

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОДВОДНЫХ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

Для разработки глубоководных грунтов предложено множество конструктивных схем машин, учитывающих специфику условий разработки, однако до стадии макетных или модельных испытаний доведены немногие из вариантов. Во всех проведенных испытаниях, в первую очередь, рассматривался вопрос принципиальной работоспособности и производительности глубоководных грунторазрабатывающих машин. Целью настоящей статьи является выбор на основании результатов известных исследований наиболее эффективного способа разработки и типа рабочего оборудования для выемки железомарганцевых конкреций с морского дна.

На начальном этапе работ по созданию глубоководных грунторазрабатывающих машин наибольшее внимание уделялось машинам с гидравлическим типом рабочего оборудования. Это связано с возможностью унификации гидроустановок, используемых для разработки и транспортирования материала. К исследованиям глубоководных землеройных машин с гидравлическим оборудованием относятся испытания, проведенные ВИМС совместно с ЦНИИС, в которых была доказана работоспособность машины, но выводы об эффективности этого типа оборудования не сделаны.

При исследованиях в Рижском заливе на судне «Шельф-1» оценивалась разрабатываемость донных грунтов, содержащих конкреции. Задачей исследования было сопоставление энергоемкости механического и гидравлического способов разработки. Энергоемкость механического способа определяли при помощи портативного прибора резания на донных пробах, поднятых коробчатым пробоотборником, а гидравлического способа – при помощи размывающего автономного пробоотборника конструкции ВИМС. Энергоемкость гидравлического способа определяли по количеству собранных конкреций в зависимости от крутящего момента на крыльчатке размывателя. Исследования показали, что энергоемкость размывающего способа разработки ускоренно возрастает с увеличением плотности залегания конкреций [1].

В связи с высокой энергоемкостью гидравлического способа разработки глубоководных грунтов наметилась переориентация исследований на механические типы землеройных машин. К исследованиям оборудования механического типа относятся испытания рабочего органа барабанного типа, проведенные ВИМС совместно с ЦНИИС. Начатые в НИПИрудмаше исследования глубоководных землеройных машин с цепными рабочими органами прекращены незавершенными. Проведенные совместно с КНУСА постановочные опыты на модели ковша конструкции НИПИрудмаша со сплошной кромкой показали неэффективность цепных рабочих органов. При следовании по своей траектории ковш терял до 60 % встреченных конкреций.

Исследование работы ковшей роторного рабочего органа конструкции ВНИПИОкеанмаш также проводились на модели 1:5. Как было установлено, сплошная режущая кромка ковша способствует забору большого количества пустого грунта (рис. 1). Кроме того, при выходе из забоя ковш терял до 40 % конкреций. Таким образом, использование рабочих органов со сплошной режущей кромкой приводит к забору пустого грунта и потерям конкреций.

Альтернативой сплошной режущей кромке являются рабочие органы, выполненные в виде параллельных (прямых или С-образных) пластин и штырей (а.с. № 1041643, патенты США № 3556598, 4311342, патенты Франции № 2234428, 2431576 и др.). Использование таких рабочих органов, получивших название «селективные»,

обусловлено предположением о том, что узкие режущие элементы позволят добиться режима разрезания, уменьшив тем самым выемку пустого грунта.

В работе Н.Д.Курлаева установлены соотношения между скоростью вращения ротора, скоростью продольного перемещения машины и диаметром ротора, обеспечивающих его работу без просоров за счет перекрытия забоев ковшей [2]. Измерение общей энергоемкости процесса разработки позволило сделать вывод о том, что основные энергозатраты возникают при взаимодействии рабочего органа с грунтом. Параметры селективного рабочего органа не исследовались, поэтому существенного снижения выемки пустого грунта и рабочей нагрузки достигнуто не было. При испытании макета роторной глубоководной землеройной машины получено значение рабочей нагрузки ($P = 1800 \dots 2100$ Н), по которой определен коэффициент копания ($k' =$



Рис. 1. Ковш со сплошной режущей кромкой (выход из забоя)

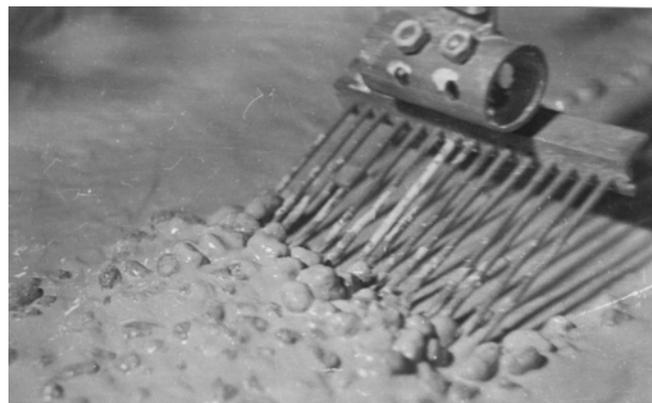


Рис. 2. Призма конкреций перед моделью

$0,033 \dots 0,038$ МПа) для известной формулы Н.Г.Домбровского [3].

