

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

**ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОРУДНОГО ВИРОБНИЦТВА
У БУДІВЕЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ**

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ І ОБМЕЖЕНЕ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	4
1.1 Екологічні небезпеки, обумовлені дією відходів збагачення залізистих кварцитів	4
1.2 Існуючі способи відновлення відходів збагачення залізистих кварцитів	8
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
РОЗДІЛ 3 РЕСУРСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ЯК КРЕМНЕЗЕМИСТОГО КОМПОНЕНТА НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ	17
3.1 Дослідження відходів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу за стадіями їх збагачення	17
3.2 Дослідження з дозnezалізнення хвостів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу	21
3.3 Розроблення складу газобетону на основі хвостів збагачення Південного та Інгулецького ГЗКів	23
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	28
ДОДАТКИ	31
Додаток А АКТ випуску дослідно-промислової партії дрібних стінових блоків з автоклавного газобетону на основі відходів збагачення залізистих кварцитів	31

ВСТУП

Відходи гірничорудного виробництва, що утворюються як під час відпрацювання залізорудних родовищ, так і під час збагачення залізної руди, є техногенно-мінеральною сировиною, яке має різноманітні і хімічні та мінеральні властивості. За своїми властивостями її можна розділити на дві основні групи – яка близька за складом до природної сировини і така, що суттєво відрізняється від неї. Ці властивості техногенно-мінеральної сировини і визначають галузі її застосування.

Так, сировину першої групи широко використовують у будівельній індустрії, для зведення дамб, засипки виробленого простору, при будівництві автомобільних доріг тощо. Сировину другої групи, зокрема, – продукти збагачення залізних руд, що знаходяться у величезних кількостях у хвостосховищах, наразі використовують обмежено, переважно у промисловому, громадському і дорожньому будівництві. Така ситуація вимагає шукати нові можливості їх застосування, наприклад, у виробництві закладних, бетонних, асфальтобетонних сумішей і керамічних матеріалів (переважно цегли).

З екологічних позицій хвостосховища відходів збагачення залізної руди є джерелами тривалої дії на навколишнє середовище, для яких характерний вплив на всі елементи біосфери (надра, повітряний і водний басейни, земну поверхню, флору, фауну). Екологічний збиток величезних мас мінеральних відходів очевидний: вони займають великі площі землі, створюють спотворені ландшафти, забруднюють навколишнє середовище.

Хвостосховища щороку доповнюються дрібними відходами мокрої магнітної сепарації (що на сьогодні є основною), а ємності вже обмежені, і, природно, потрібне екстрене розв'язання питання відновлення відходів збагачення залізістих кварцитів (хвостів). Тому розроблення і дослідження способів відновлення хвостів є актуальною задачею.

РОЗДІЛ 1

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ВІДХОДІВ

ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

І ОБМЕЖЕНЕ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Екологічні небезпеки, обумовлені дією відходів збагачення залізистих кварцитів

З розвитком промисловості зростає кількість технологічних відходів. Особливо це стосується гірничодобувної і перероблювальної галузей. За існуючих наразі технологій видобування і збагачення корисних копалин від 10% до 99% [1] вихідної маси сировини, що вийнято з надр, перетворюється у відходи, які складують на поверхні землі, внаслідок чого утворюються їх величезні техногенні скупчення. З такими накопиченнями відходів гірничодобувного виробництва пов'язана сукупність процесів негативного впливу на довкілля. Це, насамперед, забрудненість повітряного басейну (пилоутворення); висока агресивність техногенних вод через наявність технологічних реагентів; токсичність мінеральних речовин, що складають масив порід, та їх елементів; наявність важких металів, вірогідність аварійних ситуацій на об'єктах хвостового господарства (динамічна стійкість масиву) тощо. Внаслідок утвореного техногенного накопичення промислових відходів, природні системи суміжних територій потрапляють до зони довготривалого інтенсивного забруднення [1].

