

**МОДЕЛЬ ЗАПОЛНЕНИЯ КОВША ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛАБЫХ
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ**

Тарас Шепель

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
49005, просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, E-mail: sarat.dp@mail.ru*

**BUCKET CROWDING MODEL APPLIED TO THE SOFT WATERLOGGED
GROUNDS MINING**

Taras Shepel

*State Higher Education Institution "National Mining University",
49005, Karla Marksa, 19, Dnepropetrovsk, Ukraine*

АНОТАЦІЯ. Розглянуто процес заповнення виконавчого органа ківшового типу при розробці слабких водонасичених ґрунтів. Визначено умови просування зрізаного шару ґрунту в середину ковша. Введено поняття стану граничного заповнення ковша та граничних параметрів заповнення. Розроблена математична модель процесу заповнення, що дозволяє визначити граничну висоту і довжину ґрунтового кома в ковш,; яка враховує параметри робочого органа, параметри процесу різання та фізико-механічні властивості розроблюваного ґрунту.

Ключові слова: ківш, заповнення, підводна розробка, копання, модель заповнення, водонасичений ґрунт.

АННОТАЦИЯ. Рассмотрен процесс заполнения исполнительного органа ковшового типа при разработке слабких водонасыщенных грунтов. Определены условия продвижения срезаемого пласта в ковш. Введено понятие состояния предельного заполнения ковша и предельных параметров заполнения. Разработана математическая модель процесса заполнения, позволяющая определить предельную высоту и длину грунтового кома в ковше, которая учитывает параметры рабочего органа, параметры процесса резания и физико-механические свойства разрабатываемого грунта.

Ключевые слова: ковш, заполнение, подводная разработка, копанье, модель заполнения, водонасыщенный грунт.

ABSTRACT. The purpose of the article is to establish the crowding pattern of buckets for soft waterlogged ground excavating. The used approach includes theoretical methods grounded on the general approaches of soil mechanics, continuum mechanics and modeling theory. The study found conditions of cut ground moving into the bucket. It was introduced the notion "limiting crowding condition" and "limiting crowding parameters". Findings include the mathematical model of bucket crowding. The benefits of purposed method for bucket parameters setting consist in that bucket parameters are determined taking into account ground properties and digging dimensions. It allows raising the performance of mining equipment using by increasing the bucket volumetric efficiency.

Key words: bucket, crowding, underwater mining, digging, crowding model, waterlogged ground.

Подано 28.02.2014; прийнято 05.03.2014

ВВЕДЕНИЕ

Общегосударственной программой развития минерально-сырьевой базы Украины на период до 2030 года, утвержденной Законом Украины № 3268-VI от 21.04.2011 г., предусмотрено расширение минерально-сырьевой базы страны, в том числе за счет глубоководных органо-минеральных осадков (ГВОМО) Черного моря в исключительной (экономической) зоне Украины.

ГВОМО включают кокколитовые, диатомовые и сапропелевые илы, а также их переходные разности, которые единым горизонтом толщиной 0,35 ... 2 м залегают в

Черном море на глубинах свыше 400 ... 500 м [1]. Их свойства детально описаны в трудах Е.Ф. Шнюкова, С.А. Клещенко, Т.С. Блохиной, Т.С. Куковской [1, 2], П.С. Дмитрова, Д.П. Димитрова [3] и др. Результаты исследований перспективных сфер использования ГВОМО в государственной экономике приведены в работах [4, 5].

Исследования, проведенные в НГУ совместно с Отделением морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, показали перспективность использования канатно-ковшовой технологии обработки залежей ГВОМО. Это обусловило необходимость обоснования параметров

ковшового исполнительного органа с целью обеспечения высокой эффективности использования добычного оборудования.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При разработке обводненных месторождений канатно-скреперными установками в работе [6] рекомендовано определять геометрические параметры скрепера по формулам Д.И. Федорова для ковшей драглайна. Применительно к разработке обводненных россыпных месторождений, В.Б. Добрецовым и Д.С. Опрышко (на основании анализа параметров стандартных скреперных ковшей открытого типа) были получены формулы для определения геометрических параметров ковша скрепера в зависимости от его массы [7]. В то же время в работе [8], посвященной исследованию параметров торообразного ковша канатно-скреперной установки для разработки озерных сапропелей, показана необходимость учета таких свойств разрабатываемого грунта как липкость и влажность, оказывающих значительное влияние на коэффициент наполнения ковша.

