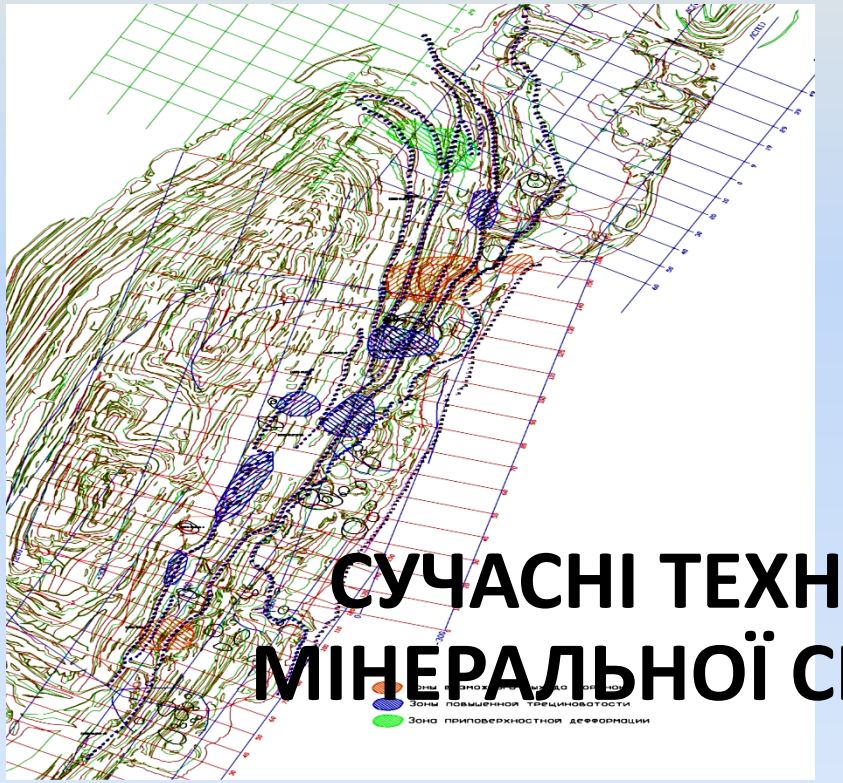
На здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки за 2017 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД «КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

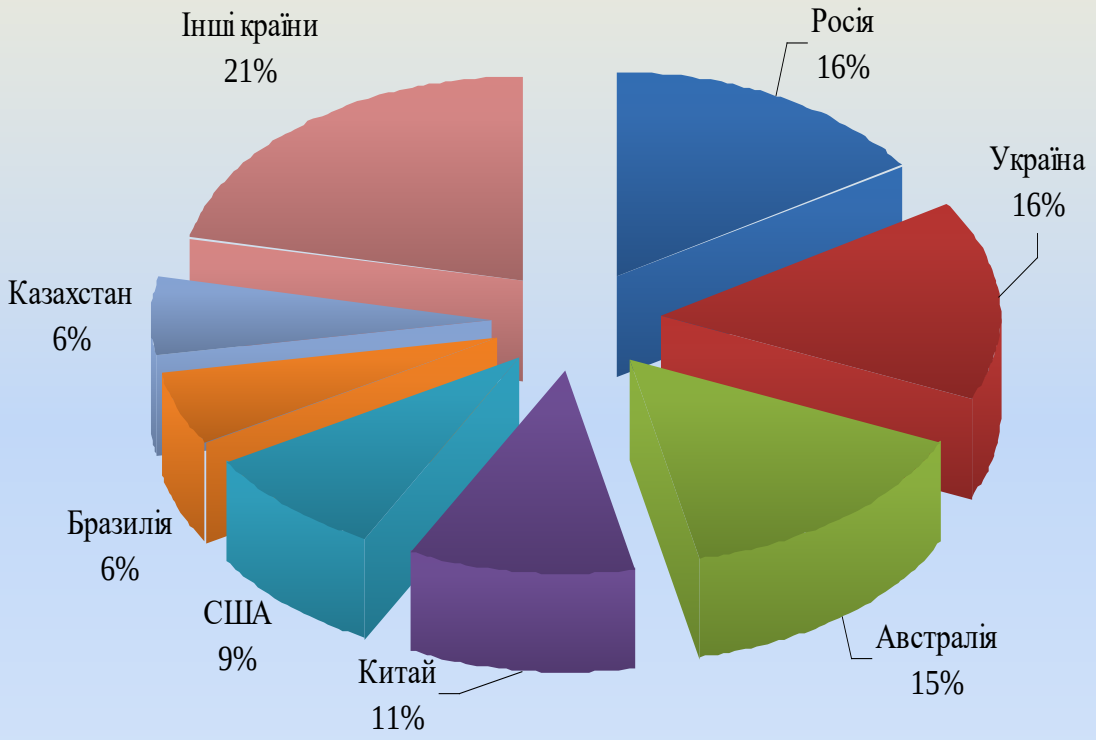


СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ТА ПЕРЕРОБКИ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ КОРІННИХ І ТЕХНОГЕННИХ РОДОВИЩ

Автори розробки

- **Ступнік Микола Іванович** – доктор технічних наук, професор, в. о. ректора Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет»
- **Олійник Тетяна Анатоліївна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри збагачення корисних копалин і хімії Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет»
- **Перегудов Володимир Володимирович** – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки, директор Державного підприємства «ДПІ «Кривбаспроект»
- **Протасов Віктор Петрович** – заступник головного інженера інституту Державного підприємства «ДПІ «Кривбаспроект»
- **Собко Борис Юхимович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відкритих гірничих робіт Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет»
- **Федін Костянтин Анатолійович** – кандидат технічних наук, генеральний директор ВАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»
- **Короленко Михайло Костянтинович -** голова правління – генеральний директор ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат»

Стан проблеми



Питома вага запасів залізних руд України до загальних світових

Україна займає одне з провідних місць у світі по запасам залізних руд та титанової сировини (11 % і 20 % світових запасів відповідно). Основною складовою частиною залізорудної галузі є Криворізький басейн, де сконцентровано 4/5 діючих потужностей з видобутку та переробки залізорудної сировини.

За період 2009-2016 рр. об’єм виробництва високоякісної продукції збільшено з 15,97 млн т до 25,45 млн т (+59,3%). Імпорт ЗРС в Україну зменшено з 3,8 млн т до 1,5 млн т.

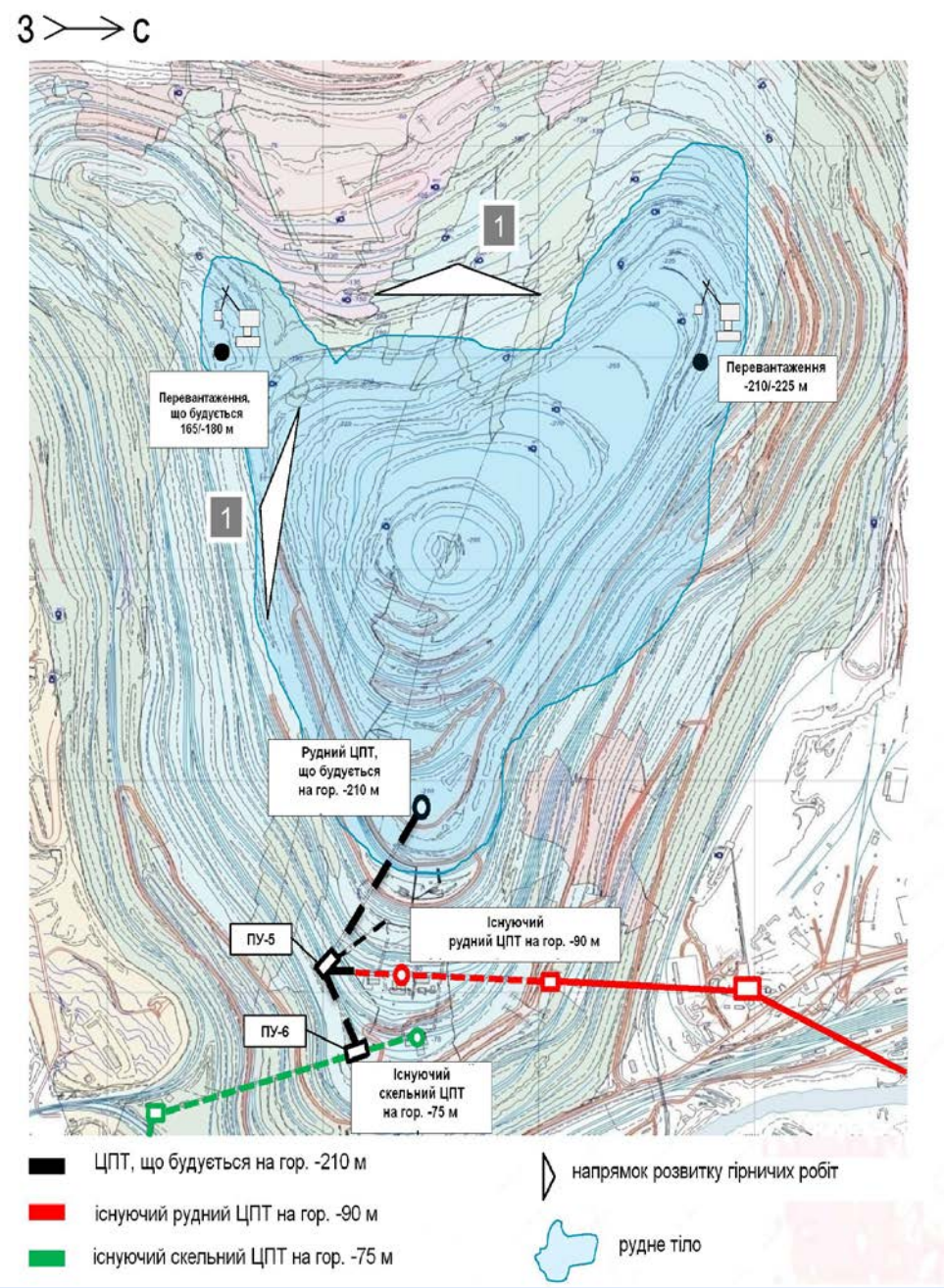
У 2016 році виробництво залізорудної продукції доведено до 74,6 млн т, що на 8,1% більше ніж у 2009 році (+12,2%). Експорт залізорудної сировини збільшився з 28,7 млн т до 37,8 млн т (+31,7%). Максимальний об’єм поставок залізорудної продукції на експорт був досягнутий у 2015 році та склав 45,5 млн т.

Збільшення експорту стало можливим за рахунок істотного нарощування об’ємів виробництва високоякісної продукції, що в свою чергу дозволило знизити негативний вплив кризи та запобігти більш суттєвим втратам виробництва в період 2014-2016 рр., які супроводжувалися зниженням активності на ринках споживання та обвальним падінням цін на залізорудну сировину.

