

Practical implications. The proposed classification of man-caused geo-resources in Ukraine can be used for mining technological schemes selection, revitalization and mining land reclamation, which was violated by surface mining.

Keywords: *Surface mining, man-caused landscapes, revitalization, technological, man-caused geo-resources.*

УДК 622.271

© Б.Ю. Собко, О.В. Ложніков, О.М. Лазніков

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ
ПАРАМЕТРІВ ВИДОБУВНОГО ПІДВОДНОГО УСТУПУ ПРИ
ВИКОРИСТАННІ ЗЕМСНАРЯДІВ**

© B.Sobko, O. Lozhnikov, O. Laznikov

**UNDERWATER BENCH PARAMETERS SUBSTANTIATION AT THE
USING OF SURFACE MINING DREDGERS**

Стаття присвячена вирішенню актуальної проблеми встановлення параметрів елементів підводного уступу при використанні земснарядів. Наведено результати експериментальних досліджень роботи земснаряду за різними параметрами підводного уступу. Встановлені залежності коефіцієнту забоя від параметрів підводного уступу дозволили рекомендувати раціональні параметри технологічної схеми роботи земснаряду.

Стаття посвящена установленію параметров елементов подводного уступа при использовании земснарядов. Приведены результаты экспериментальных исследований работы земснаряда при различных параметрах подводного уступа. Установленные зависимости коэффициента забоя от параметров подводного уступа позволили рекомендовать рациональные параметры технологической схемы работы земснаряда.

Вступ. Освоєння родовищ титан-цирконієвих руд України має значний вплив на розвиток економіки як гірничопромислових регіонів так і країни у цілому. Основні родовища з покладами цих руд, що мають відносно складні гірничо-геологічні та гідрологічні умови залягання відпрацьовувалися впродовж багатьох десятиріч і майже вичерпали свій запас. Тому зараз постає важливе питання залучення в розробку нових родовищ титан-цирконієвих руд, які мають суттєво складніші умови залягання, що безпосередньо впливає на організацію та проектування розкривних і видобувних робіт.

Попередньо виконані дослідження [1, 2] показують, що найбільш ефективним гірничовидобувним обладнанням для розробки корисних копалин в умовах обводнення є земснаряди із застосуванням гідротранспорту. Класичні методики встановлення параметрів розробки підводних уступів [3, 4] передбачають розрахунок виробничої продуктивності земснаряду без урахування довжини, ши-

рини і висоти підводного уступу, що не відповідає точності та коректності необхідних розрахунків при застосуванні засобів гідромеханізації при розробці розсипних руд. До того ж гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови розробки обводнених розсипних титан-цирконієвих родовищ є достатньо складними, що потребує обґрунтування нових методів визначення параметрів роботи земснарядів, які мають базуватися на результатах експериментальних досліджень.

Формулювання цілей статті. Для обґрунтування раціональних параметрів видобувного підводного уступу необхідно вирішити наступні науково-практичні завдання: 1) визначити основні критерії оцінки ефективності роботи земснаряду в умовах підводного видобутку руд; 2) встановити раціональні параметри підводного уступу з використанням запропонованих критеріїв; 3) розробити рекомендації щодо розрахунку параметрів підводного видобувного уступу при складанні технологічних схем відпрацювання обводненого родовища на прикладі Мотронівського розсипу.

Виклад основного матеріалу. Одним з головних параметрів елементів підводного уступу при використанні земснарядів є його потужність – h_B , адже від нього залежить стійкість видобувної зони та тип обладнання при виконанні гірничих робіт. Тому, обґрунтування потужності підводного уступу дозволить отримати раціональну технічну продуктивність земснаряду, скоротити час на простій обладнання, обрати найбільш сприятливі умови для роботи насосів земснарядів з урахуванням вакууметричної глибини всмоктування заглибленого ґрунтового насосу. Також важливими параметрами при розробці підводного уступу є довжина фронту робіт земснаряду – L_B та ширина робочого майданчика – $Ш_B$, в якому він знаходиться і виконує видобуток корисної копалини.