В работе [9] приведено условие, при котором процесс резания пластичного водонасыщенного грунта ножом землеройной машины переходит в процесс его раздвигания без отделения стружки:

$$p_0 \geq 2\tau_0, \quad (1)$$

где p_0 – давление пригрузки на поверхность донного грунта от призмы волочения; τ_0 – граничное сопротивление грунта сдвигу.

Размер пластической зоны R перед ножом (рис. 1), в пределах которой должно выполняться условие (1), составляет [9]:

$$R = \frac{b}{\sqrt{2}}, \quad (2)$$

где b – ширина ножа.

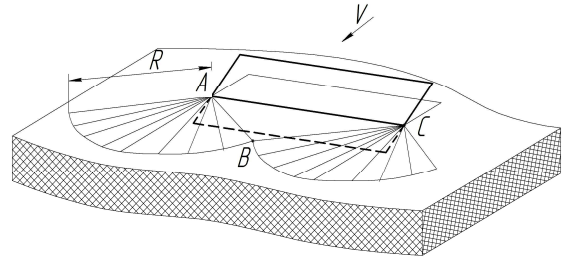


Рис. 1. Напряженное состояние грунта перед плоским ножом

Fig. 1. Soil stress state in front of the knife

Условие (1) показывает, что при достижении некоторых параметров призмы волочения, процесс заполнения ковша прекращается. Следовательно, для определенных параметров резания существуют максимальные геометрические параметры ковша, превышение которых приведет к снижению коэффициента наполнения, что, в свою очередь, снизит показатели эффективности работы добычного комплекса в целом.

Таким образом, для выбора рациональных геометрических параметров ковшового рабочего органа для разработки слабых водонасыщенных грунтов необходимо более детально исследовать процесс его заполнения.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящей работы является установление закономерностей процесса заполнения ковша при разработке слабых водонасыщенных грунтов.

Постановка задачи: разработать математическую модель для определения параметров заполнения ковша с использованием следующих исходных данных. Ковш шириной b бесконечной длины перемещается под водой с постоянной скоростью $v_0 \gg 0,025$ мм/с, срезая грунтовый пласт. Глубина резания равна h_0 , плотность грунта – ρ_{gp} , пластическая вязкость – $\eta_{пл}$, граничное сопротивление грунта сдвигу – τ_0 . Разрабатываемая среда – слабый глинистый водонасыщенный грунт (прототип – ГВМО).

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ

Для пластичного водонасыщенного грунта при скорости деформирования более 0,025 мм/с применима модель идеально вязкопластического тела, для которой угол внутреннего трения принимается равным нулю [10, 11].

Рассмотрим процесс заполнения при врезании ковша в грунт на малом промежутке времени, в пределах которого процесс можно рассматривать как стационарный.

В срезаемом потоке грунта, как показано в работе [11], можно условно выделить зону вязкого течения грунта I и упруго-пластическую зону II. Опишем напряженное состояние потока грунта (рис. 2), полагая, что растягивающие нормальные напряжения имеют положительное значение, сжимающие – отрицательное. Для водонасыщенных грунтов при быстром деформировании коэффициент бокового давления грунта равен 1, то есть нормальные напряжения полностью передаются во взаимно перпендикулярных направлениях.

Для плоской задачи напряженное состояние потока грунта в упруго-пластической области можно описать выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_{xG} + \sigma_{xT} = \Delta\rho g(h - y) - \sigma_{xT}; \\ \sigma_y &= \sigma_{yG} + \sigma_{yT} = -\Delta\rho g(h - y) + \sigma_{xT}; \\ \tau_{xy} &= \tau_0 \left(1 - \frac{y - h_I}{h - h_I} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где σ_x , σ_y и τ_{xy} – соответственно нормальные напряжения вдоль осей x и y и касательное напряжение; σ_{xG} и σ_{yG} – составляющие нормальных напряжений σ_x и σ_y , равные давлению, создаваемого вышележащим слоем грунта; σ_{xT} и σ_{yT} – составляющие нормальных напряжений σ_x и σ_y , обусловленные трением срезаемого пласта о стенки ковша; $\Delta\rho = \rho_{gp} - \rho_g$ – усредненная плотность грунта, облегченного весом вытесненной им воды (ρ_g – плотность воды); h – толщина потока грунта в ковше; h_I – толщина вязкотекучей области; y – ордината; g – ускорение свободного падения.