Техногенне накопичення мінерально-сировинних утворень з відходів може перетворюватися в один із важливих джерел мінеральної сировини. Такі новоутворення можна класифікувати як техногенні родовища – штучні накопичення мінеральної речовини за кількістю, якістю і умовами залягання придатні наразі або на перспективу для промислового використання.

Рациональне застосування мінеральних ресурсів техногенних родовищ має такі аспекти: екологічний, ресурсний, економічний, технологічний, національна безпека [2]

В процесі технологічного циклу на гірничо-збагачувальних підприємствах в Україні утворюється щороку близько 600 млн. м³ (або понад 1 млрд. т) [1] мінерально-сировинних відходів, в тому числі 75-80 млн. м³ відходів збагачення [1].

Збагачення корисних копалин – це сукупність процесів та методів для збільшення концентрації мінералів в ході первинної переробки твердих корисних копалин [3]. У результаті збагачення корисна копалина розділяється на кілька продуктів: концентрат (один або декілька) і відходи. Окрім того, у процесі збагачення можуть бути отримані проміжні продукти.

Концентрати – продукти збагачення, у яких зосереджена основна кількість цінного компонента. Концентрати в порівнянні зі збагачуваним матеріалом характеризуються значно вищим вмістом корисних компонентів і більш низьким вмістом пустої (порожньої) породи та шкідливих домішок.

Відходи – продукти збагачення, у яких зосереджена основна кількість порожньої породи, шкідливих домішок і невелика (залишкова) кількість корисних компонентів.

Видобуті в кар'єрах (рис. 1) залізисті кварцити направляються до рудозбагачувальних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів, внаслідок чого виходять залізорудний концентрат і відходи збагачення (хвости), які накопичуються у хвостосховищах (рис. 2). Загальна маса відходів збагачення, накопичених у хвостосховищах залізорудних комбінатів України, становить понад 3 млрд. т [4].

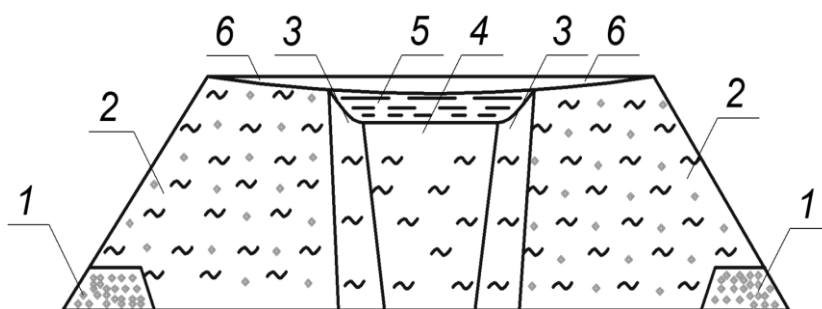
Хвостосховища є місцями накопичення відходів збагачення у формі твердих залишків, що у вигляді водної суспензії (пульпи) транспортуються пульпопроводами (рис. 2) від збагачувальних комплексів та намиваються на спеціальні карти намиву (пляжі) (рис. 3). Конструктивно хвостосховища можуть бути площинного типу або багатоярусними спорудами, що подібні відвалам.



Рисунок 1 – Панорама кар'єра Південного гірничо-збагачувального комбінату з наглядного майданчика



Рисунок 2 – Скид пульпи у хвостосховище



1 – дамба початкового обвалування; 2 – упорні призми;
3 – проміжні призми; 4 – ядро хвостосховища; 5 – прудок; 6 – пляж
Рисунок 3 – Схема хвостосховища:

Ядро сховища формується безконтрольно внаслідок підводного наміву, тобто під час осідання пиловатих і глинистих частинок у воді. На сьогодні достеменно сказати неможливо, які процеси відбуваються всередині ядра: як розподілена концентрація і густина твердих частинок, який вміст твердого досягається на дні ядра тощо [5]. Ядро проходить всю товщу сховища наскрізь; має пірамідальну або циліндричну форму; нижня грань її спирається на водотривкий шар, а верхня є дном прудка (рис. 3), яку можна вважати горизонтальною [6].