Існує три види переміщення земснаряду відповідно фронту робіт: віяловий, паралельний і віялово-паралельний. У нашому випадку переміщення фронту гірничих робіт є паралельним, що було враховано при виконанні досліджень. Розглянуті параметри елементів підводного уступу представлені на технологічній схемі розробки надрудного і підводного уступів Мотронівського розсипу (рис. 1).

Встановлення раціональних параметрів елементів підводного уступу для технологічної схеми (рис. 1) має виконуватися відповідно за критеріями ефективності гірничих робіт. Для вирішення цієї задачі таким критерієм виступає максимальна технічна продуктивність земснаряду, яка забезпечить мінімальні простой гірничого обладнання і дозволить досягти мінімальної собівартості розробки титан-цирконієвих пісків.

Проведений аналіз науково-дослідної літератури показує, що в класичних методах встановлення технічної продуктивності земснаряду не враховуються параметри елементів уступу, і розраховується за допомогою формули [3]:

$$Q_{\text{ТЕХ}} = \frac{Q_{3.Г} \cdot \rho \cdot k_3}{q_B + 1 - m}, \text{ м}^3 / \text{год.}, \quad (1)$$

де $Q_{з.з.}$ – годинна продуктивність земснаряду по гідросуміші, $\text{м}^3/\text{год.}$; $\rho_в$ – щільність води, $\text{т}/\text{м}^3$; k_3 – коефіцієнт, що враховує продуктивність земснаряду при великій висоті уступу; $q_в$ – витрата води на розробку і транспортування 1 м^3 породи, м^3 ; m – пористість гірської породи, дол. од.

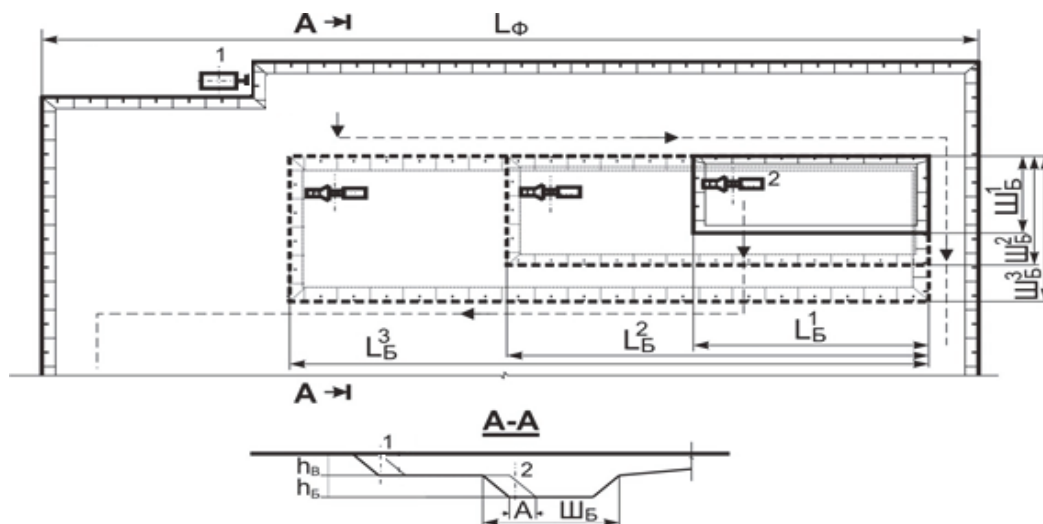


Рис. 1. Схема до розрахунку параметрів елементів підводного уступу при використанні земснарядів: 1 – розкривний екскаватор, 2 – земснаряд; $Ш_Б$ – ширина робочого майданчика, м; $L_Б$ – довжина фронту робіт земснаряду, $h_в$ – потужність надрудного уступу; $h_Б$ – потужність підводного уступу

Як бачимо, з формули при класичній методиці розрахунку, на технологічну продуктивність земснаряду мають вплив лише визначені параметри, серед яких до елементів підводного уступу можна віднести коефіцієнт, що враховує продуктивність земснаряду при великій висоті уступу (k_3). З цього випливає, що усі перелічені параметри такі як потужність підводного уступу ($h_Б$), довжина фронту робіт земснаряду ($L_Б$) і ширина робочого майданчика ($Ш_Б$) не впливають на продуктивність земснаряду. Однак, як показує досвід застосування земснарядів на практиці, це твердження не є вірним.