Для эффективной работы селективного рабочего органа, каждый из режущих элементов должен отделять от массива минимальный объем грунта. В некоторых типах землеройных машин, например, кабелеукладчиках, используется способ разработки с минимальным отделением грунта от массива [4]. Необходимо определить, в какой мере результаты исследований этих типов машин могут быть использованы для условий разработки глубоководных грунтов.

Щелевое резание отличается от обычного отсутствием боковых расширений прорези, чем уменьшается объем отделяемого грунта. Опыты на каолинах показали, что сила резания зависит от глубины резания линейно; начиная с 1...2 см, глубина начальной прорези на силу резания влияния не оказывает. Возможно, эффект отсутствия боковых расширений обусловлен тем, что раскрытие трещины происходит к ближайшей открытой поверхности. Такой же эффект, вероятно, может существовать и при резании глубоководных грунтов. Но исключением боковых расширений прорези задача снижения выемки грунта в полной мере не решается.

Из опытов Ю.А.Ветрова следует, что при заблокированном резании на одинаковой глубине уменьшение ширины ножа до определенного предела не изменяет боковых расширений прорези, однако при дальнейшем уменьшении ширины ножа линейные размеры боковых расширений начинают пропорционально уменьшаться [5]. В опытах же с ножами одинаковой ширины увеличение глубины резания до некоторого предела размеры боковых расширений прорези возрастают пропорционально, после чего их рост прекращается. Для каждой ширины ножа существует определенное значение критической глубины резания, начиная с которого размеры боковых расширений прорези не зависят от глубины резания.

В исследованиях А.Ю.Вольтерса и И.А.Шемета, проведенных на парафине, установлено, что отделенный при закритическом резании элемент грунта имеет вид

усеченного конуса, а прорезь имеет характерные особенности: в боковых частях и на дне наблюдаются уплотненный грунт, что свидетельствует о частичном вдавливании грунта в массив [6].

Можно предположить, что при уменьшении ширины режущих элементов, начиная с некоторого значения, боковые расширения прорези исчезнут и грунт будет полностью вдавливаться в стенки прорези. Опыты Е.Динглингера показывают, что процесс раздвигания (или разрезания) грунта существует. Но во всех его опытах наблюдались боковые расширения прорези: в верхней части прорези, на глубине меньше критической, нож отделял стружку, а на большей глубине – действовал как разрезающий.

Все описанные исследования проводились либо на конкретных сухопутных грунтах, либо на моделирующем грунт парафине. В то же время обобщающего объяснения явления критической глубины резания, которое позволило бы распространить установленные закономерности на все типы грунтов, к сожалению, не выработано. Таким образом, известные закономерности, установленные для грунтов суши, не могут быть использованы для установления параметров селективных рабочих органов. Для решения этой задачи необходимо установить зависимости выемки грунта от параметров рабочих органов, предназначенных специально для глубоководных грунтов.

Как сказано выше, основной целью разработки глубоководных грунтов является извлечение конкреций. При этом необходимо установить, какое влияние оказывает присутствие гранулированных включений на рабочий процесс. Для исследования взаимодействия рабочих органов с конкрециями проведен постановочный эксперимент. Опыты проводились на упрощенных моделях селективных рабочих органов в грунтовом канале КНУСА. Вмещающий грунт моделировали суспензией спондиловой глины влажностью $W = 100...100\%$. В качестве моделей конкреций использовали гранулы керамзита диаметром $\varnothing 10...12$ мм, плотность которого на воздухе $\rho = 1,4$ кг/м³. Плотность залегания конкреций по площади варьировали шагом раскладки гранул.

При проведении опытов на ячейке селективного отвала было отмечено, что конкреции собираются перед рабочим органом в виде пологой призмы (рис. 2). Форма призмы зависит от угла наклона отвала. При угле наклона 30° призма конкреций имеет больший вертикальный и меньший продольный размеры по сравнению с призмой, образующейся перед отвалом с углом наклона 75° . По результатам постановочного эксперимента можно сделать вывод о неработоспособности рабочих органов пассивного действия, использующих в качестве рабочего органа прямой отвал (а.с. № 1041643, патент Франции № 2234428). Призма конкреций не может пассивно подниматься по наклонному отвалу, так как не находит в донном грунте достаточного отпора.