В роботі створено та впроваджено нові прогресивні ефективні та ресурсозберігаючі технології видобутку та переробки мінеральної сировини корінних і техногенних родовищ в складних гірничо-геологічних умовах, що дозволило зберегти найпотужніший виробничий та експортний потенціал країни та його значення для економіки України

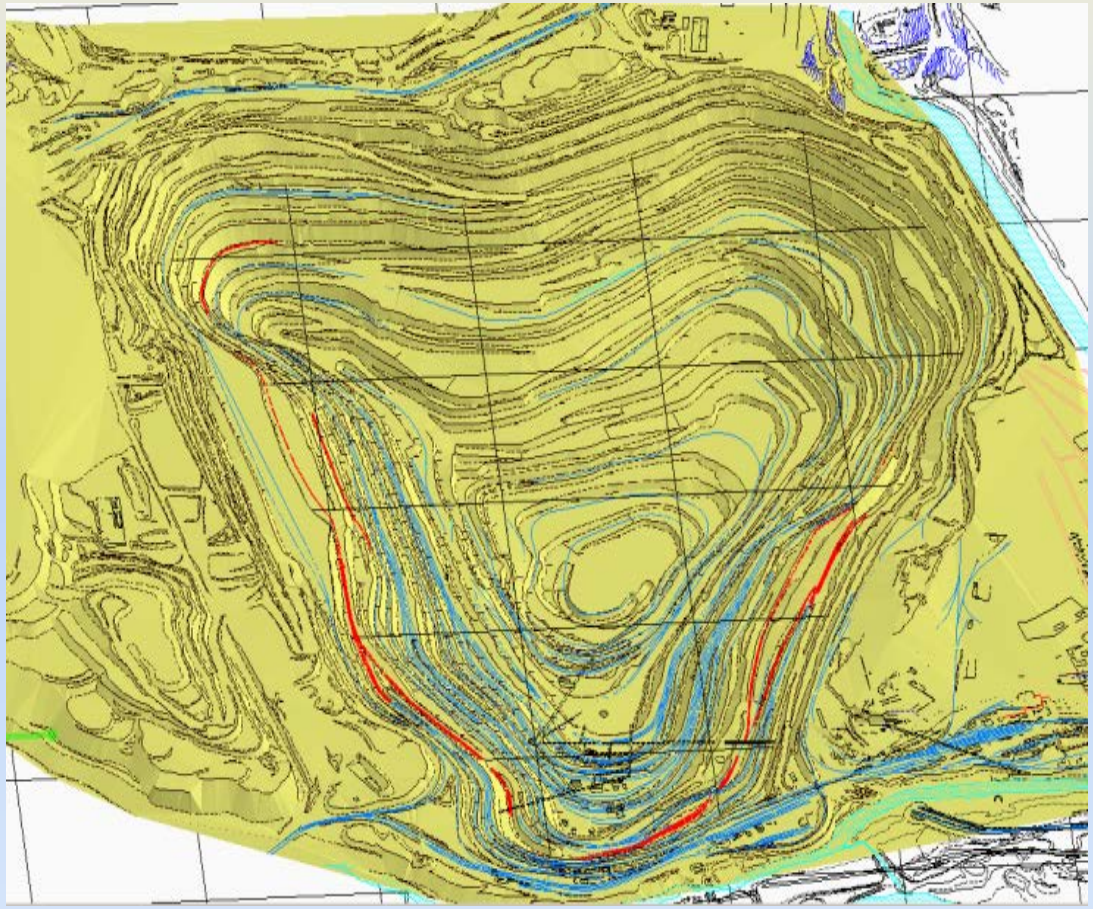
Актуальність проблеми

- Недостатня та змінна конкурентоспроможність товарної продукції для металургії на внутрішньому й зовнішньому ринках порівняно з основними світовими виробниками, необхідність постійного введення нових потужностей з видобутку сировини замість тих, що вибувають з експлуатації, необхідність поповнення сировинної бази іншими видами залізорудної та титанової сировини, постійне збільшення витрат на видобуток руди, пов’язане з інтенсивним зниженням рівня гірничих робіт та погіршенням гірничо-геологічних умов, необхідністю розробки обводнених родовищ титан-цирконієвих руд з пливунними особливостями та малою водовіддачею, недовершеність схем розкриття, транспортних схем і систем розробки, технологій збагачення сировини, значний обсяг утворення відходів виробництва (5-7 т на тонну товарної продукції) та обмеженість вільних площ для їх складування, а також значний рівень зносу активної частини основних фондів, висока енергоємність видобутку руди у зв'язку зі збільшенням глибини кар'єрів і шахт, та негативний вплив виробничої діяльності гірничовидобувних підприємств на довкілля – основні чинники зниження ефективності гірничовидобувного комплексу.
- Гостра необхідність мінімізації негативного впливу цих проблем визначає **актуальність та значення** виконаної роботи.
- Представлена робота базується на основних положеннях **державної стратегії** розвитку економіки України



Базові підходи та складові

- **За напрямком стратегія розробок** базується на дотриманні алгоритму впровадження результатів НДР у виробництво, тобто НДР → технічний проект → виробництво.
- **Наукові дослідження** направлено на синтез нових рішень й на всебічне, об´єктивне і ґрунтовне вивчення і розробку технологій видобутку та переробки мінеральної сировини корінних і техногенних родовищ, встановлення їх характеристик, зв´язків на підставі розроблених у роботі принципів і методів пізнання, а також отримання результатів, направлених на підвищення ефективності надрокористування та виробничої діяльності, упровадження яких у виробництво підвищить його ефективності
- **Проектні розробки** спрямовано на збереження сировинної бази металургійної промисловості, забезпечення сталого функціонування гірничо-видобувного комплексу, підтримання експортного потенціалу України.
- **Впровадження у виробництво** сприяли розв’язанню негативних проблем, що накопичувалися протягом тривалого періоду експлуатації родовищ Криворізького залізорудного басейну та істотному нарощуванню обсягів виробництва високоякісної продукції
- **За напрямком роботи опубліковано**: 336 робіт, зокрема: 19 монографій і підручників, 282 статті (22 - у зарубіжних виданнях, 33 - у базі Scopus), 3 нормативні документи. Загальна кількість посилань на публікації авторів складає 17 (згідно з базою Scopus), h-індекс=2 та 1 (згідно з базою Scopus). Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 35 авторськими свідоцтвами та патентами. За даною тематикою захищено 4 докторських та 12 кандидатських дисертацій

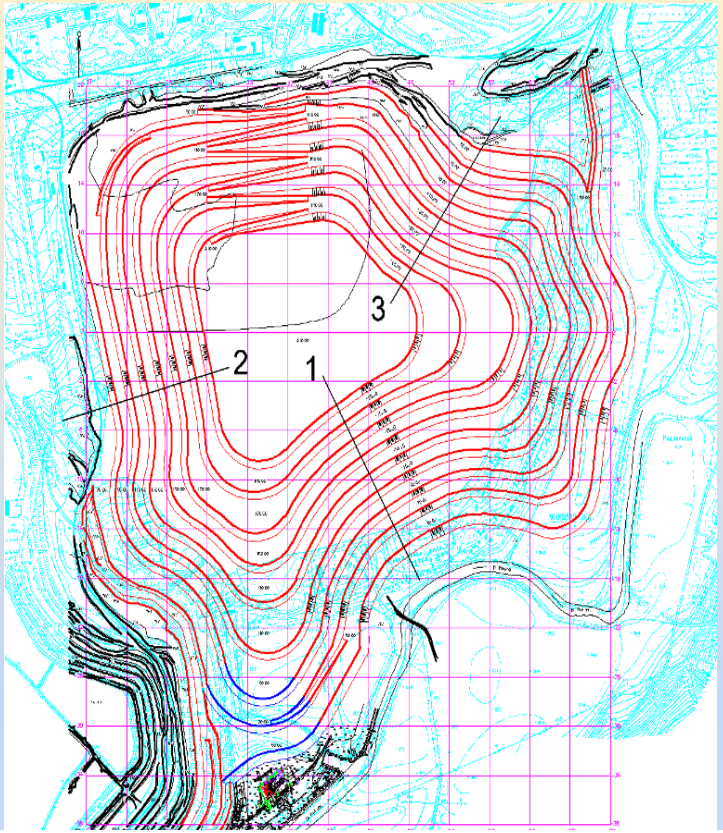


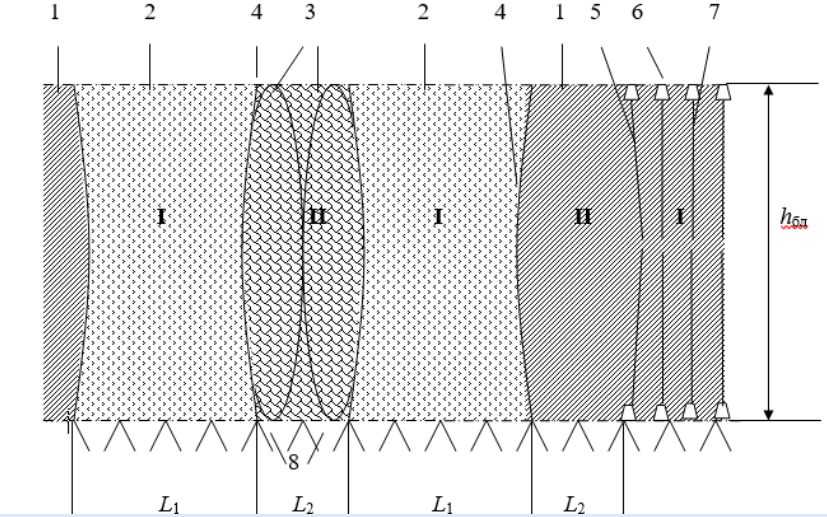
Мета і завдання роботи

- **Мета роботи** – підвищення ефективності надрокористування на базі створення та впровадження нової системи прогресивних технологій видобутку й переробки корінних і техногенних родовищ як основи сировинної бази України, її перспективного розвитку в гірничо-геологічних умовах, що ускладнюються.

