

В.П. Франчук, д.т.н., проф.
О.Є. Шевченко, аспір.
Т.В. Шепель, аспір.

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДОБУТКУ ТА ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ГЛИБОКОВОДНИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ВІДКЛАДЕНЬ ЧОРНОГО МОРЯ

Сформульовано проблеми створення обладнання для видобутку та первинної переробки глибоководних органо-мінеральних відкладень в умовах відкритого моря. Розглянуто питання підвищення ефективності проведення видобувних робіт шляхом організації первинної переробки донних відкладень на борту плавзасобу. Визначено напрями вибору обладнання суднового базування для зневоднення морських мулів механічним способом. Обґрунтовано показники раціонального ступеню зневоднення глибоководних органо-мінеральних відкладень. Наведено деякі граничні фізичні характеристики зневоднених сапропелевих осадів, що досягаються при використанні стандартного устаткування.

Ключові слова: *первинна переробка, органо-мінеральні відкладення, сапропелеві осади, донні відкладення.*

Постановка проблеми. Світові тенденції розвитку економік цивілізованих країн, а саме перехід до екологічно ощадливих технологій, турбота про продовольче забезпечення країн “третього світу”, поступова відмова від генетично модифікованих продуктів тощо, диктують необхідність нарощування ресурсного потенціалу по екологічно чистій органо-мінеральній сировині, до якої належить, в тому числі, глибоководні органо-мінеральні відкладення (ГВОМВ) Чорного моря. Питання про освоєння ГВОМВ для України є особливо актуальним, у першу чергу, завдяки зручному географічному положенню – у виключній (морській) економічній зоні України прогнозні запаси даного виду сировини на пошуковій ділянці становлять

близько
500 тис. т/км² [1–3, 7]. Потреба аграрно-промислового комплексу України в ГВОМВ дуже висока, що обумовлено нестачею і щорічним подорожчанням хімічних добрив, виснаженням родючого шару орних земель, орієнтацією на європейські стандарти, в тому числі щодо екологічно чистої продукції.

Для поповнення необхідного обсягу органо-мінеральної сировини необхідно здійснювати масштабну розробку родовищ ГВОМВ. При цьому продуктивність добувального комплексу може обчислюватися мільйонами тонн мокрої сировини на рік, а вихід готового продукту буде в десятки разів меншим, що пов'язано з високою вологістю донних відкладень. В умовах енергетичної обмеженості морського гірничо-збагачувального комплексу (МГЗК), експлуатація якого здійснюється віддалено від берегової бази, проблема видалення морської води з донних відкладень є вирішальною, оскільки спосіб зневоднення визначатиме як технологію видобутку, так і найважливіші показники ефективності роботи МГЗК.

Зниження вологості ГВОМВ у відкритому морі цілком виправдано, оскільки підвищує продуктивність вантажо-транспортного обладнання по твердому продукту, що, в кінцевому рахунку, позначається на собівартості готової сировини. Однак зневоднення понад певної межі вимагає застосування спеціальних високоенергоємних методів видалення вологи і відповідного обладнання, яке в умовах відкритого моря використовувати недоцільно. Пошук раціональних методів та обладнання для видобутку та первинної переробки ГВОМВ є основною метою даної роботи.

Огляд існуючих методів і устаткування для зневоднення мулів. Видобуток і збагачення ГВОМВ слід розглядати як єдину взаємопов'язану ланку технологічних операцій. Експлуатаційну продуктивність МГЗК по товарній продукції можна визначити за формулою [6]:

$$Q_e^T = Q_e \cdot K_T \cdot K_0 \cdot \eta_{\text{АОВ}} \cdot K_1, \quad (1)$$

де Q_e – експлуатаційна продуктивність в умовах конкретного родовища; K_T – коефіцієнт, що характеризує кількісний вміст товарного продукту в сировині; K_0 – коефіцієнт ефективності виділення товарного продукту із сировини; $\eta_{\text{АОВ}}$ – коефіцієнт, який враховує загальні втрати сировини в технологічній ланці “видобуток–переробка”; K_1 – коефіцієнт переведення “микрої” сировини в “сухий” товарний продукт.

Дана залежність дозволяє пов'язати обладнання технологічного комплексу за основним показником – продуктивністю.