Основним обладнанням для розробки обводненого рудного уступу Мотронівського кар'єру є земснаряд марки 12Э.40М.42.3. Його годинна продуктивність по гідросуміші складає $2000 \text{ м}^3/\text{год.}$, а розрахункова технічна продуктивність, відповідно до формули (1) – $147 \text{ м}^3/\text{год.}$ Тобто, відповідно до результатів, які отримали автори роботи [3, 4], ця продуктивність буде однаковою, незважаючи на зменшення або збільшення параметрів елементів уступу.

У зв'язку з цим було виконано значний перелік дослідно-промислових робіт задля встановлення залежності технічної продуктивності земснаряду від параметрів підводного уступу на Мотронівському обводненому кар'єрі. Результати виконаних дослідно-промислових робіт зі встановлення залежності технічної продуктивності земснаряду від довжини фронту його робіт наведені на рис. 2.

Як видно з графіків представлених на рис. 2, залежність технічної продуктивності земснаряду – $Q_{ТЕХ}$ від довжини фронту гірничих робіт – $L_Б$ описується

рівняннями другого ступеня. При цьому максимальна продуктивність досягається при ширині робочого майданчика 40 м, а мінімальна при 25 м.

Це пов'язано з тим, що збільшення ширини робочого майданчика дозволяє земснаряду розробляти заходку більшої ширини, в якій знаходиться більший об'єм корисної копалини за меншу кількість пересувань пульпопроводу за земснарядом, що дозволить зменшити час простою обладнання та збільшити коефіцієнт використання обладнання в часі.

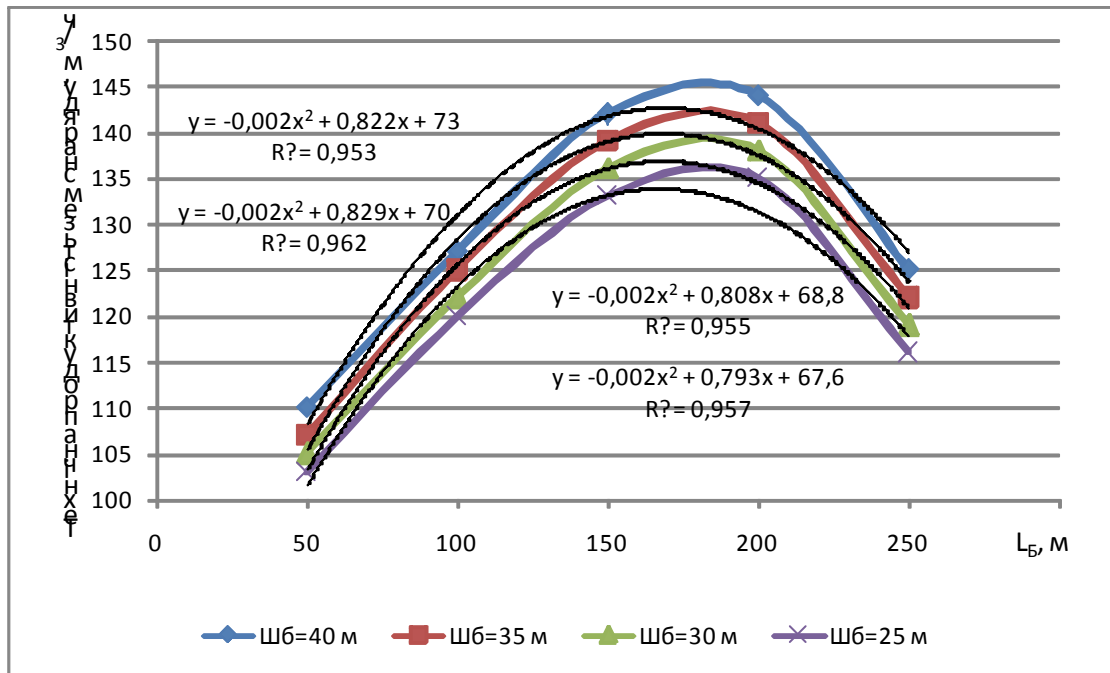


Рис. 2. Залежність технічної продуктивності земснаряду від довжини фронту робіт L_B при зміні ширини робочого майданчика від 25 до 40 м