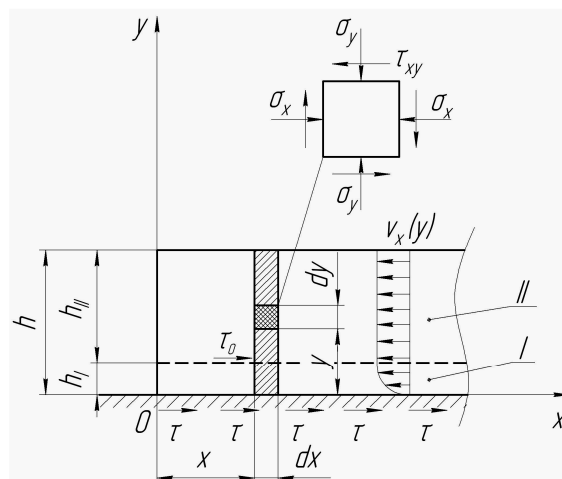


Рис. 2. Расчетная схема к определению напряжений в потоке грунта

Fig. 2. Calculation scheme for the soil flow stress determining

При выводе выражения для определения касательных напряжений τ_{xy} в упруго-пластической области было принято допущение о линейном законе распределения касательных напряжении, а также использовано граничное условие $\tau_{xy} = \tau_0$ при $y = h_I$.

Из теории упругости известны уравнения равновесия элементарного параллелепипеда [12]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где X и Y – проекции объемных (массовых) сил.

Поскольку на границе разделения областей I и II действует касательное напряжение τ_0 , для любого сечения x в упруго-пластической области потока грунта справедливо равенство:

$$\int_{h_I}^h -\sigma_{xT} dy = \tau_0 x, \quad (5)$$

где x – абсцисса.

Полагая движение потока грунта равномерным, учитывая из объемных сил только силы тяжести ($X = 0$, $Y = -\Delta\rho g$), из системы (4) с учетом (5) можно выразить составляющую σ_{xT} :

$$\sigma_{xT} = -\frac{\partial \tau_{xy}(y)}{\partial y} x. \quad (6)$$

После преобразования выражений (3) можно окончательно записать:

$$\begin{aligned}\sigma_x'' &= \Delta\rho g(h-y) - \frac{\tau_0}{h-h_l}x; \\ \sigma_y'' &= -\Delta\rho g(h-y) + \frac{\tau_0}{h-h_l}x; \\ \tau_{xy} &= \tau_0 \left(1 - \frac{y-h_l}{h-h_l}\right).\end{aligned}\quad (7)$$

Для наклоненного к горизонту ковша, используя аналогичные рассуждения, можно получить следующие зависимости:

$$\begin{aligned}\sigma_x'' &= -\left(\Delta\rho g \cos\alpha + \frac{\tau_0}{h-h_l}\right)x + \Delta\rho g(h-y)\sin\alpha; \\ \sigma_y'' &= \left(\Delta\rho g \cos\alpha + \frac{\tau_0}{h-h_l}\right)x - \Delta\rho g(h-y)\sin\alpha; \\ \tau_{xy} &= \tau_0 \left(1 - \frac{y-h_l}{h-h_l}\right),\end{aligned}\quad (8)$$

где α – угол наклона ковша относительно вертикали.

Очевидно, что выражения (7) являются частным случаем выражений (8) для угла $\alpha = \pi/2$.

Толщину вязкотекучей и упруго-пластической областей в работе [11] предложено определять по следующим зависимостям:

$$h_l = \frac{K}{Q}h_0; \quad h_{II} = \frac{K}{Q^2}h_0, \quad (9)$$

где критерии подобия K и Q рассчитываются по формулам:

$$K = \frac{\eta_{пл}v_0}{h_0\tau_0}; \quad Q = \sqrt{K + \frac{K^2}{9} + \frac{K}{3}}. \quad (10)$$