Припускаючи валовий спосіб відпрацювання забою, а також цінність мулів всього технологічного шару, з (1) видно, що принаймні три показники з п'яти – K_0 , $\eta_{\text{АОВ}}$ і K_1 – більшою мірою визначаються обраною технологією і обладнанням для зневоднення ГВОМВ. Досвід зневоднення дрібнодисперсних водонасичених мулів (річкові глинисті мули, озерні сапропелі

тощо), показує, що високопродуктивні механічні способи видалення вологи використовуються для досягнення рівня кінцевої вологості сировини 40–50 % [4, 8]. Для подальшого зневоднення матеріалу слід застосовувати високоенергоємні термічні способи.

В умовах обмежених енергоресурсів плавзасобу очевидні переваги механічних або комбінованих методів зневоднення. Існуюче в даний час устаткування для зневоднення мулів механічним способом має широкий діапазон робочих та масогабаритних показників. Вибір конкретних машин, що входять до складу ланки збагачення МГЗК, визначається багатьма факторами, в першу чергу, енергозабезпеченістю плавзасобу, наявністю вільного простору і необхідною продуктивністю. Найбільш цікаве, з точки зору прив'язки до судна, обладнання для зневоднення донних відкладень механічним способом, його основні характеристики представлено в таблиці 1 [5, 8]. Дане обладнання має досить широкий діапазон робочих характеристик, проте в практиці зневоднення на суходолі, як правило, використовуються флокулянти – речовини, що викликають в рідких дисперсних системах флокуляцію – утворення пухких агрегатів (флокул) з дисперсної фази, що дозволяє підвищити ефективність процесу зневоднення. Вплив флокулянтів на властивості ГВОМВ досі залишається не вивченим.

Таблиця 1

Основні характеристики обладнання для зневоднення мулів механічним способом

Тип обладнання	Кінцева вологість мулу, %	Продуктивність по суспензії, м ³ /год.	Потужність, кВт	Маса, кг
Шнекові зневоднювачі	75–81	0,3–18	0,1–1,6	65–1 700
Центрифуги	46–50	1–250	5,5–110	180–30 000
Фільтр-преси	45–80	0,75–50	1,5–8,5	1 200–18 000

ГВОМВ складають глинисті мули – коколівові, сапропелеві та сапропелевміщуючі. Фракція менше 10 мкм складає понад 80 %, тому гідралічний спосіб видобутку з подальшим зневодненням способом відсаджування, як це здійснюється на суходолі, є малоефективним, оскільки потребує значних виробничих площ та є довготривалим. При зневодненні пульпи на центрифугах втрати твердих частинок складають 20–30 %, що обмежує використання даного типу обладнання з екологічних міркувань. Існує досвід зневоднення дрібнодисперсних фракцій у складі пульпи на фільтр-пресах, однак процес зневоднення триває від кількох годин до кількох днів, залежно від необхідного ступеню зневоднення, що також обмежує продуктивність МГЗК.

Виходячи з цього, очевидно, що підвищення вологості ГВОМВ при гідралічному способі видобутку та подальше їх зневоднення на плавзасобі в умовах відкритого моря є нераціональним. Тому найбільш вірогідним на найближчу перспективу способом видобутку ГВОМВ можна вважати механічний.

Обґрунтування раціонального ступеня зневоднення ГВОМВ. Початковий етап освоєння глибоководних родовищ ГВОМВ може здійснюватися з використанням існуючих науково-дослідницьких суден (НДС) як бази для апробації добувального та збагачувального обладнання. При цьому найбільш імовірним є використання канатно-ковшового добувального обладнання як найбільш простого з точки зору проектування, виготовлення та експлуатації. НДС, а також транспортні судна, мають обмежену вантажопідйомність, тому підвищення концентрації корисного компонента безпосередньо в місці проведення добувних робіт за рахунок зневоднення сировини дозволить більш раціонально використовувати можливості транспортної системи МГЗК, що в кінцевому підсумку призведе до зниження собівартості видобутого матеріалу.

Надалі під вологістю матеріалу ми будемо розуміти поняття, що використовується в збагачувальній галузі, в якій вагова вологість визначається як відношення маси води в досліджуваному зразку до маси зразка (навіски):

$$w_1 = \frac{m_{e1}}{m_{ck} + m_{e1}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де m_e – маса води, що міститься у зразку; m_n – маса навіски.