Для встановлення показника максимальної технічної продуктивності земснаряду, розраховано максимальне значення функції $Q_{TEX} = f(L_B)$. Встановлення найбільшого значення Q_{TEX} здійснюється шляхом розрахунку екстремумів функції $f(L_B) = -0,002L_B^2 + 0,822L_B + 73$, яка відповідає технічній продуктивності земснаряду при ширині робочого майданчика $ШБ = 40$ м.

Для цього знайдемо похідну цієї функції. Так $f'(L_B) = -0,004L_B + 0,822 = -0,004(L_B - 205,5)$, відповідно, критична точка функції $L_B = 205,5$ м. Встановив значення функції у точці $L_B = 205,5$ м, знайдемо екстремум функції $f(205,5)$, та розрахуємо максимальну продуктивність земснаряду. Для заданих умов МАР вона складає $Q_{TEX} = 157,46$ м³/ч.

Наступним завданням зі встановлення параметрів підводного уступу є дослідження залежності технічної продуктивності земснаряду від потужності підводного уступу – h_B . Результати виконаних дослідно-промислових робіт наведені на рис. 3.

Як видно з графіків представлених на рис. 3, залежність технічної продуктивності земснаряду – Q_{TEX} від глибини розробки підводної частини уступу – h_B

на відміну від попередньої залежності описується рівняннями третього ступеня. При цьому максимальна продуктивність земснаряду досягається при довжині фронту гірничих робіт земснаряду 200 м, а мінімальна – 50 м, що також підтверджено попередніми дослідженнями.

В свою чергу це пов'язано з тим, що збільшення довжини фронту робіт дозволяє земснаряду забезпечити меншу кількість пересувань гірничодопоміжного обладнання і запобігає додатковому робочому простору обладнання. Як і в попередньому дослідженні, для встановлення показника максимальної технічної продуктивності земснаряду, розраховано максимальне значення функції $Q_{TEX} = f(h_B)$.