По мере продвижения потока грунта в ковш усилие сопротивления его перемещению возрастает, что приводит к изменению напряженного состояния срезаемого пласта. При достижении максимальными касательными напряжениями величины граничного сопротивления грунта сдвигу, в соответствии с критерием Треска наступает предельное напряженное состояние грунта, что приводит к образованию поверхностей скольжения. Длину потока, при котором наступает предельное состояние грунта в упруго-пластической области, можно определить из условия:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \leq \tau_0. \quad (11)$$

Приравняв обе части неравенства и решая квадратное уравнение относительно x , с учетом выражений (8), находим функцию $x = f(y)$, которая представляет собой уравнение линии скольжения. При $y = h$ значение x будет составлять:

$$x(h) = x_{кр} = \frac{\tau_0}{\Delta\rho g \cos\alpha + \frac{\tau_0 Q^2}{Kh_0}}, \quad (12)$$

где $x_{кр}$ – длина потока грунта, при котором начинают развиваться зоны скольжения.

Таким образом, предельное состояние грунта наступает при достижении потоком грунта длины $x_{кр}$, при которой возникает сопротивление перемещению срезаемого пласта $T_{кр}$.

Для описания прочностных свойств слабых грунтов такой показатель как предел прочности на сжатие мало пригоден, поскольку он в значительной степени будет зависеть от величины пригруза. Поэтому введем характеристику, как приведенный предел прочности на сжатие $\sigma_{пр}$, которая будет определяться формулой:

$$\sigma_{пр} = \frac{T_{кр}}{S}, \quad (13)$$

где S – площадь поперечного сечения потока грунта.

Приведенное напряжение сжатия $\sigma_{сж}$ потока грунта в любой момент времени при заполнении ковша можно определить как:

$$\sigma_{сж}(t) = \frac{T(t)}{S'(t)}, \quad (14)$$

где $T(t)$ – сопротивление перемещению пласта в момент времени t ; $S'(t)$ – сечение потока грунта в момент времени t .

Условие прочности имеет вид:

$$\sigma_{сж} \leq \sigma_{пр}. \quad (15)$$

На основании изложенного можно описать процесс формирования грунтового кома внутри ковша. При внедрении ковша в забой производится отделение сливной стружки, которая перемещается в ковш. Вследствие увеличения площади трения грунта о стенки ковша возрастает сопротивление перемещению срезанного пласта. Вертикальная составляющая нормальных

напряжений, обусловленных трением срезаемого пласта о стенки ковша, компенсируется весом вышележащего слоя грунта до момента, пока длина срезанного пласта не превысит значения $x_{кр}$. При дальнейшем резании образуются поверхности скольжения грунта и последующее его деформирование в вертикальном направлении на некоторую высоту, при которой будет компенсирована составляющая от нормальных напряжений $\sigma_{хТ}$, после чего грунт снова продолжит поступать в ковш. Как показывают наблюдения, перемещение грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях при копании пластичного грунта осуществляется одновременно.

Заполнение ковша производится до тех пор, пока давление на поверхность грунта от призмы волочения в области R перед режущей частью ковша не достигнет значения p_0 . Состояние заполнения ковша, при котором выполняется условие (1), в дальнейшем будем обозначать как состояние предельного заполнения ковша, а параметры заполнения, соответствующие такому состоянию, – соответственно предельными параметрами заполнения.

Если предположить, что выражение для определения $x_{кр}$ является справедливым для трехмерного случая заполнения, то критическое сопротивление перемещению срезаемого пласта можно определить по формуле:

$$T_{кр} = \tau_0 (S_{дн} + 2S_{б}) = \frac{\tau_0^2 (b_{II} + 2h_{II})}{\Delta \rho g \cos \alpha + \frac{\tau_0}{h_{II}}}, \quad (16)$$

где $S_{дн} = x_{кр} b_{II}$ – площадь контакта потока грунта с днищем ковша; $S_{б} = x_{кр} b_{II}$ – площадь контакта потока грунта с боковой стенкой ковша; b_{II} – ширина упруго-пластической области.