Завдання роботи

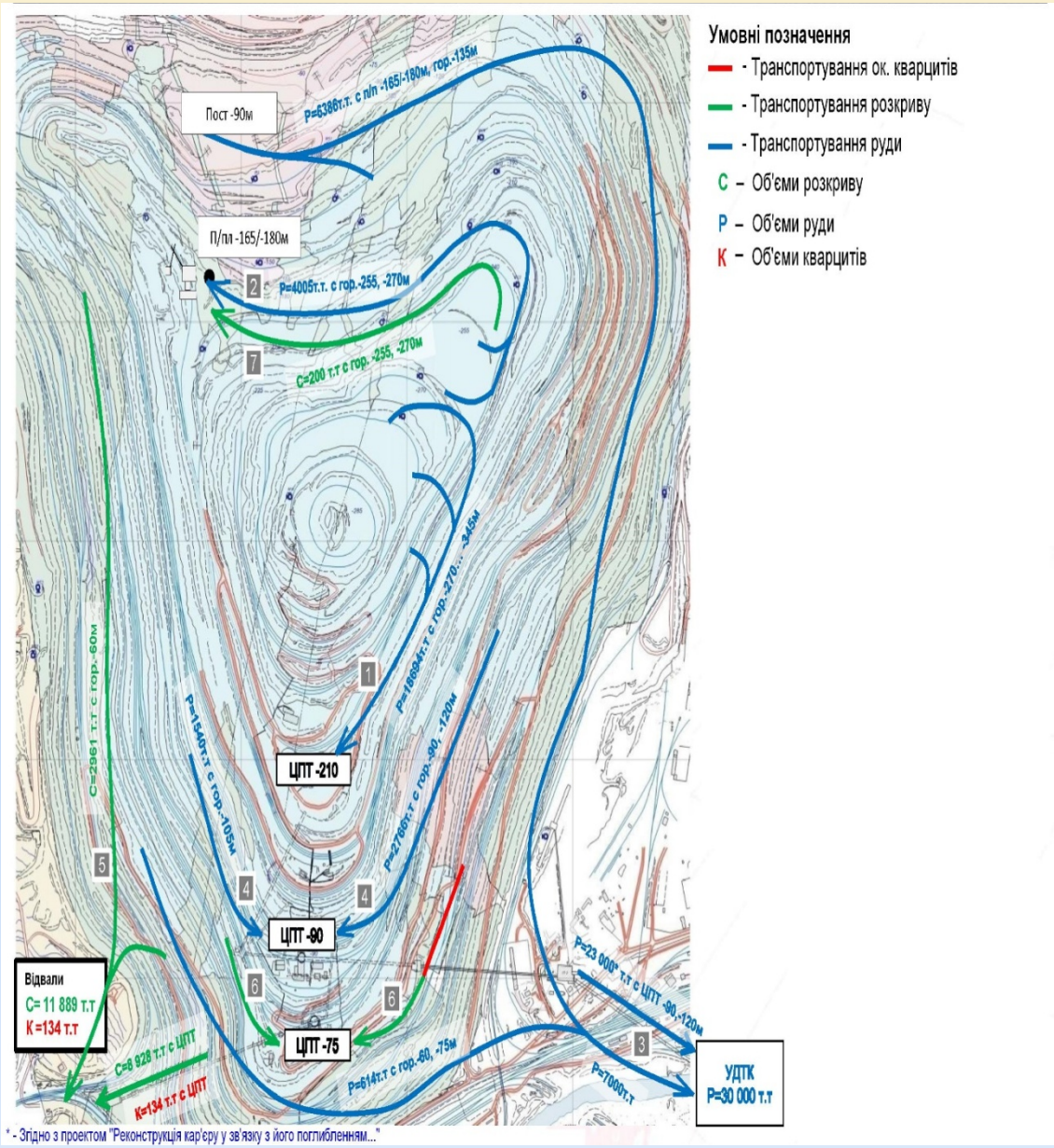
- розробка технологічних рішень з підтримки потужностей кар'єрів і шахт за рахунок залучення до видобутку та переробки запасів руди за їх контурами, розконсервації раніше тимчасово законсервованих гірничих об'єктів;
- обґрунтування й упровадження вдосконалених схем розкриття, транспортних схем і систем розробки за рахунок широкого використання циклічно-потокових технологій, у тому числі з використанням крутопохилих конвеєрів;
- наукове обґрунтування й застосування внутрішньокар'єрного відвалоутворення для скорочення відстані транспортування гірничої маси та відведення нових площ земельних ділянок;
- обґрунтування застосування методу сухої магнітної сепарації для попереднього збагачення магнетитових кварцитів і виділення бідної частини багатих руд
- удосконалення технологій збагачення та впровадження довідних операцій, що забезпечують підвищення вмісту заліза в концентратах до 67-68% та в багатих залізних рудах до 60%;;
- розробка й упровадження новітніх технологій залучення до переробки техногенних родовищ (відходів збагачення сировини) з метою збільшення виробництва товарної продукції, вивільнення ємностей діючих хвостосховищ;
- розробка та реалізація комплексу науково-технічних рішень зі зниження негативного впливу виробничої діяльності гірничодобувних підприємств на навколишнє середовище, у тому числі за рахунок збільшення вилучення корисних компонентів, удосконалення системи розробки родовищ з закладанням виробленого простору.



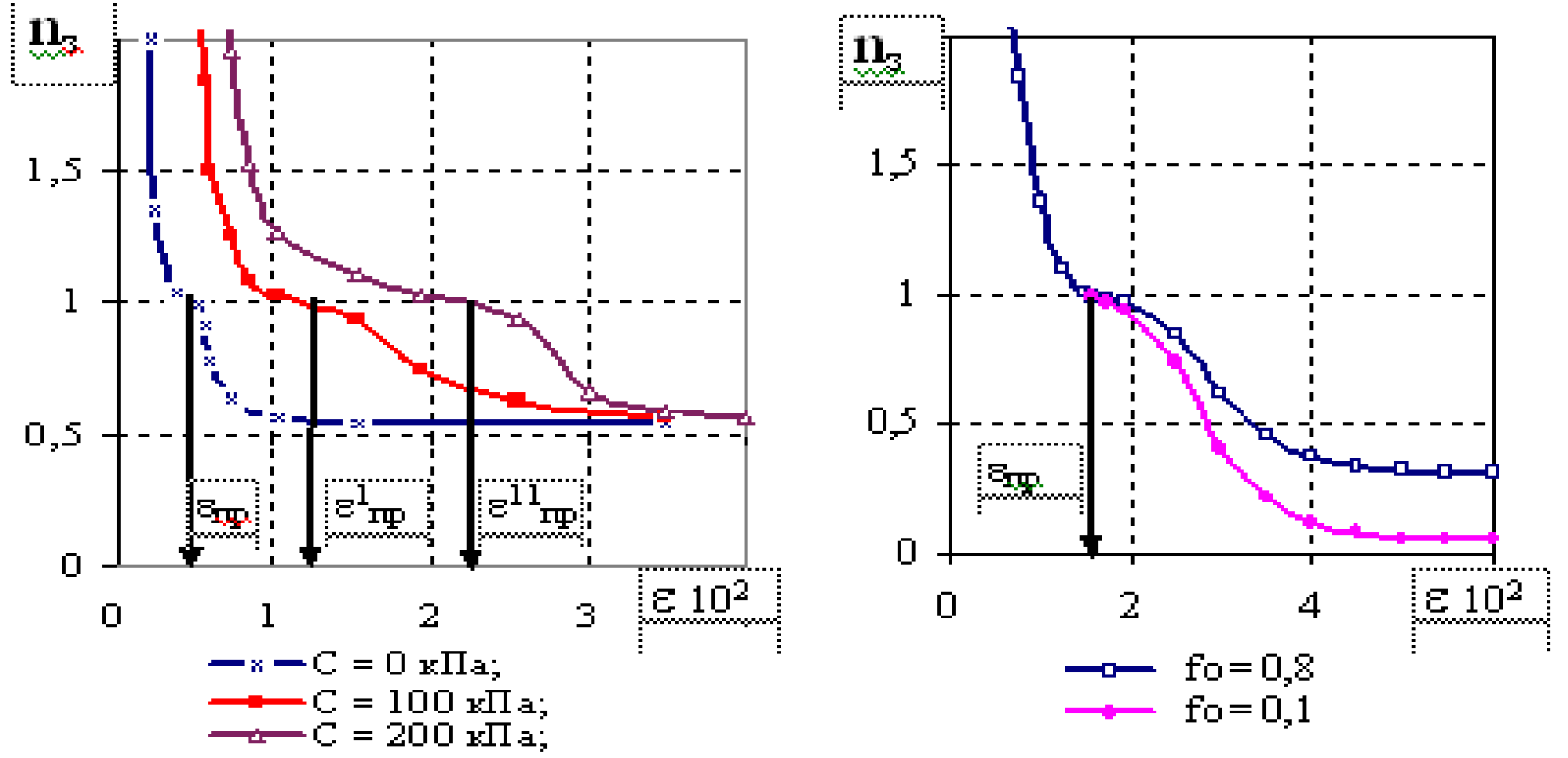


Ідеї та етапи роботи

- **На рівні концепції** сформовано базові концептуальні засади залучення до видобутку й переробки позаконтурних запасів сировини, окислених залізистих кварцитів, магнетитових кварцитів підземного видобутку, титан-цирконієвих пісків та техногенних родовищ (відходів збагачення)
- **На етапі розробки** розроблено методи визначення й контролю параметрів надійності стійкого стану уступів і бортів кар’єрів, керування якістю вибухової підготовки гірничої маси, установлено закономірності зміни робочої зони кар’єру від показника концентрації гірничих робіт у ньому, виявлено залежності ефективності розробки мінеральної сировини від глибини та гірничо-геологічних умов її залягання, запропоновано технологічні схеми розробки обводнених розсипних та техногенних родовищ, обґрунтовано сфери оптимального використання технології сухої магнітної сепарації, розроблено технології переробки важкозбагачуваних магнетитових кварцитів, флотаційного дозбагачення первинних концентратів з одержанням високоякісних концентратів.
- **На етапі підготовки виробництва** розроблено нові проектно-технологічні рішення з нейтралізації негативного впливу проблем, які пов’язані із збільшенням глибини ведення гірничих робіт та погіршенням гірничо-геологічних умов залягання покладів залізорудної сировини, які забезпечили ефективну роботу гірничовидобувних підприємств та дозволили покращити стан сировинних баз заліза й титану, а також створили умови перспективного їх розвитку.
- **На етапі впровадження** - загальний річний економічний ефект від упровадження результатів наукових досліджень та комплексу технічних рішень склав понад 2,29 млрд. грн.