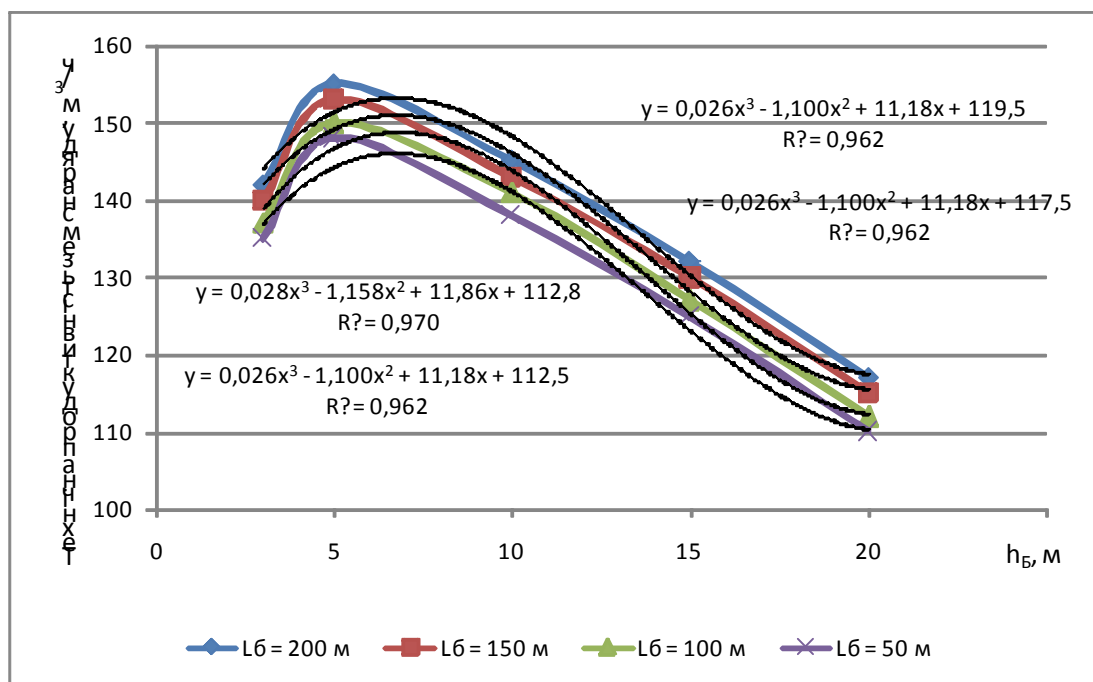


Рис. 3. Залежність технічної продуктивності земснаряду від глибини розробки підводної частини уступу h_B при довжині фронту робіт від 50 до 200 м

Встановлення найбільшого значення Q_{TEX} здійснюється шляхом розрахунку екстремумів функції $f(h_B) = 0,026h_B^3 - 1,1h_B^2 + 11,18h_B + 119,5$, яка відповідає технічній продуктивності земснаряду при довжині фронту робіт $L_B = 200$ м. Для цього знайдемо похідну цієї функції.

Так $f'(h_B) = 0,056 h_B^2 - 2,2 h_B + 11,18 = -0,056 (h_B^2 - 39,3 h_B + 199,6)$, при критичній точці функції $h_B = 6$ м. Встановив значення функції у точці $h_B = 6$ м, знайдемо екстремум функції $f(6)$, та розрахуємо максимальну продуктивність земснаряду, яка складає $Q_{TEX} = 152,6$ м³/ч.

В роботі також виконані дослідження зі встановлення раціональної ширини робочого майданчика $Ш_B$, у якому знаходиться земснаряд і виконує видобуток корисної копалини. Під час проведення дослідно-промислових робіт встановлені залежності технічної продуктивності земснаряду від $Ш_B$, при цьому та-

кож враховувалася довжина фронту робіт L_B , яка змінювалася від 100 до 250 м. Зміна ширини робочого майданчика змінювалася в діапазоні 25 – 40 м.

Результати дослідно-промислових робіт при встановленні раціональної ширини робочого майданчика $Ш_B$ представлені на рис. 4.

Результати виконаних досліджень, що представлені на рис. 4, дозволяють проаналізувати залежність технічної продуктивності земснаряду Q_{TEX} від $Ш_B$. Залежність, як і в першому випадку, описується рівняннями другого ступеня. Як видно з графіків, максимальна продуктивність земснаряду досягається при ширині робочого майданчика 40 м, а мінімальна при 20 м. При цьому, підтверджуються результати попередніх досліджень, які показали, що найбільш ефективною є довжина фронту гірничих робіт земснаряду $L_B = 200$ м, при цьому збільшення L_B до 250 м призводить до значного зменшення його продуктивності через збільшення часу на допоміжні роботи, що робить таку довжину фронту найменш ефективною з розглянутих.