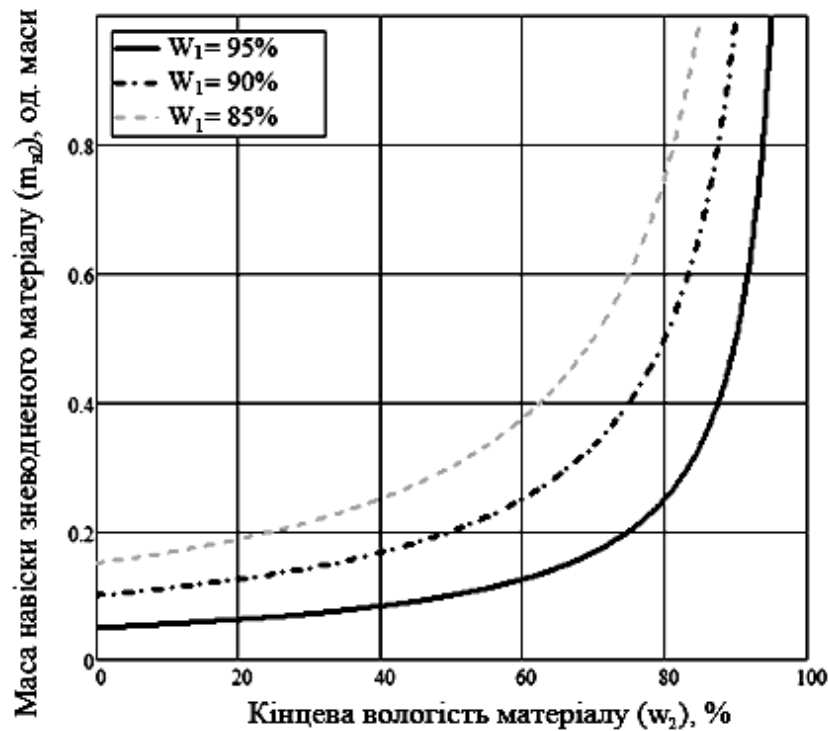


Рис. 1. Залежність маси навіски зневодненого матеріалу від його вологості (при одиничній масі первинного матеріалу)

Враховуючи те, що маса навіски є сумою маси скелету ґрунту та маси порової та зв'язаної у ґрунті води, вираз (2) можемо переписати у вигляді:

$$w = \frac{m_a}{\delta_{\tilde{n}\tilde{e}} + \delta_a} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

де $m_{ск}$ – маса скелету ґрунту.

Позначимо початкову вологість піднятого на плавзасіб матеріалу через w_1 , а вологість матеріалу після його зневоднення – w_2 . Оскільки в процесі зневоднення маса зразка зменшується тільки за рахунок видалення з нього вологи (втрати твердого не враховуємо), виходячи з (3), можна записати:

$$w_1 = \frac{m_{a1}}{\delta_{\tilde{n}\tilde{e}} + \delta_{a1}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

$$w_2 = \frac{m_{a2}}{\delta_{\tilde{n}\tilde{e}} + \delta_{a2}} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

де m_{e1} та m_{e2} – відповідно маса води, що міститься у зразку первинного та зневодненого матеріалу.

Виводячи з (4) і (5) масу скелета і прирівнявши праві частини, з урахуванням (2) після перетворення отримаємо співвідношення:

$$\frac{m_{f1}}{m_{f2}} = \frac{100 - w_2}{100 - w_1}, \quad (6)$$

де m_{n1} та m_{n2} – відповідно маса навіски первинного та зневодненого матеріалів.

Із співвідношення (6) виразимо масу навіски зневодненого матеріалу m_{n2} як функцію від кінцевої вологості w_2 і зобразимо цю залежність графічно (рис. 1), вважаючи масу вихідного зразка рівною 1:

$$m_{n2}(w_2) = \frac{(100 - w_1)m_{n1}}{100 - w_2}. \quad (7)$$

Аналізуючи отриману залежність, можна дійти висновку, що зменшення вологості піднятого на плавзасіб матеріалу на кілька десятків відсотків дозволяє значно зменшити масу ГВОМВ. З графіка видно, що найбільш інтенсивне зменшення маси навіски спостерігається при зниженні вологості до 50–70 % залежно від початкової вологості матеріалу. З цього випливає, що зниження вологості ГВОМВ на палубі судна в межах зазначеного діапазону є найбільш доцільним, оскільки при цьому відділяється більш ніж

2/3 всієї наявної у ґрунті води при відносно невеликих енерговитратах, оскільки процес зневоднення може здійснюватися механічним способом. Зниження вологості до менш як 30–40 % виключає можливість ефективного застосування механічного методу зневоднення на користь термічного – висушування, що вимагає значних витрат енергії.