Числове моделювання



Зміна ступеня стійкості породного схилу з ростом його деформованого стану

Числове моделювання

$$n_3 = \frac{2\int_0^a \left[\gamma h_i \cos(\delta_i)\, tg(\varphi^1 + \alpha_i) + \frac{C^1 \cdot (1-\varepsilon_h)}{\cos^2 \alpha_i (1 - tg\varphi^1 tg\alpha_i)} \right] dx}{\int_0^a [\gamma \cdot h_i \cdot \sin(2\delta_i)] dx};$$

$$n_3 = \frac{\int_0^a \left[\gamma h_i \cos(\delta_i) \cdot tg\varphi + C \cdot (1-\varepsilon_h) \right] dx}{\int_0^a [\gamma h_i \cdot \sin(2\delta_i)] dx};$$

де:

n_3 - коефіцієнта запасу стійкості;

а - довжина поверхні зсуву, м;

φ^1 - кут тертя по поверхні тріщини, град.;

ε_h - ступінь розкриття тріщин, частки од.;

C^1 - коефіцієнт зчеплення жильної глини, Па;

φ - кут внутрішнього тертя корінної породи, град.;

С - коефіцієнт зчеплення корінної породи, Па;

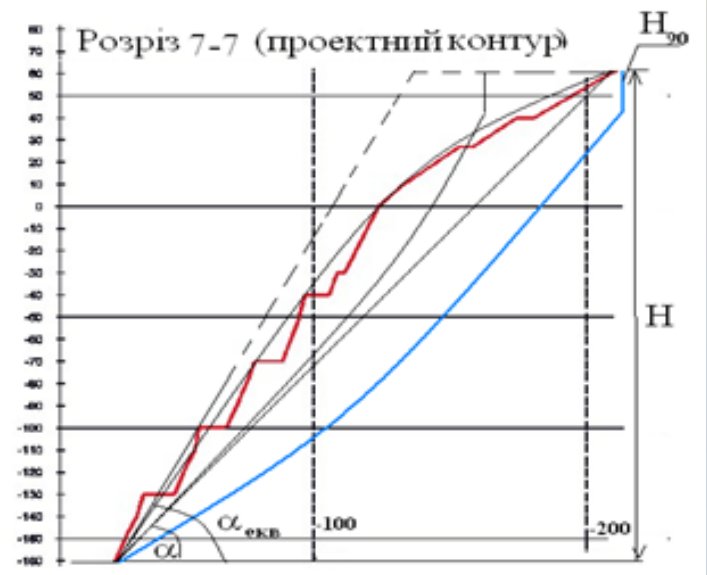
γ - об'ємна вага гірських порід у межах призми зсуву, Н/м^3;

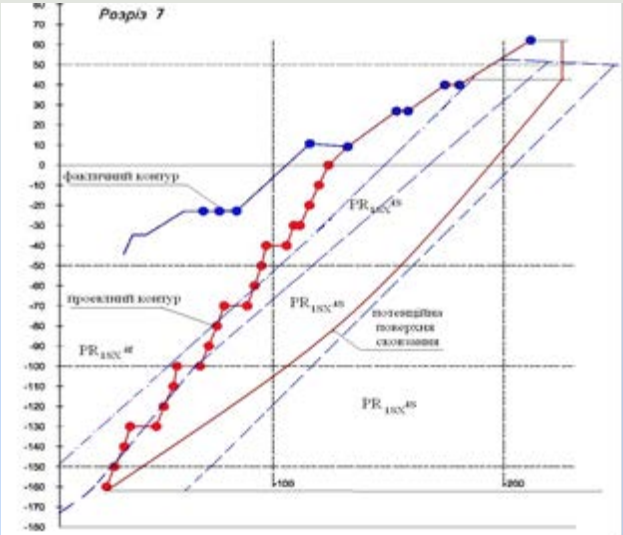
δ_i - кут нахилу поверхні зсуву, град.;

h_i - висота призми зсуву в досліджуваній точці, м;

α_i - ефективний кут механічного зчеплення тріщини, град.

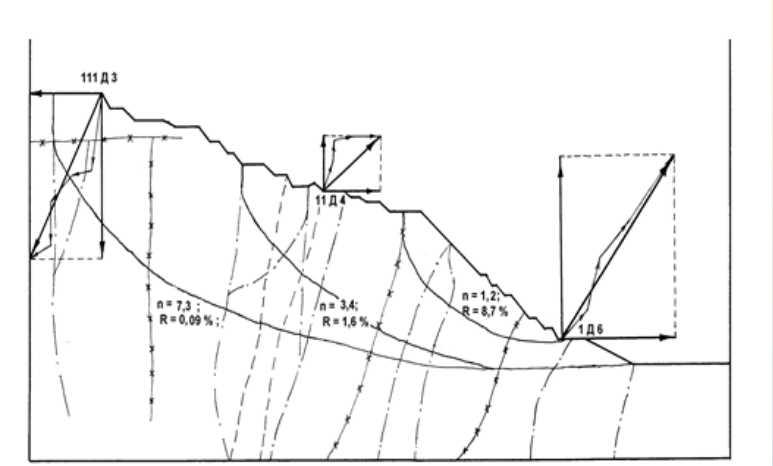
Математичне моделювання



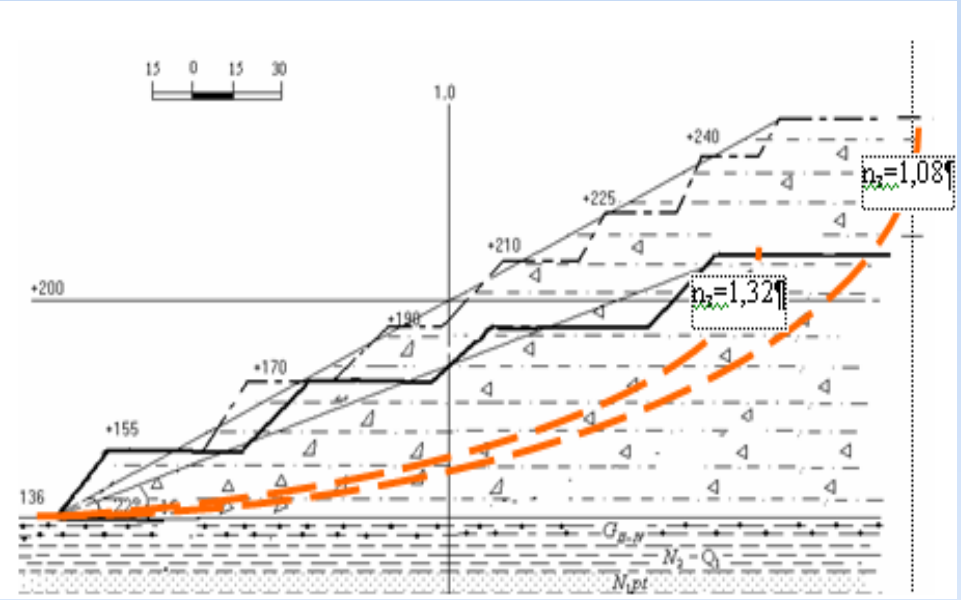


а б

Розрахунковий розріз по східному борту кар'єру «Північний» МНДП «Укрмеханобр»:
а) у стандартному вигляді; б) в електронному вигляді