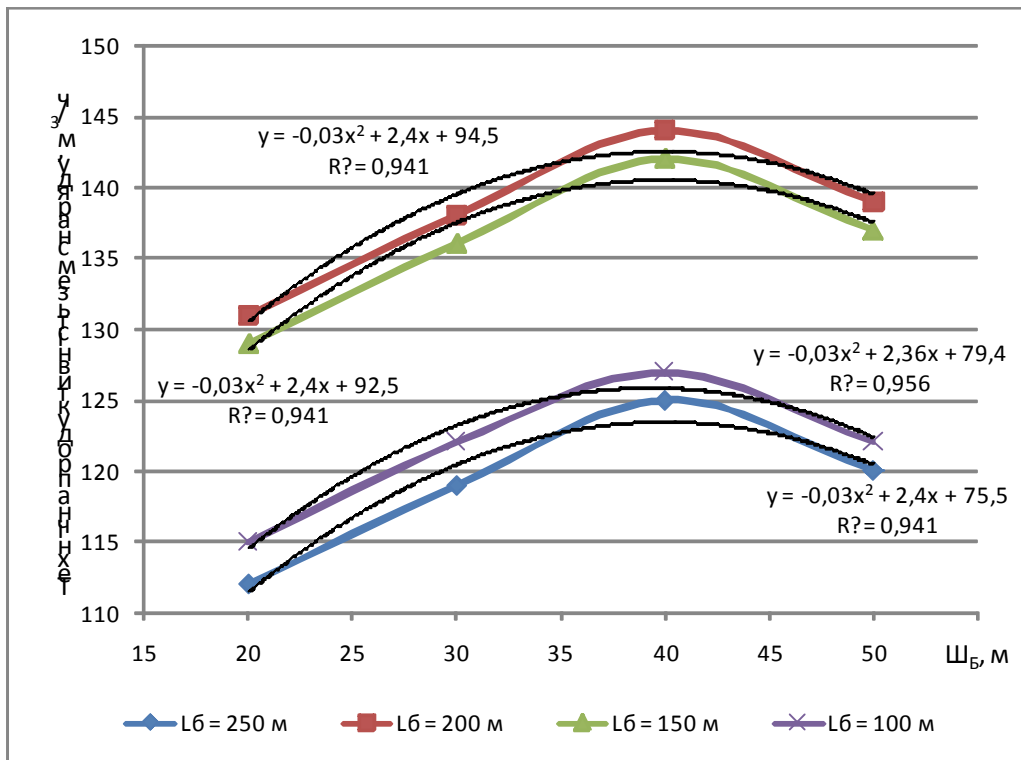


Рис. 4. Залежність технічної продуктивності земснаряду від ширини робочого майданчика $Ш_B$ при довжині фронту робіт від 100 до 250 м

Виконані дослідження зі встановлення залежності технічної продуктивності земснаряду від ширини робочого майданчика $Ш_B$ показали, що ефективність роботи земснаряду досягається при збільшенні $Ш_B$ до 40 м, після чого технічна продуктивність земснаряду починає зменшуватися. Це пояснюється особливістю схеми роботи земснаряду. Так, ширина робочого майданчика, в якій знаходиться земснаряд, впливає на його технічну продуктивність через наступні параметри: частота розміщення і переміщення якорів земснаряду, зміна довжини плавучого

пульпопроводу, установка кінця плавучого пульпопроводу до місця нового підключення, схему переміщення земснаряду в межах майданчика.

Отже, виконані дослідження показують, що при ширині майданчика 40 м досягається найбільш ефективна робота земснаряду, а витрата часу на допоміжні операції зводиться до мінімуму.

При виконанні досліджень зі встановлення залежності технічної продуктивності земснаряду від ширини майданчика $Ш_B$, з метою розрахунку показника максимальної технічної продуктивності земснаряду, обґрунтовано максимальне значення функції $Q_{TEX} = f(Ш_B)$. Встановлення найбільшого значення Q_{TEX} здійснюється шляхом розрахунку екстремумів функції $f(Ш_B) = -0,03Ш_B^2 + 2,4Ш_B + 94,5$, яка відповідає технічній продуктивності земснаряду при довжині фронту робіт $L_B = 200$ м. Для цього знайдемо похідну функції.

Так $f'(Ш_B) = -0,06 Ш_B + 2,4 = -0,06 (Ш_B - 40)$, при цьому критична точка функції $Ш_B = 40$ м. Встановив значення функції у точці $Ш_B = 40$ м, знайдемо екстремум функції $f(40)$, та розрахуємо максимальну продуктивність земснаряду. Для заданих умов вона складає $Q_{TEX} = 142,5$ м³/ч.