Виходячи з того, що вантажопідйомність транспортного судна обмежена, визначимо необхідну масу матеріалу для забезпечення повного завантаження судна донними відкладами необхідної вологості, одержуваної після зневоднення. Для цього виразимо з (6) масу навіски з початковою вологістю m_{H1} як функцію від кінцевої вологості w_2 , після чого представимо її у графічному вигляді (рис. 2), вважаючи масу матеріалу після зневоднення $m_{H2} = 1$:

$$m_{H1}(w_2) = \frac{(100 - w_2)m_{H2}}{100 - w_1}. \quad (8)$$

Знайдену функцію можна охарактеризувати наступним чином: вона є лінійною; чим більше вологи видаляється з донних відкладень, тим більше матеріалу потрібно добути, щоб забезпечити повне завантаження транспортного судна (в $(100 - w_2)/(100 - w_1)$ разів).

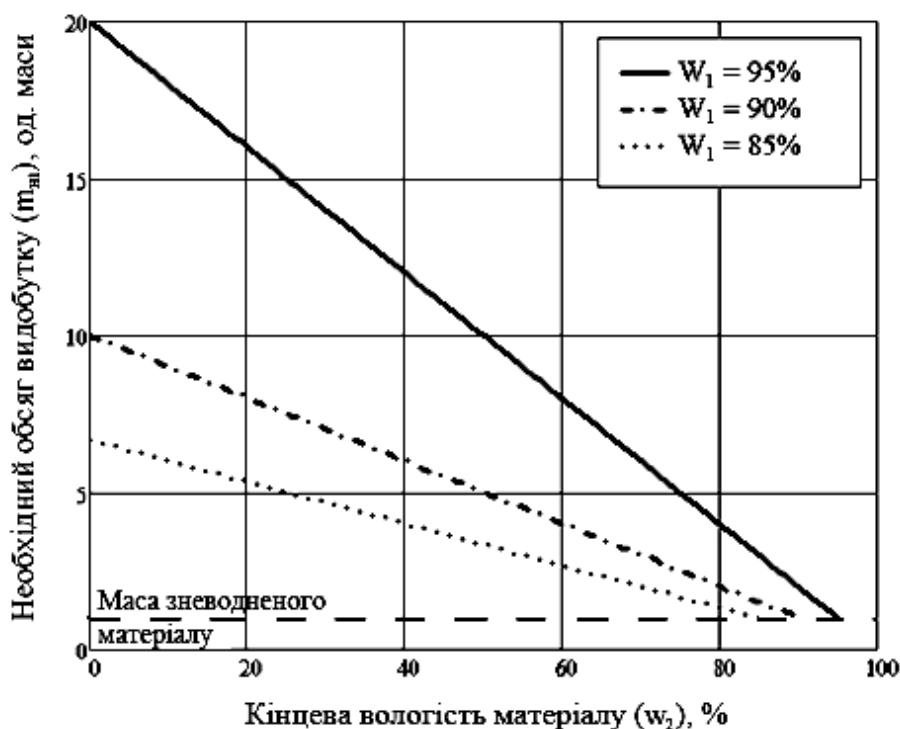


Рис. 2. Залежність маси добутого матеріалу, необхідної для отримання 1 од. маси зневодненої до необхідного рівня сировини