Выражение (13) с учетом (16) можно переписать в виде:

$$\sigma_{сп} = \frac{\tau_0^2 (b_{II} + 2h_{II})}{(\Delta \rho g h_{II} \cos \alpha + \tau_0) b_{II}}. \quad (17)$$

Положим, что $\sigma_{сж}$ линейно зависит от ширины упруго-пластической зоны b_{II} и длины потока грунта x , тогда:

$$\sigma_{сж}(x) = \frac{T_{II}}{h'_{II}(x) b_{II}} = \frac{\tau_0 b_{II}}{h'_{II}(x) b_{II}} x = \frac{\tau_0}{h'_{II}(x)} x. \quad (18)$$

Приравнявая обе части неравенства (15) можно определить функцию $h'(x) = h'_{II}(x) + h_I$: то есть:

$$h'(x) = \frac{(\Delta \rho g h_{II} \cos \alpha + \tau_0) b_{II} x}{\tau_0 (b_{II} + 2h_{II})} + h_I. \quad (19)$$

Полученная функция $h'(x)$ характеризует минимальную толщину потока грунта, требуемую для его дальнейшего продвижения в ковш.

Используя расчетную схему, приведенную на рис. 3, определим теперь высоту призмы волочения, при которой будет выполняться условие (1). При этом полагаем, что форму призмы волочения в первом приближении (опираясь на результаты наблюдений), можно описать уравнением эллипса вида:

$$\frac{x^2}{l_{пв}^2} + \frac{y^2}{(h_{пр} - h_0)^2} - 1 = 0, \quad (20)$$

где $l_{пв} = (h_{пр} - h_0) / \text{tg} \varphi$ – длина призмы волочения; $h_{пр}$ – предельная высота призмы волочения.

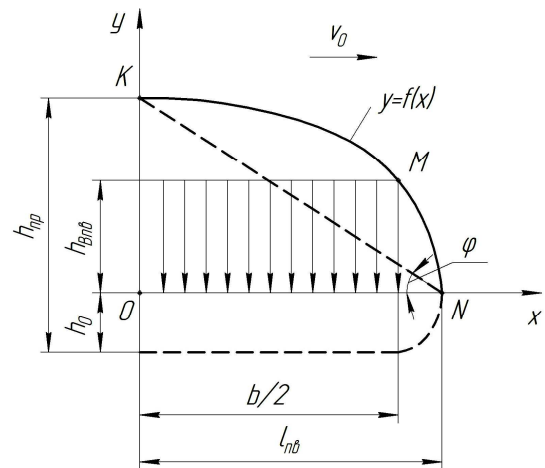


Рис. 3. Схема для расчета параметров призмы волочения

Fig. 3. Scheme for calculating the pushed soil prism parameters

Для достижения давления p_0 в пределах пластической области R (рис. 1), высота призмы волочения в т.В должна составлять:

$$h_{Впв} = \frac{p_0}{\Delta \rho g} = \frac{2\tau_0}{\Delta \rho g}. \quad (21)$$

где $h_{Впв}$ – высота призмы волочения в т.В.

Подставив в (20) координаты точек M и N и, решая полученное уравнение относительно $h_{пр}$, окончательно получим:

$$h_{пр} = \frac{\sqrt{(\Delta\rho b g \operatorname{tg} \phi)^2 + 16\tau_0^2}}{2\Delta\rho g} + h_0. \quad (22)$$

Поскольку для грунта в нарушенном состоянии характерен угол естественного откоса менее 90° , найдем максимальную высоту заполнения, используя расчетную схему, приведенную на рис. 4.

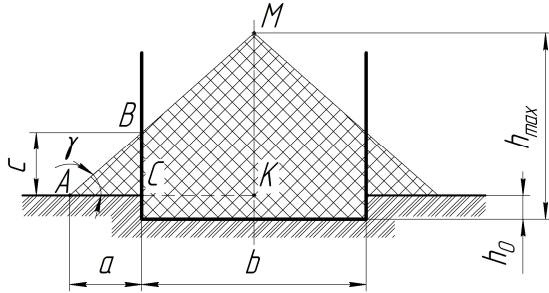


Рис. 4. Схема для расчета максимальной высоты призмы волочения

Fig. 4. Scheme for calculating the maximal height of the pushed soil prism

Расход грунта, раздвигаемого в стороны от ковша в состоянии предельного заполнения, будет определяться выражением:

$$q = h_0 b v_0. \quad (23)$$

Определим геометрические размеры валков, требуемые для обеспечения указанного расхода грунта. При этом полагаем, что форма валков близка к треугольной. Таким образом, расход грунта в валках будет определяться зависимостью:

$$q_s = a c v_0, \quad (24)$$

где a и c – соответственно ширина и высота каждого из валков.