Вирішення наступної задачі досліджень полягало у встановленні коефіцієнтів вибою при розробці підводної частини уступу земснарядами. Для цього з отриманих залежностей була побудована система рівнянь відповідно до виразу (1), який дозволяє встановити технічну продуктивність земснаряду при розробці підводної частини уступу:

$$\begin{cases} Q_{tex} = \frac{Q_{3,Г} \cdot \rho \cdot k_3}{q_B + 1 - m} \\ Q_{tex} = -0,002 \cdot L_B^2 + 0,822L_B + 73 \\ Q_{tex} = 0,026 \cdot h_B^3 - 1,1 \cdot h_B^2 + 11,18 \cdot h_B + 119,5 \\ Q_{tex} = -0,03 \cdot Ш_B^2 + 2,4 \cdot Ш_B + 94,5 \end{cases}, \text{ м}^3 / \text{год.} \quad (2)$$

У першому виразі, що входить в систему рівнянь та використовується для встановлення технічної продуктивності земснаряду на практиці, усі параметри відносяться до технічної характеристики земснаряду, або фізико-механічних властивостей гірських порід. Однак коефіцієнт вибою, що враховує продуктивність земснаряду при зміні висоти уступу k_3 є технологічним параметром, який залежить від параметрів підводного уступу, отже за його допомогою можливо виразити вплив таких параметрів, як довжина фронту робіт земснаряду – L_B , потужність підводного уступу – h_B , і ширина робочого майданчика – $Ш_B$ на технічну продуктивність земснаряду.

Відповідно до системи рівнянь, можна виразити коефіцієнт вибою через:
– довжину фронту робіт земснаряду:

$$K_3^{L_6} = \frac{(-0,002 \cdot L_B^2 + 0,822L_B + 73) \cdot (q_B + 1 - m)}{Q_{3,Г} \cdot \rho}; \quad (3)$$

– потужність підводного уступу, що розробляється земснарядом:

$$K_3^{h_b} = \frac{(0,026 \cdot h_b^3 - 1,1 \cdot h_b^2 + 11,18 \cdot h_b + 119,5) \cdot (q_B + 1 - m)}{Q_{3,Г} \cdot \rho}; \quad (4)$$

– ширину робочого майданчика:

$$K_3^{Ш_b} = \frac{(-0,03 \cdot Ш_b^2 + 2,4 \cdot Ш_b + 94,5) \cdot (q_B + 1 - m)}{Q_{3,Г} \cdot \rho}; \quad (5)$$

Залежності коефіцієнта вибою від параметрів системи розробки: довжина фронту робіт земснаряду – L_B , висота підводного уступу – h_B і ширина робочого майданчика – $Ш_B$, наведені на рис. 5.

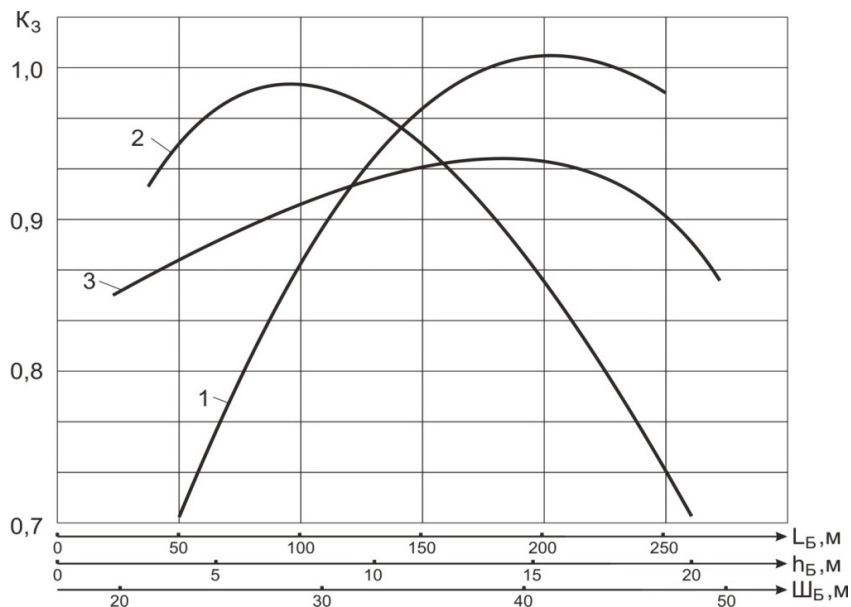


Рис. 5. Залежність коефіцієнта вибою K_3 від довжини фронту робіт земснаряду L_B , потужності підводного уступу h_B , ширини робочого майданчика $Ш_B$;