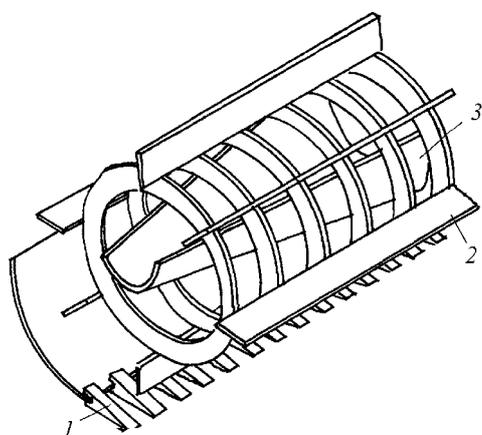


Рис. 3. Селективный рабочий орган с принудительной отгрузкой конкреций из рабочей зоны (патент США № 3556598): 1 – селективный отвал; 2 – барабанный питатель; 3 – лоток

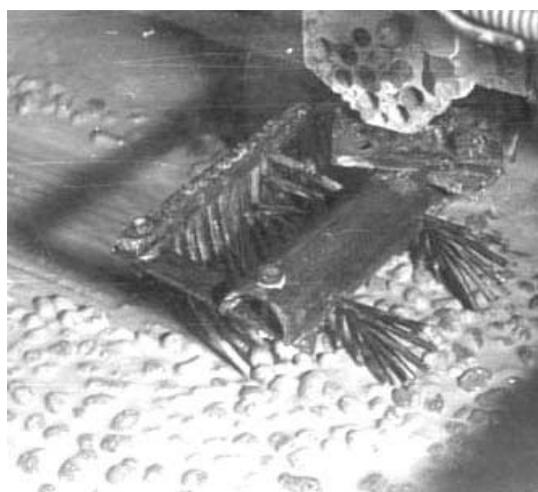


Рис. 4. Модель ячейки шнека

Для пассивного подъема конкреций по наклонному отвалу перед рабочим органом должна развиваться призма больших размеров, обеспечивающая достаточный для подъема конкреций отпор. Поэтому более перспективными считаются селективные рабочие органы с принудительной отгрузкой конкреций с собирающего отвала. Примером таких глубоководных землеройных машин могут служить конструкции (патенты США № 3947980, 3556598, 3480326), включающие прямой отвал совместно с барабанным (рис. 3), скребковым или шнековым питателем.

Работу шнекового питателя можно представить как передвижение ячейки шнека, заключенной между лопастями, вдоль его оси. Совмещение движения вдоль оси шнека и продольного перемещения грунтообрабатывающей машины можно представить как разворот ячейки по отношению к ее траектории. Исходя из этих представлений, в постановочном эксперименте проводились опыты на модели ячейки шнека (рис. 4), развернутой к траектории движения под различными углами. Перед отвалом и лопастью шнека развивалась призма конкреций. В пределах хода ячейки, что соответствует моделируемой длине шнека, призма не выходила за ее пределы. Это является косвенным подтверждением работоспособности шнекового питателя при сборе конкреций.

В экспериментах с моделью селективного отвала производили измерение касательной составляющей силы сопротивления передвижению, которую регистрировали при помощи тензоусилителя и осциллографа [7]. Из приведенных на рис. 5 осциллограмм видно, что полная сила сопротивления состоит из двух составляющих – силы сопротивления грунта и силы сопротивления перемещению призмы конкреций. Сила сопротивления грунта P является постоянной, а сопротивления перемещению призмы $P_{\text{доп}}$ зависит от количества собранных конкреций n по ходу движения: $P_{\Sigma} = P + P_{\text{доп}}$.

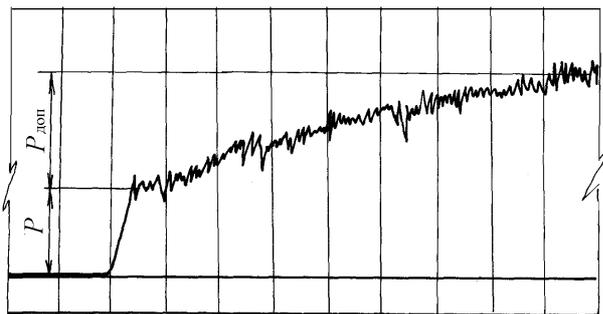


Рис. 5. Осциллограммы сопротивления передвижению модели рабочего органа

При принудительной отгрузке количество конкреций перед собирающим селективным отвалом зависит от производительности отгружающего питателя. Таким образом, снижение сопротивления перемещению призмы конкреций можно достичь за счет подбора соответствующих режимов работы питателя, например, скорости вращения ротора. В этом случае основную нагрузку на рабочий орган будут создавать силы сопротивления грунта.