Екологічними небезпеками гірничодобувної промисловості України є:

- відходи мокрої магнітної сепарації кондиційних руд складаються в хвостосховища; їх питома поверхня більш, ніж у 100 разів збільшена порівняно з вихідною сировиною, що створює сприятливі умови для їх інтенсивного вилугування та пилоутворення;
- рідка фаза пульпи в хвостосховищах має збільшену в сотні і тисячі разів концентрацію солей важких металів порівняно із ґрунтовими водами через підвищений градієнт фільтрації (від 1,0 – у відвалах до 2-30 – у хвостосховищах), ніж в природних умовах (0,1); при використанні неекранованих хвостосховищ це негативно впливає на прилеглі до комбінатів річки, водойми, водоносні підземні горизонти;
- за відсутності постійного зрошення сухих пляжів хвостосховищ та схилів відвалів значна частина тонкодисперсного матеріалу зноситься з них та осідає на прилеглі території, забруднюючи земну поверхню; при подальшому розчиненні токсичні сполуки мігрують у ґрунт, підґрунтя і в підземні води.

Згідно з п. 3 статті 3 Закону України "Про оцінку впливу на довкілля" від 23.05. 2017 № 2059-VIII перероблення корисних копалин, у тому числі збагачення підлягають оцінці впливу на довкілля та відповідно до додатку 2 «Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів», що затверджена Наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи 23.02.2006 р. № 98 технологічне обладнання для збагачення корисних копалин та хвостосховища

відносяться до основних джерел небезпеки, які притаманні потенційно небезпечним об'єктам. Тому наразі особливо актуальною постає задача відновлення відходів збагачення залізистих кварцитів, ступінь використання яких на сьогодні залишається недостатнім.

Актуальність проблеми полягає в розробці еколого-економічно доцільних технологій виробництва з рециклінгом утворюваних відходів, скороченні лежалих промислових відходів, зниженні ступеня забруднення навколишнього природного середовища, скороченні енерговитрат і економії природних ресурсів.

1.2 Існуючі способи відновлення відходів збагачення залізистих кварцитів

Розроблення технологічних рішень щодо відновлення тонкодисперсних хвостів на тепер здійснюється (переважно) за двома напрямками:

- 1) дозбагачення з метою довилучення залізовмісних мінералів і виготовлення додаткової кількості концентрату;
- 2) виробництво будівельних матеріалів і закладних сумішей для виробленого простору.

Наразі в Україні відомі лише два проекти, де дозбагачуються відходи збагачення залізистих кварцитів: переробка лежалих пісків шламосховища Центрального гірничо-збагачувального комбінату (м. Кривий Ріг) і виробництво концентрату з хвостів на потужностях дослідно-промислового комплексу "Жовті води" (Дніпропетровська область) [7].

Ефективні технології утилізації відходів мокрої магнітної сепарації реалізуються введенням до їх складу закладної, бетонної і асфальтобетонної суміші та шихти для виробництва керамічної цегли у вигляді гідросуміші і мінерального порошку. Оксиди заліза впливають на підвищення міцності бетону автоклавного тверднення у 2-2,5 рази (порівняно з бетонами природного тверднення). Збагачені відходи, що мають модуль крупності менше за 1,8, використовують в асфальтобетонних сумішах як дрібний заповнювач; як

опіснювальні добавки для виготовлення глиняної цегли. Тонкодисперсні відходи менше за 0,14 мм можна застосовувати як мінеральний порошок в асфальтобетонних сумішах [8].

Проведені дослідження [9] показали, що хвости збагачення залізних руд при активації їх вапном і цементом дозволяють одержати матеріал міцністю до 10 МПа; при активізації силікатами натрію – до 40 МПа; а при активації силікатами натрію і техногенним склом – до 60 МПа. Роль в'яжучого в таких матеріалах виконують активатори тверднення, дисперсні складові хвостів і продукти окислення сульфідів. Дослідження також доводять можливість отримання на основі хвостів матеріалу для покриттів автомобільних доріг. При неповній заміні річкового піску рядовими (всі фракції) хвостами збагачення залізистих кварцитів (а лише частковій з добавкою поліспирту), можна досягти значного підвищення міцності будівельних розчинів [9].