Простежимо користь отриманих висновків на прикладі науково-дослідницького судна «Професор Водяницький». Дане судно за один рейс може брати на борт до 20 т донних відкладень. Вихідна вологість добутих глибоководної драгою ГВОМВ коливається в межах 85–95 % (для розрахунку умовно приймемо початкову вологість рівною 90 %). Таким чином, за відсутності засобів для зневоднення судно здатне за один рейс доставити на берег до 20 т донних відкладень, що містять 90 % морської води і лише 10 % (до 2 т) корисного компонента. Якщо ж на борт судна встановити обладнання для попереднього зневоднення, здатного видаляти до 20 % вологи (шнекові зневоднювачі) і більше (центрифуги і фільтр-преси) вагою до 2 т і продуктивністю 1–2 т/год., то ефективність видобувних робіт можна значно підвищити. Для повного завантаження судна, яке з урахуванням установки двотонного зневоднювального обладнання, що знижує вологість на 20 %, буде складати 18 т, виходячи з виразу (8), потрібно добути гірської маси (т):

$$m_{H1}(70) = \frac{(100 - 70)18}{100 - 90} = 54,$$

що в 2,7 рази більше, ніж без установки зневоднювального обладнання. При цьому судно доправить на берег 30 % (5,4 т) корисного компонента від усього обсягу донних відкладень, що транспортуються. Без встановлення обладнання для зневоднення цей же обсяг матеріалу судно доставило б на берег мінімум за 3 рейси. При установці обладнання, здатного зневоднювати матеріал до вологості 50 % (цей процес може

здійснюватися в декілька стадій), за прийнятих раніше вихідних даних обсяг видобутого матеріалу складатиме 90 т, на берег буде доставлено 9 т корисного компонента, що в 4,5 раза більше, порівняно з доставленим на берег матеріалом природної вологості (5 рейсів).

Зацікавленість також викликає мінімальна вологість ГВОМВ, що досягається при механічному способі зневоднення (як найменш енергоємному). Для встановлення цієї величини авторами були проведені досліді з видавлювання порової води з ГВОМВ способом пресування.

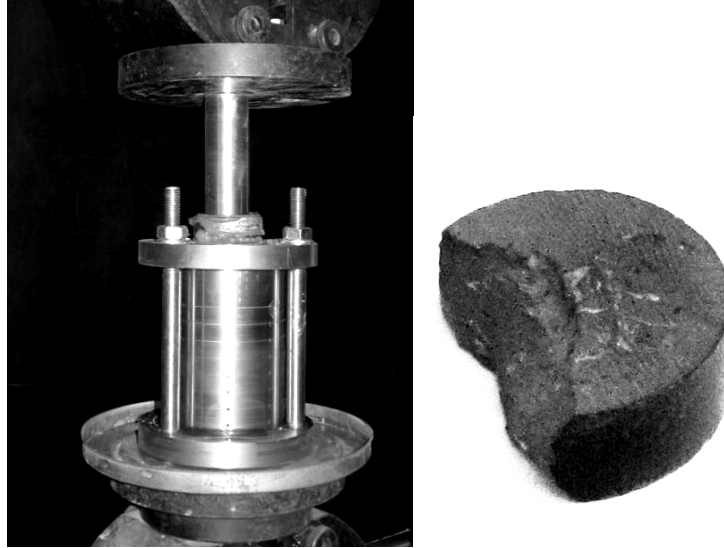


Рис. 3. Зневоднення ГВОМВ способом пресування

Умови експеримен-

ГВОМВ порушеної структури (сапропелево-коколітовий мул) масою близько 100 г з усередненою густиною $1232,9 \text{ кг/м}^3$ та початковою вологістю 68,2 % був поміщений в матрицю у вигляді труби з розташованими в нижній частині отворами, закритими фільтрувальною тканиною, і через поршень був навантажений під тиском до 50 МПа (рис. 3). Усадка зразка спостерігалась протягом 5 діб (тиск на механічному пресі підтримувався протягом робочого дня). Після припинення усадки зразок був вилучений з матриці. Лабораторне дослідження деяких фізичних властивостей отриманого зразка дали наступні результати: його вологість склала 11,4 %, усереднена густина – $1891,5 \text{ кг/м}^3$. Маса зразка зменшилася в 2,8 раза, а його об'єм – у 4,28 раза.

Аналізуючи отримані результати, маємо всі підстави стверджувати, що при використанні механічного способу зневоднення із застосуванням стандартного устаткування і без додавання флокулянтів вологість ГВОМВ не може бути отримана менше 10 %, а максимальна середня щільність становить близько 1900 кг/м^3 і залежить від щільності частинок, що складають мінеральний скелет донних відкладень.

При проведенні експерименту зі зневоднення ГВОМВ з використанням обладнання (рис. 3) при величині тиску 20 атм. кінцеву вологість матеріалу 40 % було досягнуто за 38 хв. При цьому товщина зневодненого осаду склала близько 5 мм.