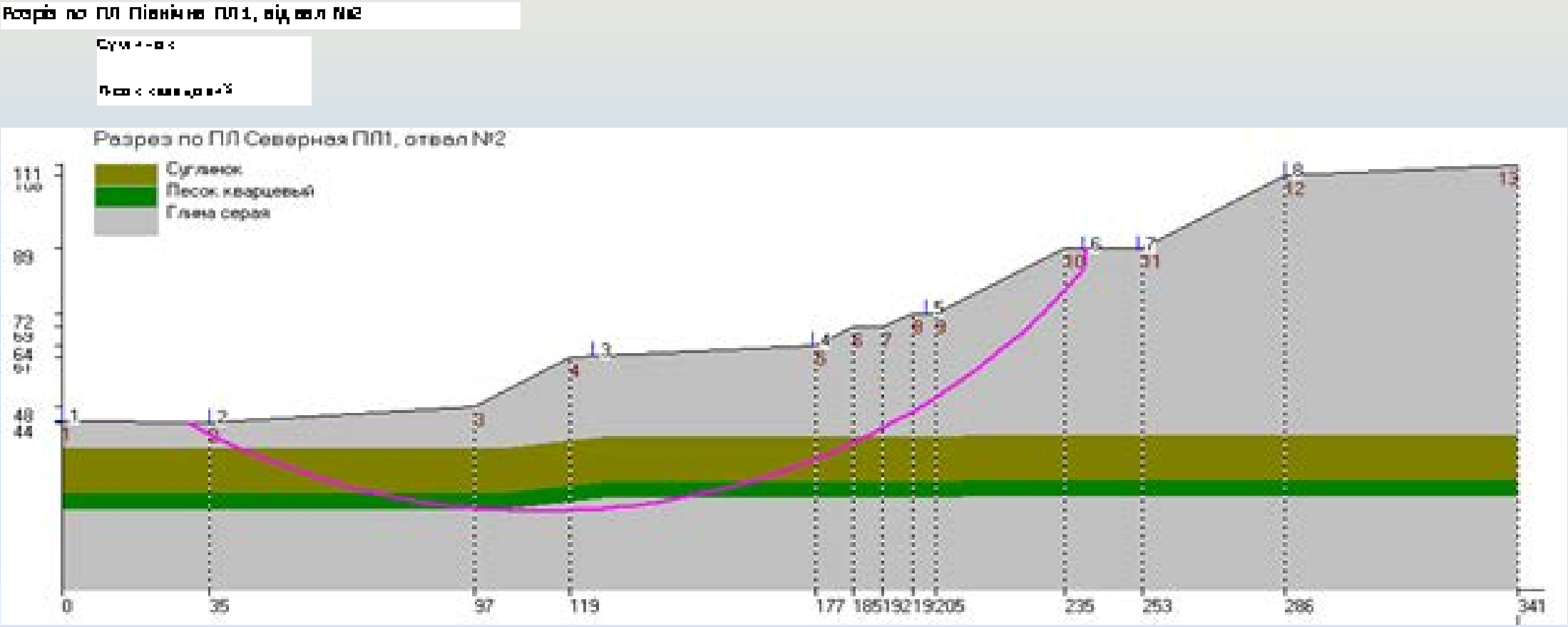


Розрахункова схема по перетину північно-східного борту Першотравневого кар'єру



Розрахункова схема до визначення стійкості зовнішніх відвалів

Математичне моделювання



Вікно розрахунку коефіцієнта запасу стійкості по поверхні ковзання

Математичне моделювання

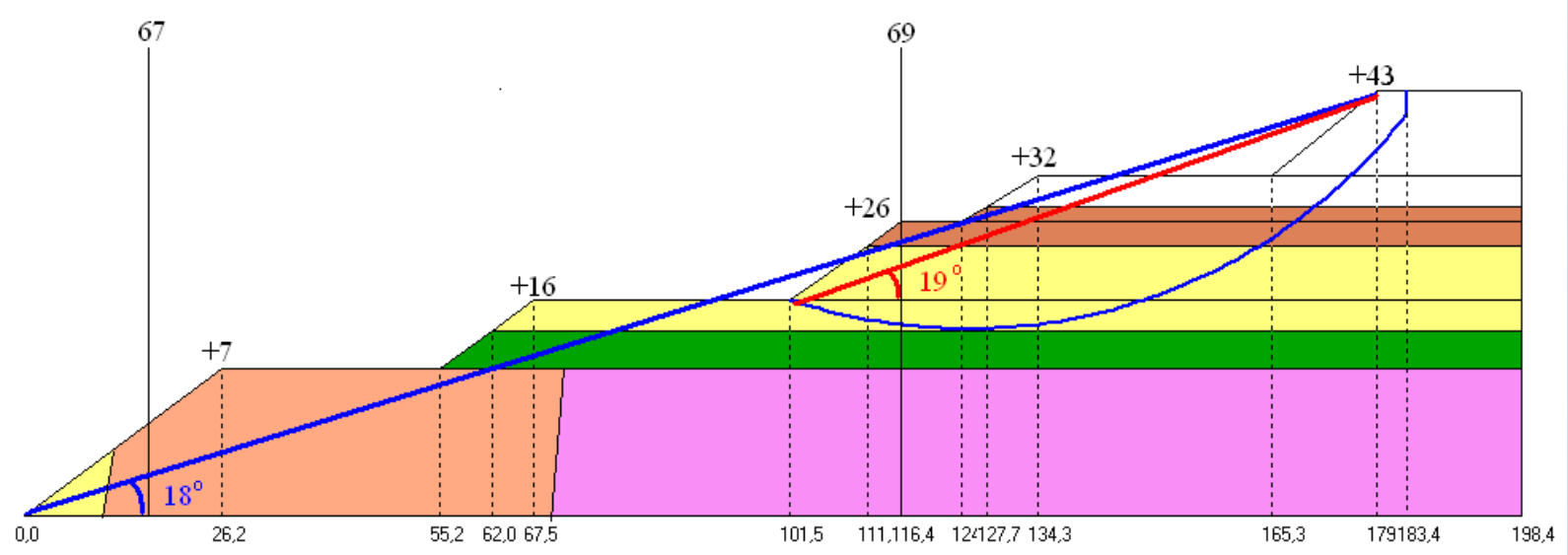
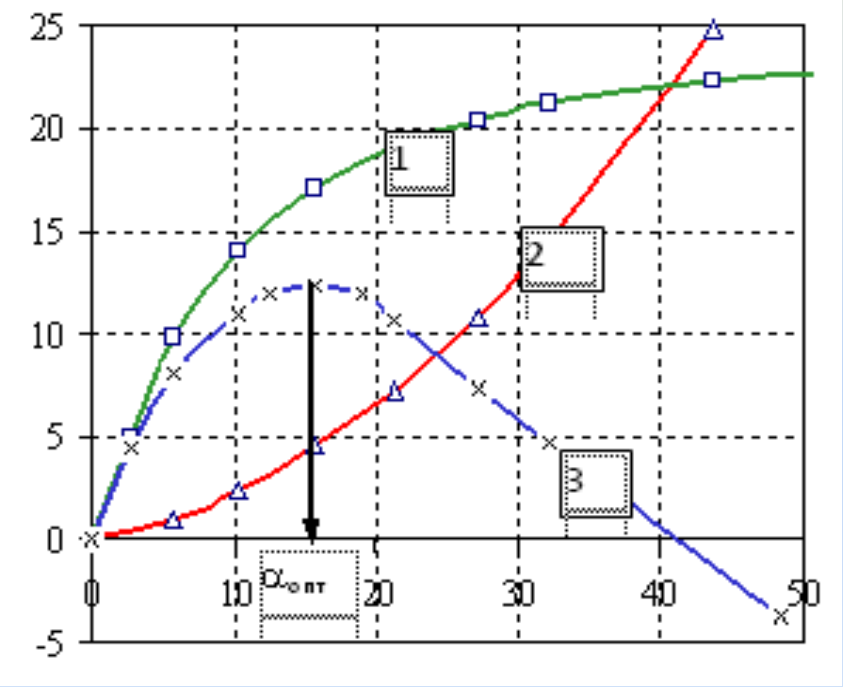


Схема до розрахунку стійкості північно-східного борту кар'єру ПрАТ «Інгулецький ГЗК»

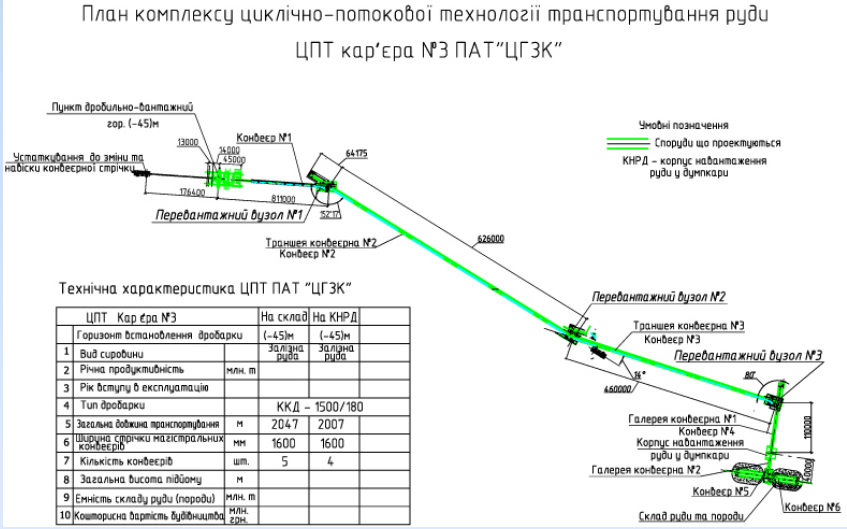


Зміна цільової функції доходу для неробочого борту відвалу № 3
(1 - крива економічного ефекту; 2 - крива ймовірного економічного збитку; 3 - зміна цільової функції доходу)

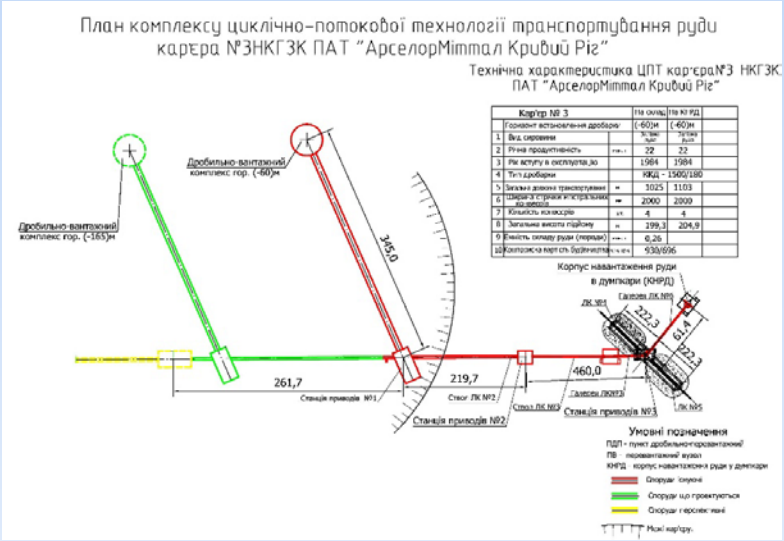
Нові підходи, моделі та методи

ЦПТ Ганівський кар'єр		При подачі на складі №1	При подачі на КНРД№1	При подачі на складі №2	При подачі на КНРД№2
Горизонт встановлення дробарки		(-20,35)м	(-20,35)м	(-20,35)м	(-20,35)м
1 Вид сировини		Залізна руда	Залізна руда	Залізна руда	Залізна руда
2 Річна продуктивність	млн. т	18	18		
3 Рік вступу в експлуатацію		2002	2002		
4 Тип дробарки		ККД - 1500/180			
5 Загальна довжина транспортування	м	1908	1648,6	1942	169
6 Ширина стрічки мгістральних конвеєрів	мм	2000	2000	2000	200
7 Кількість конвеєрів	шт.	5	3	5	5
8 Загальна висота підйому	м	180,35	134,5		
9 Ємність складу руди (породи)	млн. т	0,2	-	0,16	-
10 Кошторисна вартість будівництва	млн. грн.				

ЦПТ Першотравневий кар'єр		При подачі на склад	При подачі на КНРД
Горизонт встановлення дробарки		(-115)м	(-115)м
1 Вид сировини		Залізна руда	Залізна руда
2 Річна продуктивність	млн. т	20	
3 Рік вступу в експлуатацію		2006	
4 Тип дробарки		ККД - 1500/180	
5 Загальна довжина транспортування	м	1917,2	1778
6 Ширина стрічки мгістральних конвеєрів	мм	2000	2000
7 Кількість конвеєрів	шт.	5	3
8 Загальна висота підйому	м	140	145
9 Ємність складу руди (породи)	млн. т	0,25	-
10 Кошторисна вартість будівництва	млн. грн.		



ЦПТ Кар'єр №3		На склад	На КНРД
Горизонт встановлення дробарки		(-45)м	(-45)м
1 Вид сировини		Залізна руда	Залізна руда
2 Річна продуктивність	млн. т		
3 Рік вступу в експлуатацію			
4 Тип дробарки		ККД – 1500/180	
5 Загальна довжина транспортування	м	2047	2007
6 Ширина стрічки магістральних конвеєрів	мм	1600	1600
7 Кількість конвеєрів	шт.	5	4
8 Загальна висота підйому	м		
9 Ємність складу руди (породи)	млн. т		
10 Кошторисна вартість будівництва	млн. грн.		



Кар'єр № 3		На склад	На КНРД
Горизонт встановлення дробарки		(-60)м	(-60)м
1 Вид сировини		Залізна руда	Залізна руда
2 Річна продуктивність	млн. т	22	22
3 Рік вступу в експлуатацію		1984	1984
4 Тип дробарки		ККД - 1500/180	
5 Загальна довжина транспортування	м	1025	1103
6 Ширина стрічки мгістральних конвеєрів	мм	2000	2000
7 Кількість конвеєрів	шт.	4	4
8 Загальна висота підйому	м	199,3	204,9
9 Ємність складу руди (породи)	млн. т	0,26	
10 Кошторисна вартість будівництва		930/696	