Из приведенного анализа следует, что для установления рациональных параметров рабочих органов агрегатов сбора, добывающих железомарганцевые конкреции с океанического дна, необходимо исследовать геометрические и кинематические параметры взаимодействия селективных рабочих органов с вмещающим илистым грунтом.

Литература

1. Натурные исследования сопротивления резанию и параметров гидроразмыва донных осадков, вмещающих конкреции // М.К.Сукач; КИСИ.– Киев, 1993.– 17 с.– Рус.– Деп. в ГНТБ Украины 30.06.93, № 1310-Ук 93.
2. Большаков В.Ф., Курлаев Н.Д. Моделирование технологических процессов выемки конкреций // Технология и технические средства гидромеханизированной добычи полезных ископаемых: Сб. науч. тр.– М.: МГИ, 1984.– С.96-102.
3. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины.– М.: Высш. шк., 1985.– 224 с.

4. Баладінський В.Л., Сукач М.К. Подводные строительные работы: Учеб. пособ. для вузов.– К.: ИСМО, 1999.– 224 с.
5. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами.– М.: Машиностроение, 1971.– 357 с.
6. Вольтерс А.Ю., Шемет И.А. Особенности закритического резания грунта: Респ. межвед. науч.-техн. сб.– К.: КИСИ, 1986.– Вип. 39.– С.59-62.
7. Сукач М.К. Модельные испытания агрегата сбора глубоководных ископаемых // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. “Проблемы механики горно-металлургического комплекса”.– Сб. науч. тр. НГАУ.– № 13.– Т. 3.– Днепропетровск: НГУ.– 2002.– С. 112-116.

УДК 622.647.4

А.П. Дворніченко КДТУ, Кіровоград,
М.К. Сукач, д-р техн. наук, професор КНУБА

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО КІЛЬЦЕВОГО БУРА

Для визначення оптимального режиму роботи шнекового кільцевого бура та його раціональних параметрів необхідно вибрати критерій оптимізації. Критеріями, що оцінюють режим роботи та конструкцію бура, є максимальна продуктивність утворення свердловини; мінімальна вартість робочого органа; максимальне значення швидкості подачі та частоти його обертання; мінімальне осьове зусилля та обертовий момент; діапазон розроблюваних робочим органом ґрунтів та порід; надійність та довговічність шнекового кільцевого робочого органа; мінімальна металоємність; мінімальні витрати енергії на розробку свердловини; мінімальна вартість утворення свердловини та ін.

1. Оптимізувати режим роботи та конструкцію робочого органа за всіма переліченими критеріями неможливо, оскільки не всі вони мають екстремум в межах зміни режиму роботи та конструктивних параметрів (наприклад довговічність, надійність). Крім того, режим роботи і конструктивні параметри, вибрані за одним із критеріїв, можуть не відповідати іншим критеріям або знаходиться в інших діапазонах. Тому для оптимізації робочих і конструктивних параметрів кільцевого бура приймають узагальнений економічний критерій – *питомі зведені витрати* [1], тобто витрати, що припадають на розробку 1 м³ свердловини, грн/м³:

$$Z_{п.зв} = C_{п} + KE_{н}/A,$$

де $C_{п}$ – вартість розробки 1 м³ ґрунту свердловини, грн/м³; K – загальний об'єм капіталовкладень або балансово-розрахункова вартість машини, грн.; A – річний об'єм розроблюваних машиною свердловин, м³; $E_{н}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень. Значення величин K , A , та $E_{н}$ у формулі зведених питомих витрат не залежать від конструктивних параметрів та режиму роботи виконавчого бура.

Вартість розробки 1 м³ ґрунту свердловини знаходимо за наступною залежністю, грн/м³:

$$C_{п} = (C_{од} + G + C_3 + C_p)/A + C_{пм},$$

де $C_{од}$ – одноразові витрати, грн.; G – річна норма амортизаційних відрахувань, грн.; C_3 – зарплата обслуговуючого персоналу, грн.; C_p – вартість ремонтних робіт; грн.; $C_{пм}$ – вартість паливно-мастильних матеріалів, що припадають на розробку 1 м³ свердловини, грн/м³.

Всі величини у формулі для розрахунку $C_{п}$ за виключенням $C_{пм}$ не пов'язані з конструкцією та режимом роботи шнекового кільцевого робочого органа. Вибір