Приравняв правые части выражений (24) и (25), используя свойства подобных треугольников ΔAMK и ΔABC , окончательно получим выражение для определения максимальной высоты заполнения:

$$h_{max} = \sqrt{h_0 b \operatorname{tg} \gamma} + \frac{1}{2} b \operatorname{tg} \gamma + h_0, \quad (25)$$

где γ – угол естественного откоса грунта в нарушенном состоянии.

Значение $h_{пр}$ должно быть меньше или равно h_{max} :

$$h_{пр} \leq h_{max}. \quad (26)$$

Предельную длину потока выражаем из (19) с подстановкой вместо h' значения $h_{пр}$:

$$l_{пр} = \frac{\tau_0 (h_{пр} - h_l) (b_{II} + 2h_{II})}{(\Delta\rho g h_{II} \cos \alpha + \tau_0) b_{II}}. \quad (27)$$

Величина b_{II} с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть определена через коэффициент подобия Q , характеризующий соотношение толщин вязко-текучей и упруго-пластической областей [10]:

$$\frac{2b_I}{b_{II}} = \frac{h_I}{h_{II}} = Q,$$

откуда можно определить b_{II} (учитывая, что $2b_I + b_{II} = b$):

$$b_{II} = \frac{b}{Q + 1}. \quad (28)$$

Используя условие сохранения расхода потока грунта ($v_{ср} b h = q$, где $v_{ср}$ – средняя скорость потока грунта в рассматриваемом сечении), уточняем параметр h_{II} :

$$h_{II} = \left[\left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3(Q+1)^2} \right)^{-1} - \frac{K}{Q} \right] h_0. \quad (29)$$

Полученные выражения позволяют определить предельные высоту и длину грунтового кома в ковше при копании слабых водонасыщенных грунтов.

ВЫВОДЫ

1. При проектировании рабочих органов ковшевого типа для разработки слабых водонасыщенных грунтов геометрические параметры ковша должны определяться с учетом предельных параметров заполнения. Выбор длины и высоты ковша, превышающих соответственно предельные длину и высоту заполнения, приведет к неоправданному снижению коэффициента наполнения ковша и, как следствие, к низким показателям эффективности работы добычного оборудования в целом.

2. Определены условия заполнения ковша при копании пластичных грунтов. Установлено, что продвижение срезаемого пласта в ковш осуществляется лишь в случае достаточной величины его пригруза, позволяющей компенсировать вертикальную составляющую нормальных напряжений, обу-

словенных трением потока грунта о стенки ковша.

3. Разработана математическая модель процесса заполнения ковша, позволяющая определить предельные высоту и длину заполнения. Модель учитывает геометрические параметры ковша, параметры резания, а также физические, реологические и прочностные свойства разрабатываемого грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнюков Е.Ф. Минеральные богатства Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов. – Киев: «Карбон-ЛТД», 2004. – 290 с.
2. Шнюков Е.Ф. Сапропелевые илы Черного моря – новый вид минерального сырья / Е.Ф. Шнюков, С.А. Клещенко, Т.С. Куковская // Геология и полезные ископаемые Черного моря. – 1999. – С. 399-411.
3. Димитров Д.П. Геология и нетрадиционные ресурсы на Черно море / Д.П. Димитров. – Варна : «Онгъл», 2010. – 270 с.
4. Dimitrov P.S. Alternative energy resources from the bottom of the Black sea / P.S. Dimitrov, D.P. Dimitrov // Geology and mineral resources of the Black sea. – 1999. – P. 223-226.
5. Дегодюк Е.Г. Агрономічна цінність сапропелевих та коколітових мулів Чорного моря та питання техногенної безпеки / Е.Г. Дегодюк, С.А. Клещенко, С.Е. Дегодюк // Геология Черного и Азовского морей. – 2000. – С. 164-174.
6. Гилев А.В. Обоснование параметров рабочего органа канатного скрепера, применяемого при разработке обводненных месторождений полезных ископаемых / А.В. Гилев, Ф.Э. Шейн // Горное оборудование и электромеханика. – №8. – 2011 г. – С. 2-5.
7. Добрецов В.Б. Канатно-скреперная разработка малых континентальных и прибрежно-морских россыпей / В.Б. Добрецов, Д.С. Опрышко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №16. – 2006 г. – С. 229-239.
8. Булік Ю.В. Обґрунтування процесу і параметрів механізму для добування сапропелів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.05.11/ Ю.В. Булік. – Луцьк, 2005. – 24 с.
9. Сукач М.К. Модель резания пластичного водонасыщенного грунта ножом

землеройной машины / М.К. Сукач, В.И. Магнушевский // 36. наук. праць ХНАДУ. – Вип. 29 – 2005. – С. 74-79.