Висновки. Практично повна відсутність досвіду створення та експлуатації морського гірничо-збагачувального комплексу для розробки глибоководних родовищ корисних копалин, специфічні умови роботи видобувного та збагачувального обладнання, нетрадиційна для гірського промислу сьогоdnішнього дня сировина – ГВОМВ, – все це ставить цілий ряд нових завдань перед розробниками. Проте очевидно, що фрагментарне вирішення тих чи інших питань, пов'язаних з проектуванням МГЗК, не призведе до позитивних результатів, оскільки весь комплекс повинен розглядатися як єдина взаємопов'язана ланка видобувної, збагачувальної та транспортної систем. Причому продуктивність всього комплексу по готовому продукту більшою мірою обмежується системою збагачення ГВОМВ як найбільш “вузькою”, що вимагає значних витрат енергії, вільного простору та операційного часу.

На найближчу перспективу використання механічних способів видобутку ГВОМО, з точки зору збагачення, є найбільш доцільним. В даному випадку початкова вологість матеріалу дорівнює природній вологості, що розширює можливості використання обладнання для зневоднення. В умовах обмежених енергоресурсів у відкритому морі найбільш раціональними є механічні методи зневоднення. При цьому доцільно проводити зниження вологості ГВОМВ до 50–70 % залежно від початкової вологості донних відкладень. Для цього може бути використане існуюче обладнання, як шнекові зневоднювачі, центрифуги

проведення ту: зразок

ги або фільтр-преси, проте ефективність застосування конкретних установок вимагає проведення ретельних додаткових досліджень.

Зневоднення ГВОМВ в місці проведення видобувних робіт здатне значно підвищити продуктивність та ефективність використання транспортних суден, що в кінцевому підсумку призведе до зниження собівартості одержуваної готової продукції.

Список використаної літератури:

1. *Димитров П.Д.* Геология и нетрадиционные ресурсы на Черно море / *П.Д. Димитров.* – Варна : Онгъл, 2010. – 270 с.
2. *Димитров Д.П.* Некоторые результаты применения глубоководных органо-минеральных осадков дна Черного моря для агротехнических целей / *Д.П. Димитров, Г.Ц. Георгиев, П.С. Димитров* // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2006. – № 1. – С. 74–80.
3. Проблема сапропелей Черного моря. – К. : ОМГОР, 2010. – 148 с.
4. *Кондратенко О.В.* Обоснование рациональных параметров машины для снижения влагосодержания сапропеля энергосберегающим способом: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.05.06 / *Кондратенко Олеся Васильевна* ; Санкт-Петербургский гос. горный ин-т. – Санкт-Петербург, 2009. – 20 с.
5. Центрифуги, ленточные прессы и комплектные системы Flottweg для процессов разделения твердых веществ и жидкостей // Каталог оборудования для обезвоживания Flottweg. – 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.flottweg.com.
6. *Шнюков Е.Ф.* Минеральные богатства Черного моря / *Е.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов.* – К. : НАНУ, 2004. – 278 с.
7. *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. – ОМГОР НАН Украины, 1999. – С. 399–412.
8. *Шкоропад Д.Е.* Центрифуги и сепараторы для химических производств / *Д.Е. Шкоропад, О.П. Новиков.* – М. : Химия, 1987. – 256 с.

ФРАНЧУК Всеволод Петрович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного ВНЗ «НГУ».

Наукові інтереси:

- обладнання для збагачення корисних копалин;
- обладнання для підводної розробки родовищ.

Тел.: (056) 47–45–53.

E-mail: franchuk@nmu.org.ua

ШЕВЧЕНКО Олександр Євгенійович – аспірант кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного ВНЗ «НГУ».

Наукові інтереси:

- обладнання для зневоднення корисних копалин;
- процеси фільтрування дрібнодисперсних середовищ.

Тел.: (056) 46–90–56.

E-mail: alex.shevche@gmail.com

ШЕПЕЛЬ Тарас Вілійович – аспірант кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного ВНЗ «НГУ».

Наукові інтереси:

- обладнання для глибоководного видобутку корисних копалин;
- технологічні процеси глибоководних ґрунторозробних машин.

Тел.: (056) 46–90–56.

E-mail: sarat.dp@mail.ru

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013