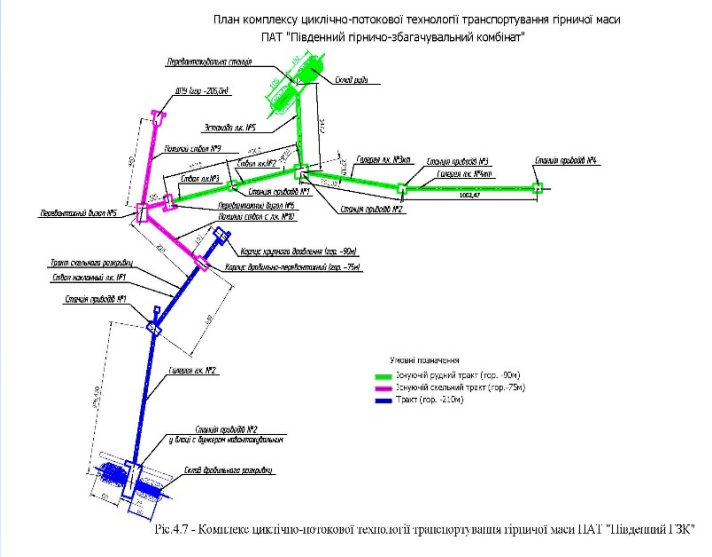


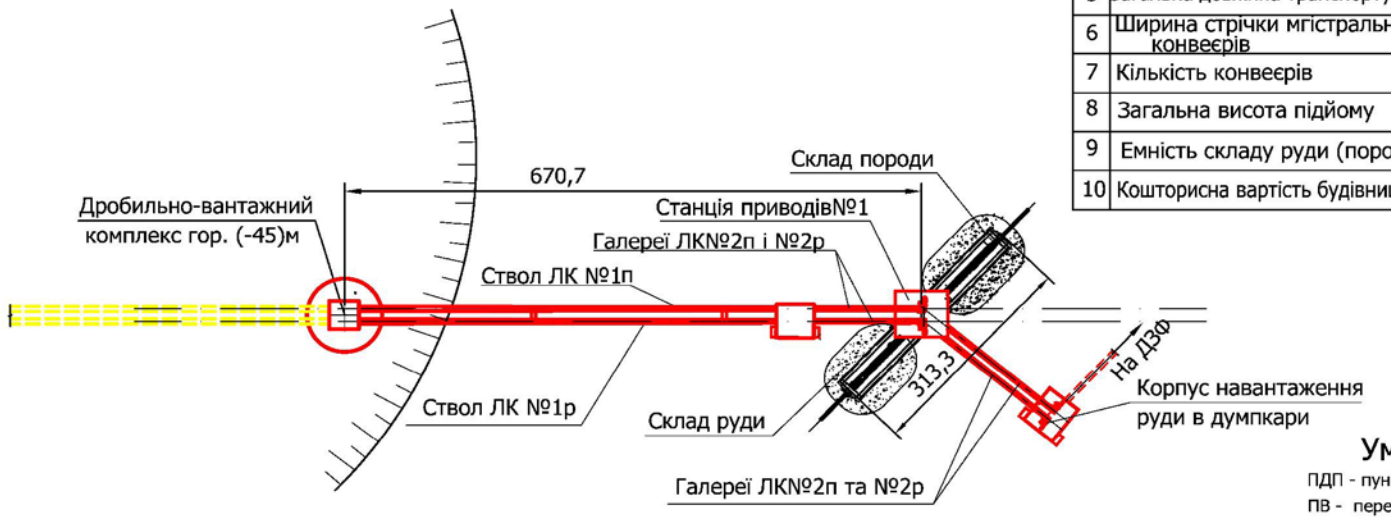
Рис.4.7 - Комплекс циклічно-потокової технології транспортування гірничої маси ПАТ "Південний ГЗК"

Нові підходи, моделі та методи

План комплексу циклічно-потокової технології транспортування руди кар'єра №2-біс НКГЗК ПАТ " АрселорМіттал Кривий Ріг"

Технічна характеристика ЦПТ кар'єра№2-біс НКГЗК

	Кар'єр №2-біс		На склад руди	На ДЗФ (КНРД)	На склад породи
	Горизонт встановлення дробарки		(-45)м	(-45)м	(-45)м
1	Вид сировини		Залізна руда	Залізна руда	
2	Річна продуктивність	млн. т	10	10	10
3	Рік вступу в експлуатацію		1986	1987	1987
4	Тип дробарки		ККД - 1500/180		
5	Загальна довжина транспортування	м	1554	1560	780
6	Ширина стрічки мгістральних конвеєрів	мм	1600	1600	1600
7	Кількість конвеєрів	шт.	2+2	2+2	2+2
8	Загальна висота підйому	м	158,8	164,78	158,8
9	Ємність складу руди (породи)	млн. т	0,085		0,045
10	Кошторисна вартість будівництва	млн. грн.	468/282		



Умовні позначення

ПДП - пункт дробильно-перевантажний

ПВ - перевантажний вузол

КНРД - корпус навантаження руди у думпкари

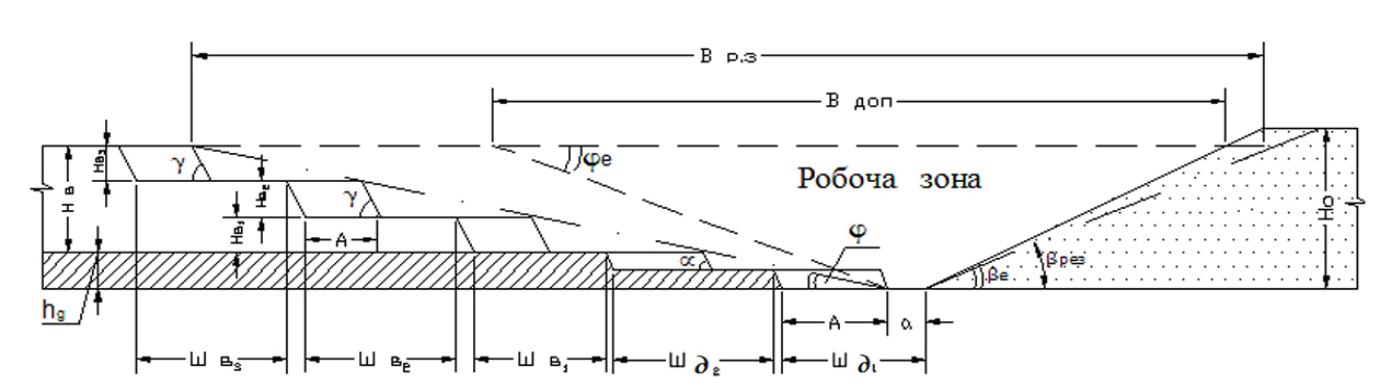
Споруди існуючі

Споруди що проектуються

Споруди перспективні

Межі кар'єру.

Нові підходи, моделі та методи

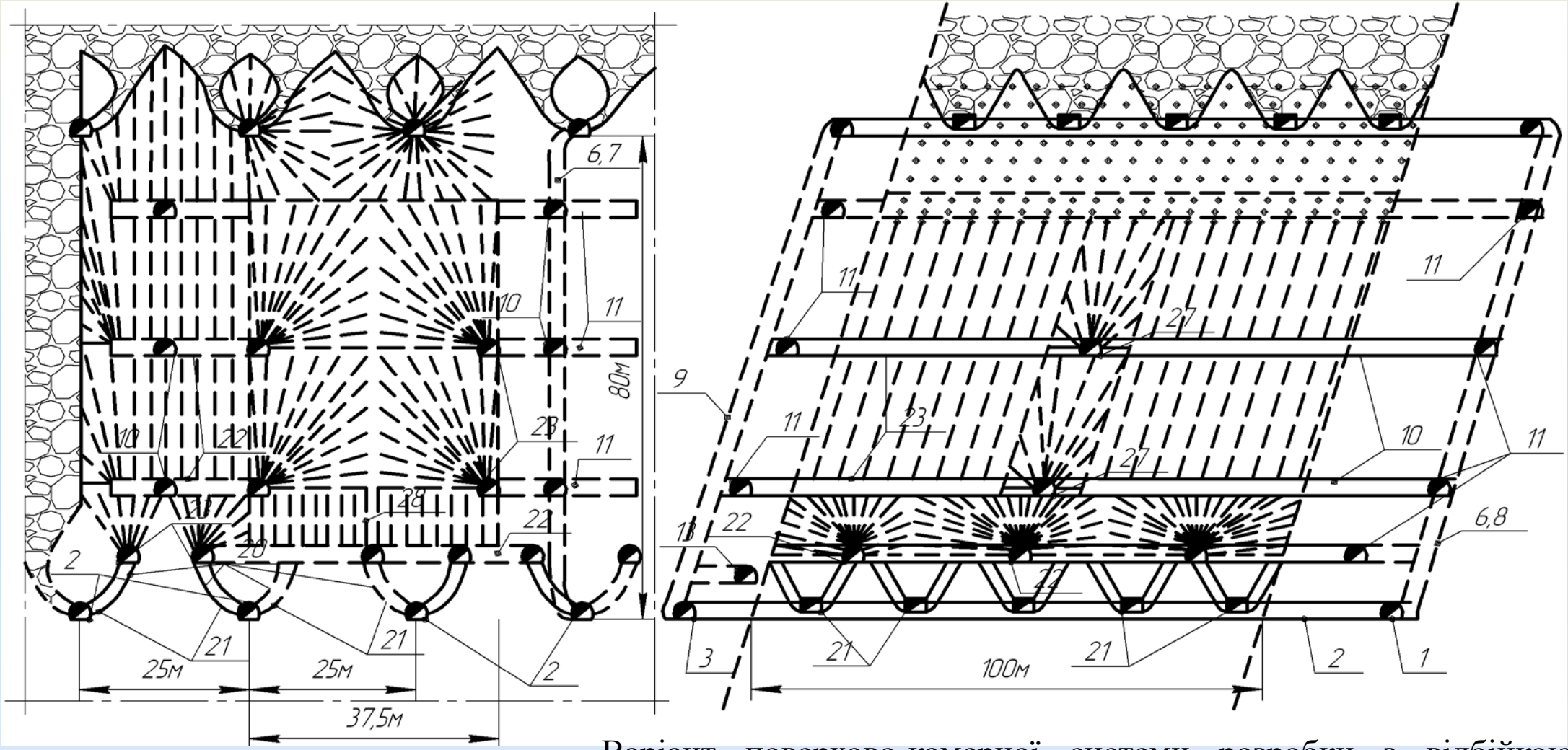


До обґрунтування показника концентрації гірничих робіт

$$Kn = \frac{B + (H + h_\partial)ctg\gamma + a + HK_p ctg\gamma - Rp_{\max}}{\left[\dfrac{(ctg\varphi_e + ctg\beta_e)ctg\beta_{н.е} - ctg\beta_{рез} \cdot ctg\beta_н \cdot K_Г}{ctg\beta_н \cdot K_Г} - ctg\gamma\right] H \cdot Kp} + \frac{0{,}25(H + h_\partial)}{H \cdot Kp}$$