$$1 - K_3^{L_b}; 2 - K_3^{h_b}; 3 - K_3^{Ш_b}.$$

Як видно з графіків, що наведені на рис. 5, майже у всіх випадках, при ефективних параметрах системи розробки, коефіцієнт вибою досягає 1, тобто при таких параметрах досягається максимальна продуктивність земснаряду.

З цього слідує, що формулу для встановлення технічної продуктивності земснаряду можна виразити наступним чином:

$$Q_{тех} = \frac{Q_{3,Г} \cdot \rho \cdot K_3^{L_b} \cdot K_3^{h_b} \cdot K_3^{Ш_b}}{q_B + 1 - m}, \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (6)$$

Висновки. Виконані дослідження зі встановлення раціональних параметрів елементів системи розробки підводного видобутку титан-цирконієвих руд

дозволили встановити, що найбільшу продуктивність земснаряд – 12Э.40М.42.3 досягає при наступних значеннях: довжина фронту робіт земснаряду – $L_B = 205,5$ м, потужність підводного уступу – $h_B = 6$ м, ширина робочого майданчика – $Ш_B = 40$ м, цим значенням відповідають наступні коефіцієнти вибою $K_3^{L_B} = 1,05$, $K_3^{h_B} = 0,98$, $K_3^{Ш_B} = 0,92$, відповідно.

Таким чином можна стверджувати, що вперше встановлені нові залежності коефіцієнту вибою K_3 від довжини фронту робіт земснаряду L_B , висоти підводного уступу h_B , ширина робочого майданчика $Ш_B$, що дозволяє визначати максимальну продуктивність роботи земснаряду.

Перелік посилань

1. Гайдін А.М. Розробка обводнених родовищ титанових руд: Монографія / А.М. Гайдін, Б.Ю. Собко, О.М. Лазніков // Літограф. – Д.: Літограф, – 2016. – 216 с.
2. Собко Б.Е. Совершенствование технологии открытой разработки россыпных титаноциркониевых руд /Б.Е. Собко. – Днепропетровск: РИК НГУ.- 2008. – 167 с.
3. Нурок Г.А. Гидромеханизация открытых разработок / Нурок Г.А. - М.: Недра, 1970. – 578 с.
4. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ / Нурок Г.А. - М.: Недра, 1985. - 583 с.

ABSTRACT

Purpose. To develop the method for determination of underwater bench rational parameters at the using of surface mining dredgers. According to complicated geological and hydrogeological conditions at the mining of flooded placer titanium-zirconium deposits the new methods include determining the work parameters of the dredgers, which based on the results of experimental studies.

The methods of research consists on experimental researches and mathematical substantiation of rational underwater bench parameters that allow to increase the dredgers output. The main goal of rational parameters substantiation at the mining underwater bench includes the solving of three practical and scientific tasks.

Findings. Definition of basic criteria for evaluating the effectiveness of the dredger in terms of underwater mining ore, establish of underwater bench rational parameters with using the suggested criteria, development recommendations for calculation of the underwater mining bench parameters at the design of flooded bench technological charts at the mining Matronovsky placer deposit are given.

The originality is to determine the width, length and height of underwater bench at the dredgers using. It can be argued that the first time set the new dependencies the bench ratio on the bench length at the dredger work area L_B , the height of the underwater bench h_B , the width of the work area $Ш_B$, which allow to determine the maximum output of the dredger at the flooded placer deposits mining.

Practical implications. Proposed bench ratio for determination of productivity can be used at development of horizontal placer deposits by dredgers.

Keywords: *surface mining, placer deposits, flooded field, dredger, bench ratio*