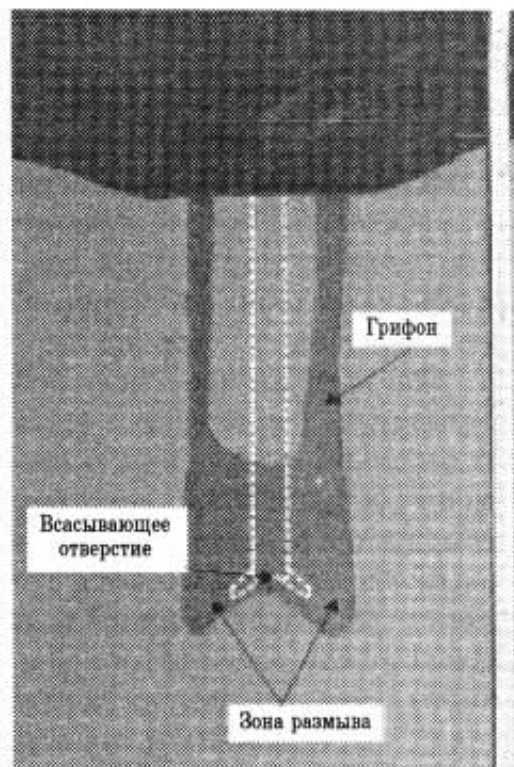


Рис. 2. Незамкнутый поддонный забой массива песка без покрывающих пород

ния вершиной конусообразной воронки, образующей которой является внутренняя граница зоны движения, всасывающего отверстия добыча НПИ с данного установка рабочего органа прекращалась.

Рассмотрим процесс обработки поддонного забоя массива песка с покрывающими породами (ПП). Наличие ПП практически не оказывает влияния на качественную картину обработки забоя. В зависимости от указанных выше параметров также возможно образование замкнутого (рис. 3) и незамкнутого забоев. При подаче в забой избыточного количества размывающей воды происходит чрезмерное насыщение НПИ над всасывающим отверстием водой, его дезинтеграция и, как следствие, локальное увеличение объема НПИ. Это приводит к поднятию НПИ в сторону донной поверхности с одновременным поднятием и разрушением ПП. Образующиеся грифоны прорываются на поверхность через места нарушения ПП. Незначительный избыток размывающей воды приводит к образованию небольших грифонов. Последний в месте своего подхода к границе "НПИ-ПП" образует контактный размыв НПИ вдоль этой границы, направленный к отверстию в ПП, через которое заглублен рабочий орган в НПИ.

Поведение ПП в зависимости от их типа различно по мере обработки забоя и образования воронки. Прочные ПП сохраняют свою ненарушенную структуру до момента, когда напряжения в них, возникающие при обнажении их подошвы, превысят предел прочности, после этого происходит их разрушение по границе обнажения подошвы (рис. 4). Пластичные ПП за время обработки воронки допускают частичное обнажение подошвы при постепенном проседании в отработанное пространство, после чего, как правило, про-

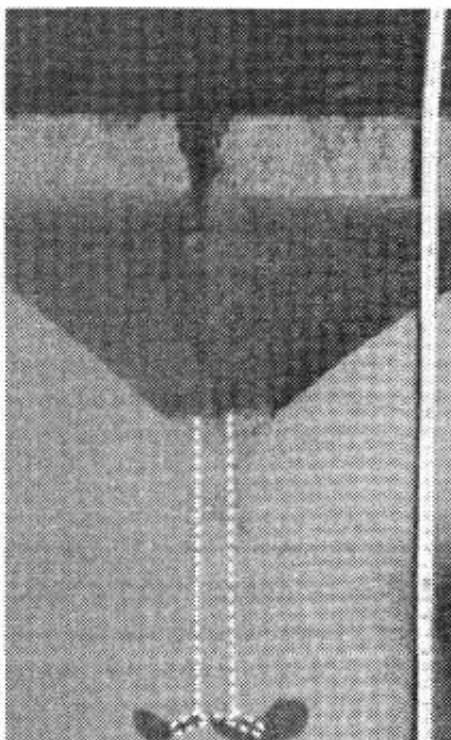


Рис. 3. Замкнутый поддонный забой массива песка с прочными покрывающими породами

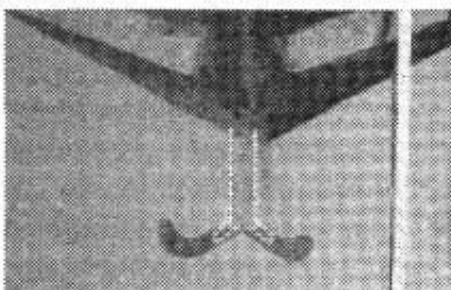


Рис. 4. Обрушение прочных покрывающих пород в выработанный поддонный забой

исходит их разрушение по границе обнажения подошвы. Части обрушившихся ПП перемещаются вместе с песком в сторону вершины воронки и скапливаются в ней. Текущие ПП, имеющие меньший, чем песок, угол естественного откоса, по мере образования воронки стекают к центру воронки, накапливаются там. При этом часть текущих ПП смешивается с песком и всасывается вместе с ним, разубоживая полезное ископаемое. Предотвратить разубоживание песка текущими ПП без потерь НПИ практически невозможно.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить качественную картину поведения несвязного полезного ископаемого в процессе отработки поддонного забоя массива с кровлей, образованной различными типами пород. Полученные сведения могут быть полезны в области гидромеханизации, например, при проектировании грунтозаборных устройств для поддонной добычи песков или при натурной отработке экологически щадящей технологии добычи несвязных полезных ископаемых с возможностью сохранения рельефа донной поверхности.

1. Геология шельфа УССР. Литология \ Под ред. Шнюкова Е.Ф. — Киев, "Наукова думка", 1985. — 193 с.

2. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережье Черного моря) \ Под ред. Шнюкова Е.Ф. — Киев, "Наукова думка", 1984. — 186 с.

3. Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые / Под ред. Шнюкова Е.Ф. — Киев: "Наукова думка", 1983. — 199 с.

4. Добрецов В.Б. Освоение минеральных ресурсов шельфа. Л.: Недра, Ленинградское отделение, 1980. — 273 с.

5. Запара Е.С., Бондаренко А.А. Анализ поведения донных покрывающих пород при выемке подводных россыпных полезных ископаемых \ \ Науковий вісник Національної гірничої академії України. — 2000. — № 2. — С. 22–24.

6. Словарь по геологии россыпей \ Под ред. Шилов Н.А.; Арманд Н.Н., Белоусов В.Д., Быховский Л.З. и др. — М.: Недра, 1985. — 197 с.

7. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря. — Киев: Изд-во НАНУ. — 2004. — 279 с.

Експериментально досліджено вплив фізико-механічних властивостей вміщуваних порід і незв'язних корисних копалин на процеси піддонного видобутку методом вивів із використанням ежекторного робочого органу.

The influence of physical and mechanical properties of enclosing rocks and incoherent mineral resources on the processes of a subbottom mining by funnels method with usage of an ejector end-effector has been investigated experimentally.