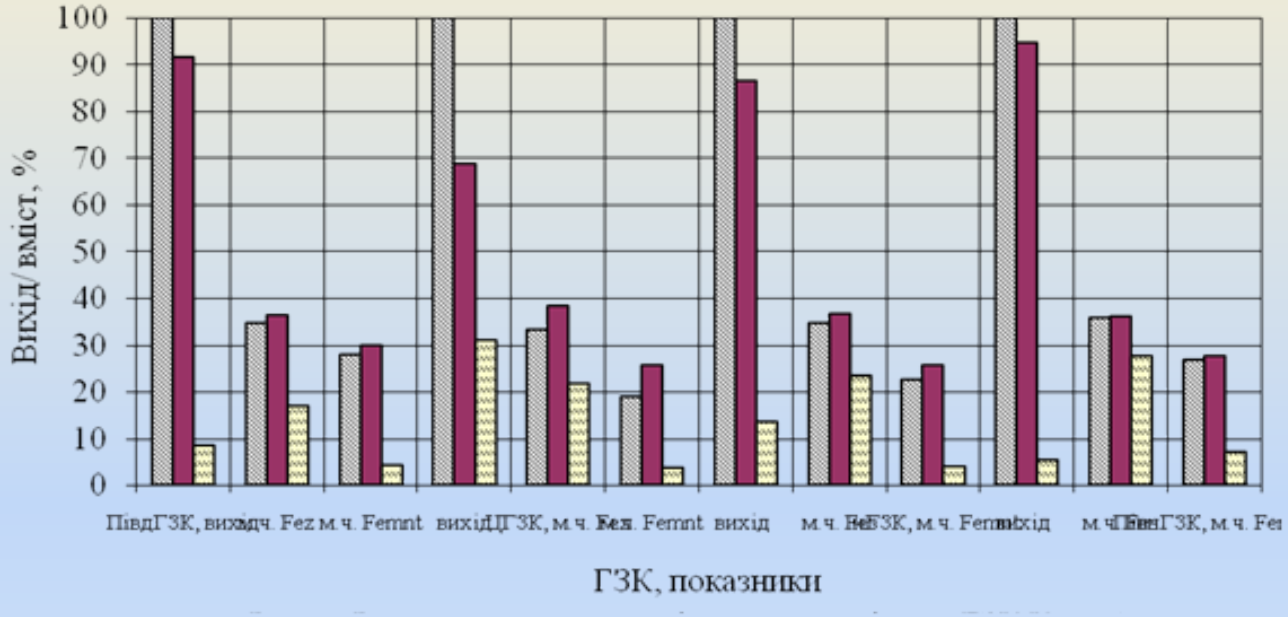
$K_П$ - коефіцієнта переекскавації розкривних порід;
$K_Г$ - показник концентрації гірничих робіт;
В – безпечна відстань від верхньої брівки розкривного уступу до осі руху драглайна, м;
а – ширина допоміжної полоси між нижніми брівками відвального яруса та видобувного уступу, м;
Кр – коефіцієнт розпушування породи у відвалі;
Rp max- максимальний радіус розвантаження драглайна, що відробляє розкривний уступ, м

Нові підходи, моделі та методи

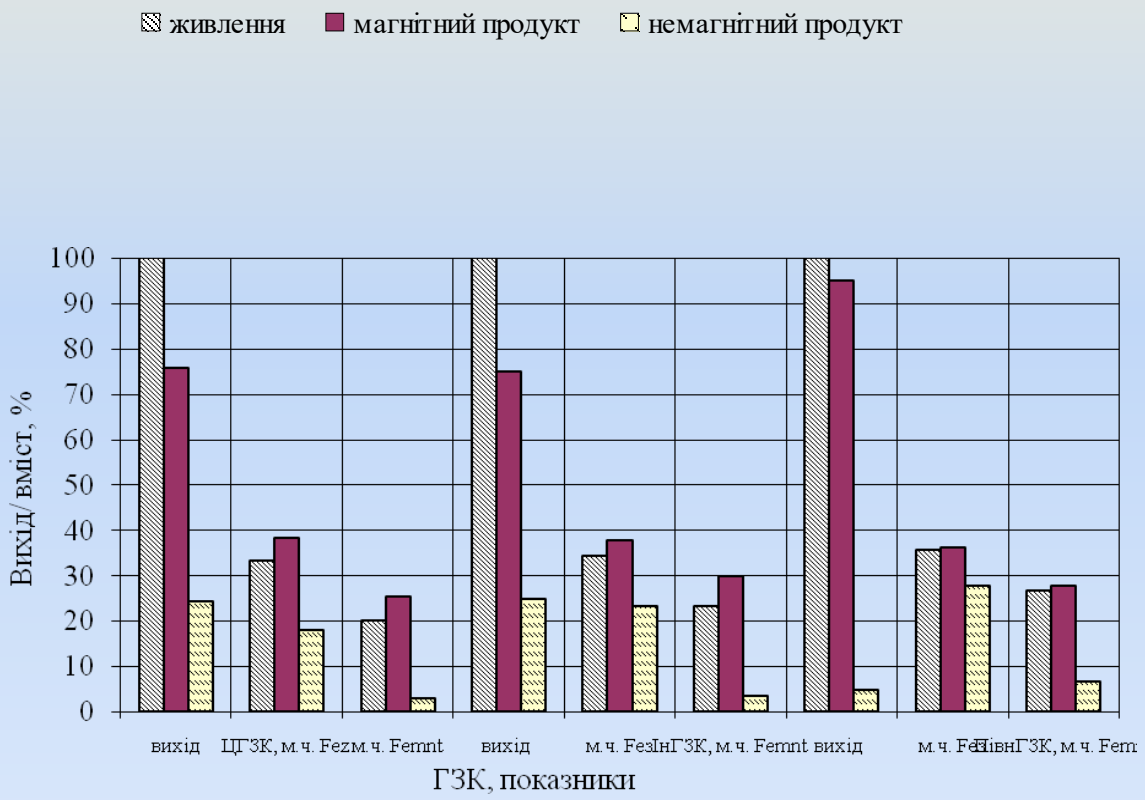


Варіант поверхово-камерної системи розробки з відбійкою руди (глибокими свердловинами), випуском і доставкою її віброустановками та подальшою закладкою виробленого простору

Результати промислових випробувань

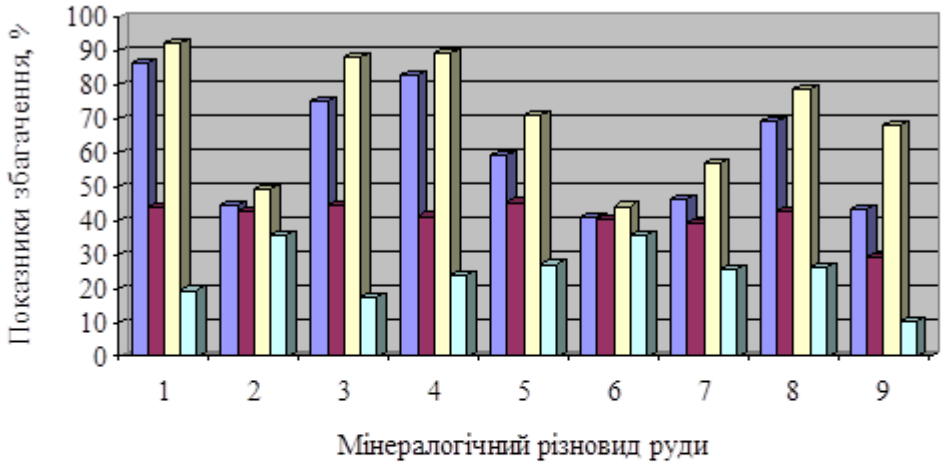


Результати сухої магнітної сепарації руд ГЗК Кривбасу крупністю 25-0 мм



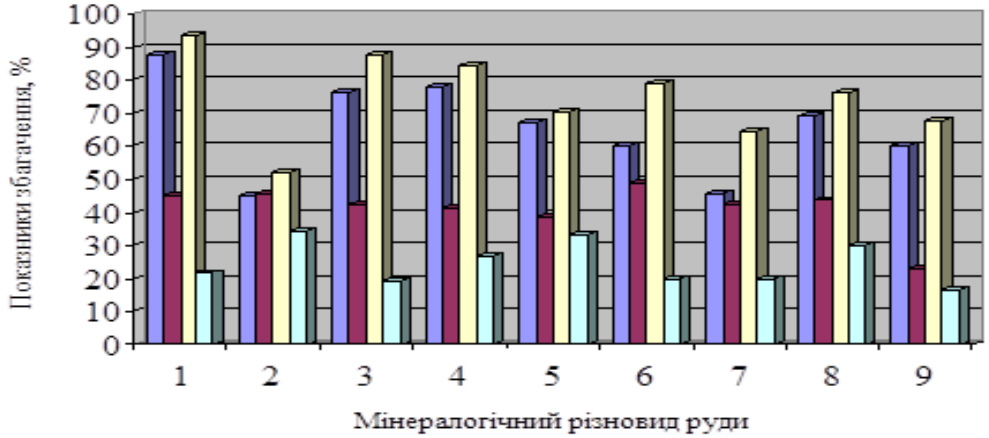
Результати сухої магнітної сепарації руд ГЗК Кривбасу крупністю 16 мм

Результати випробувань



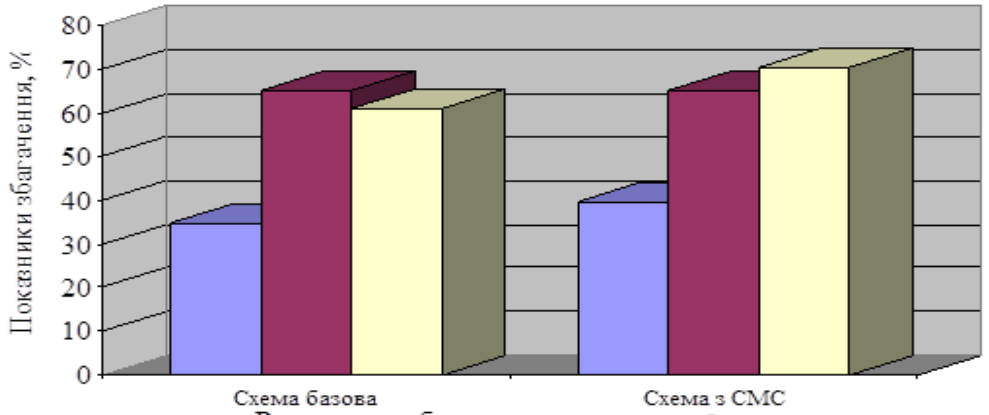
Результати сухої магнітної сепарації гематитової руди Скелеватського родовища

- вихід магнітного продукту
- масова частка заліза загального у магнітному продукті
- вилучення заліза загального у магнітний продукт
- масова частка заліза загального у відходах