10. Моисеенко В.Г. Прогнозирование рабочих нагрузок землеройных машин в особых условиях / В.Г. Моисеенко. – Киев : «Вища школа», 1987. – 194 с.
11. Сукач М.К. Рабочие процессы глубоководных машин / М.К. Сукач. – Киев : Наук. думка, 2004. – 364 с.
12. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. для строит. спец. Вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.

REFERENCES

1. Shnjukov E.F., Ziborov A.P., 2004. Mineralnye bogatstva Chernogo morja [Mineral wealth of the Black Sea]. Kiev, Karbon-LTD Publ., 290.
2. Shnjukov E.F., Kleshhenko S.A., Kukov-skaja T.S., 1999. Sapropelnye ily Chernogo morja – novyj vid mineralnogo syrja [Sapropel sediments of the Black Sea as a new type of mineral resources]. Geologija i poleznye iskopajemye Chernogo morja [Geology and mineral resources of the Black Sea]. Kyiv, OMGOR Publ., 399-411.
3. Dimitrov D.P., 2010. Geologija i netradicionni resursi na Chernom more [Geology and unconventional resources of the Black Sea]. Varna, Ongl Publ., 270.
4. Dimitrov P.S., Dimitrov D.P., 1999. Alternative energy resources from the bottom of the Black sea. Geology and mineral resources of the Black sea. Kyiv, OMGOR Publ., 223-226.
5. Degodjuk E.G., Kleshhenko S.A., Degodjuk S.E., 2000. Agronomichna cinnist sapropeliv ta kokolitovih muliv Chornogo morja ta pytannja tehnogennoi bezpeky [Agronomical value of sapropel and coccolith sediments of the Black Sea and technological safety issues]. Geologija Chernogo i Azovskogo morej [Geology of the Black Sea and the Azov Sea]. Kyiv, OMGOR Publ., 164-174.
6. Gilev A.V., Shejn F.Je., 2011. Obosnovanie parametrov rabocheho organa kanatnogo skrepera, primenjaemogo pri razrabotke obvodnennyh mestorozhdenij poleznyh iskopajemyh [Justification of dragline operating tool for water-logged deposit mining]. Gornoe oborudovanie i jelektromehanika [Mining equipment and electromechanics]. Moscow, Vol. 8, 2-5.

7. *Dobrecov V.B., Opryshko D.S., 2006.* Kanatno-skrepernaja razrabotka malyh kontinentalnyh i pribrezhno-morskih rossypej [Dragline mining of the small continental and shoreline stream gravel]. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)], Moscow, Vol. 16, 229-239.
8. *Bulik Ju.V., 2011.* Obgruntuvannja procesu i parametriv mehanizmu dlja dobuвання sapropeliv: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk po spec. 05.05.11 [The process and machine's parameters justification for sapropel mining: abstract of a PhD (-Eng) thesis]. Luck, State Technical University in Ternopol, 24.
9. *Sukach M.K., Magnushevskij V.I., 2005.* Model rezanija plastichnogo vodonasyshhennogo grunta nozhom zemlerojnoj mashiny [The model of plastic waterlogged ground cutting with the earthmoving machine blade]. Zb. nauk. prac HNADU [KhNAHU collection of proceedings]. HNADU Publ., Vol. 29, 74-79.
10. *Moiseenko V.G., 1987.* Prognozirovanie rabochih nagruzok zemlerojnyh mashin v osobyh uslovijah [The operating loadings forecasting for earthmoving machines in the special operating conditions]. Kiev, Vishha shkola Publ., 194.
11. *Sukach M.K., 2004.* Rabochie processy glubokovodnyh mashin [Workflows deep machines]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 364.
12. *Aleksandrov A.V., Potapov A.V., 1990.* Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti: Ucheb. dlja stroit. spec. vuzov [The elements of elasticity and plasticity theory: textbook for building universities]. Moscow, Vishha shkola Publ., 400.