Результати сухої магнітної сепарації гематитової руди Валявкинського родовища

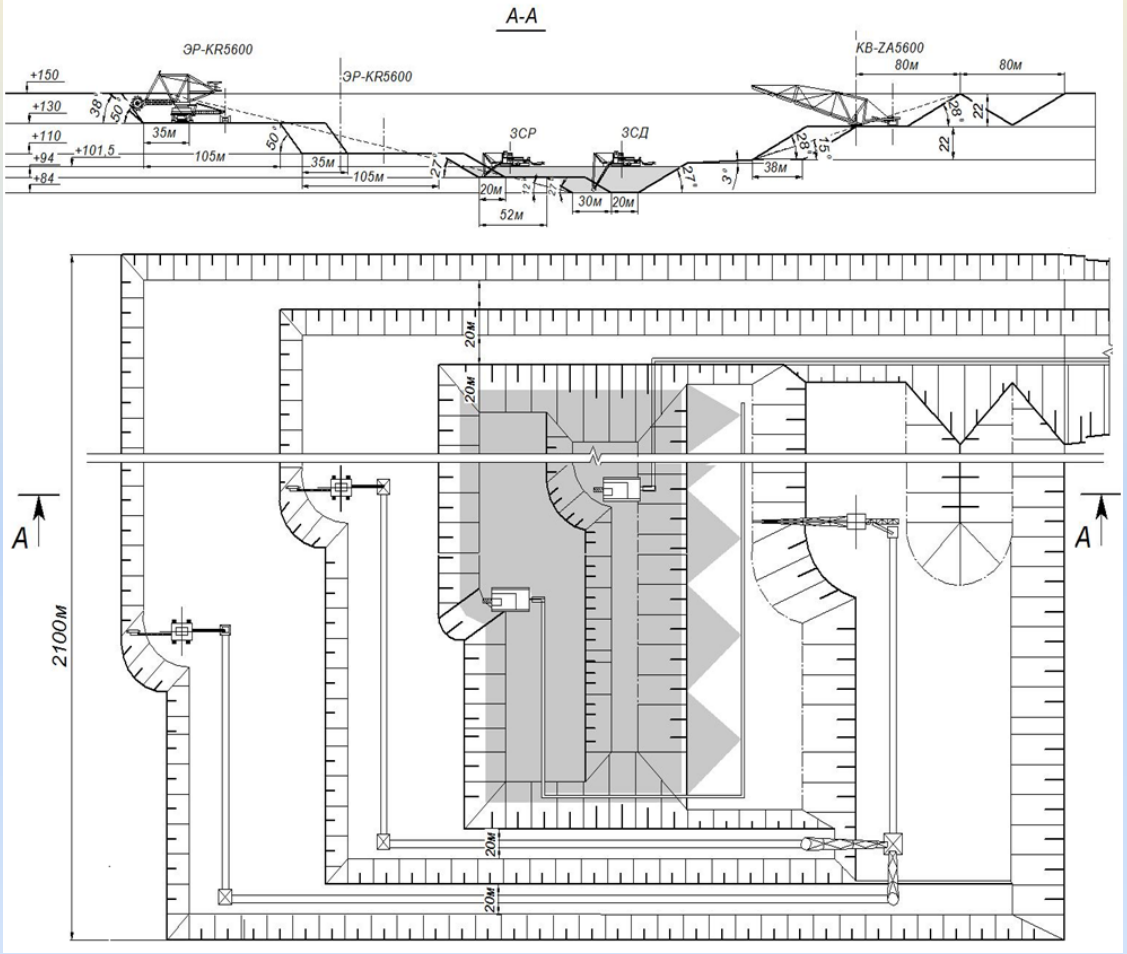
- вихід магнітного продукту
- масова частка заліза загального у магнітному продукті
- вилучення заліза загального у магнітний продукт
- масова частка заліза загального у відходах

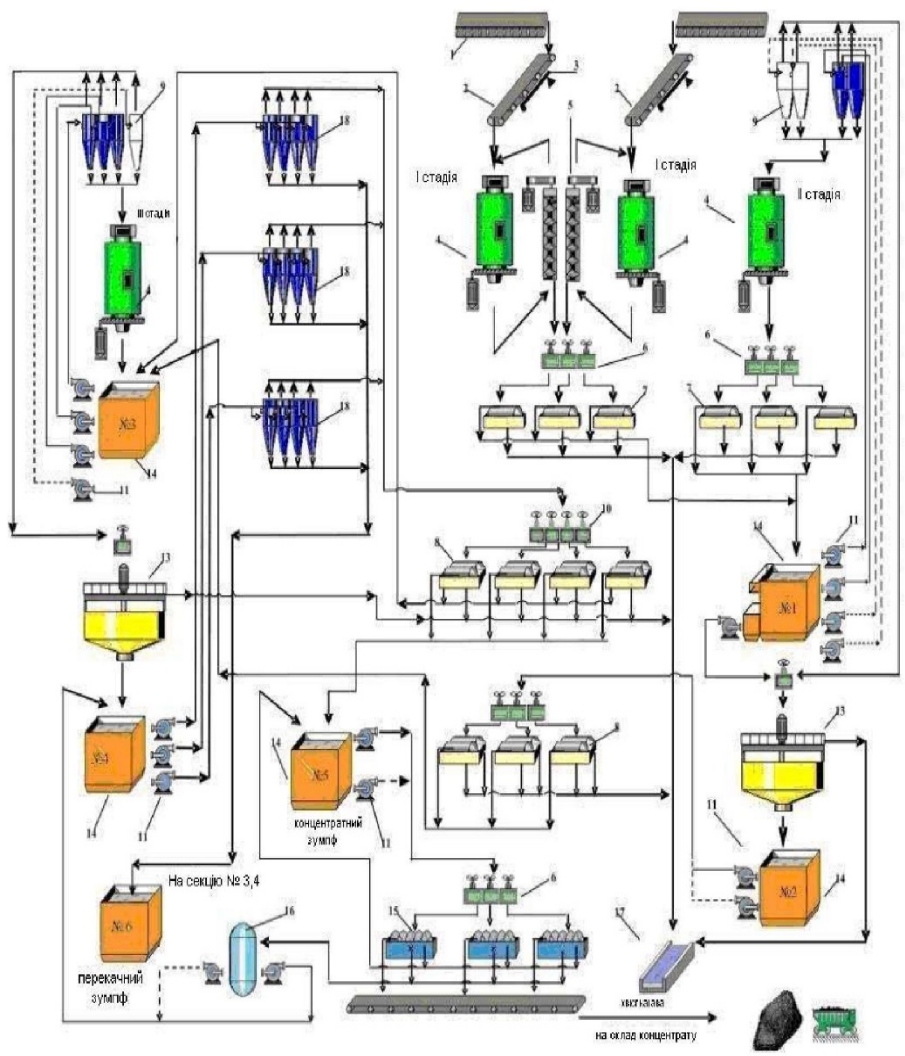


Результати збагачення гематитової руди

- Вихід, %
- Масова частка заліза загального, %
- Вилучення заліза загального,%

Впровадження





№	Найменування	Кіл.
1	Конвеєр стрічковий В=1000, L=20м, L=8м	2
2	Конвеєр стрічковий накл. В=1000, L=18,7м, α=19°24	2
3	Ваги конвеєрні «ЕрМАК»	2
4	Млин кульовий МШЦ 3600*5500	4
5	Класифікатор механічний спіральний КС-24*125	2
6	Пульпорозділювач 3-х струминний	4
7	Сепаратор магнітний барабанний ПБМ-120/300 П	6
8	Сепаратор магнітний барабанний ПБМ-120/300 ПП (2-х бараб.)	7
9	Гідроциклон діаметр 710 мм	8
10	Пульпорозділювач 4-х струминний	1
11	Насос відцентровий грунтовий типу 5ГрК-8 (Q=350; H=40)	13
12	Насос відцентровий грунтовий типу 5ГрК-8 (Q=160; H=33)	5
13	Дешламатор магнітний МД-9	2
14	Технологічні зумпфи	6
15	Вакуум-фільтр дисковий ДОО100-2,5	3
16	Вакуум-ресивер Д=2,4 м, V=11 м^3	1
17	Збірна канава загальних хвостів	1
18	Гідроциклон діаметр 350 мм	12

Технологічна схема розробки обводненого розсипного родовища

Схема флотаційного доведення магнетитового концентрату до якості світового рівня

Вирішення екологічних питань

Схема відведення і скидання шахтних вод північної групи рудників Кривбасу

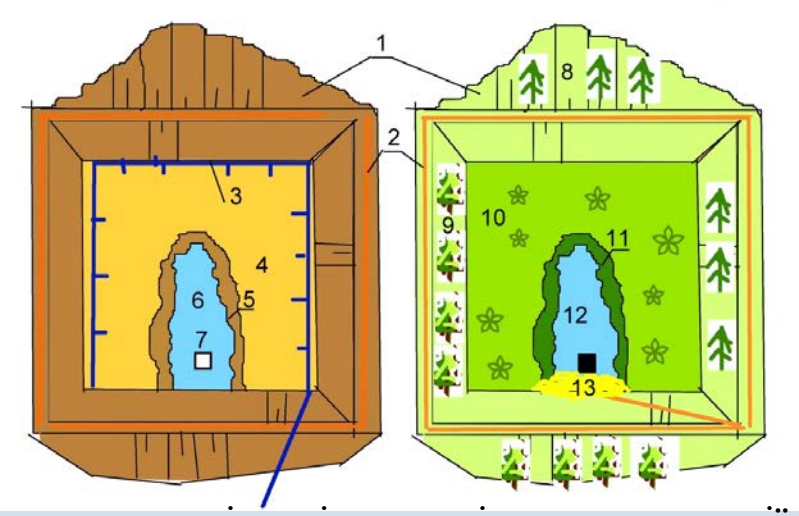
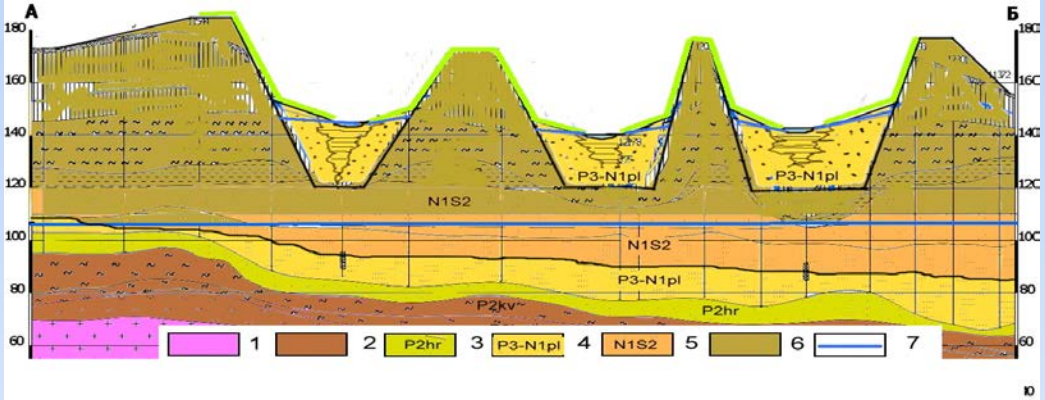


Схема секції хвостосховища на відвалі в період експлуатації і після ревіталізації. 1- дамба, покрита суглинком, 2 - дорога, 3 - пульпопровід, 4 - пляж, пісок, 5 - ядро, мул, 6 - прудок, 7 - шандорний колодязь, 8 - хвойний ліс, 9 - листвяний ліс, 19 - луки, сади, 11 - луки, болото, 12 - ставок, 13 - пляж



Схематичний геологічний розріз після відпрацювання кар'єру з розміщенням відходів збагачення на відвалах. 1 - породи кристалічного фундаменту, 2 -відносно водотривкі породи кори вивітрювання, бучацького і київського ярусів, 3 - піски харківського ярусу, 4 - піски полтавської серії, 5 -піски сарматського ярусу, 6 - водотривкі глини, 7 - рівень підземних вод