При використанні відходів збагачення ільменітової руди Вольногорського гірничо-металургійного комбінату (Дніпропетровська область) як алюмосилікатний компонент сировинної суміші для обпалу клінкера знижується витрата доменного гранульованого шлаку з одночасним підвищенням витрати вапняку. За основними будівельно-технічними властивостями цемент, виготовлений із застосуванням таких відходів, практично не поступається традиційному портландцементу. Використання техногенних відходів під час виробництва цементного клінкера сприяє збереженню навколишнього природного середовища у Придніпров'ї [10].

Часткова заміна у сировинній суміші глиняного компонента відходами збагачення Вольногорського гірничо-металургійного комбінату покращує спікання, поліпшує декарбонізацію при обпалі, підвищує термостійкість, знижує температуру обпалу портландцементного клінкера на 40°C [11].

До існуючих способів відновлення відходів мокрої магнітної сепарації належать розроблені склади:

- цементобетонної суміші, що містить портландцемент, щебінь, пісок і воду, який відрізняється від звичайної тим, що до її складу додатково входить

мінеральний порошок з відходів збагачення мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів, а як пісок використано хвости сухої магнітної сепарації фракції $(0,14-5,00) \cdot 10^{-3}$ м;

- сировинної суміші для виробництва керамічних виробів (переважно цегли), яка містить розкислювачі (Al_2O_3 , Fe_2O_3 і CaO) відходи збагачення залізистих кварцитів, яка відрізняється тим, що глина містить 18-29 % за масою розкислювачів у вигляді спікливих Al_2O_3 , Fe_2O_3 і лужних CaO , K_2O , Na_2O складових, а хвости збагачення – у вигляді порошку, що одержано при мокрій магнітній сепарації останніх і який має не менше 60 % за масою фракції $71 \cdot 10^{-6}$ м;

- асфальтобетонної суміші, яка містить бітум, мінеральний порошок із хвостів і мінеральний наповнювач, яка відрізняється тим, що як мінеральний порошок з відходів збагачення залізистих кварцитів не менше 70 % за масою фракції $71 \cdot 10^{-6}$ м.

Метою роботи є обґрунтування сировинної цінності відходів збагачення залізистих кварцитів (хвостів) гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривбасу для виробництва ніздрюватого бетону.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі досліджено відходи збагачення залізистих кварцитів (хвости) ПрАТ "Південний гірничо-збагачувальний комбінат" ("ПівдГЗК") і ПрАТ "Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат" ("ІнГЗК"), які розташовані у Криворізькому залізрудному басейні. На збагачувальних фабриках цих комбінатів застосовують багатостадійне магнітне збагачення руди з поетапним виділенням відходів виробництва – хвостів. Технологічну схему рудозбагачувальної фабрики №1 Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату надано на рис. 4 [12].

Після дроблення залізної руди у три стадії наступним технологічним переділом є *грохочення* (рис. 4) – дуже важливий процес збагачення і переробки корисних копалин [3]. *Грохот* – це машина або пристрій для розділення (сортування) сипких матеріалів за розмірами грудок матеріалу на просіюючих поверхнях з каліброваними отворами з метою отримання продуктів різного гранулометричного складу.

Після грохочення (і після IV стадії дроблення) матеріал подається на подрібнення. Між дробленням і подрібненням принципового розходження немає. Умовно вважають, що при дробленні одержують зерна крупністю більше 0,005 м, а при подрібненні – менше 0,005 м. Залежно від крупності вихідного і подрібненого продуктів розрізняють три стадії подрібнення [13].

Класифікація – процес сепарації подрібненого матеріалу в рідинному або повітряному середовищі, що базується на основі відмінностей в швидкостях осідання частинок різного розміру, їх форми та щільності. Метою класифікації є отримання продуктів різного гранулометричного складу та густини [3].

Магнітні процеси збагачення ґрунтовані на використанні відмінностей у магнітних властивостях мінералів і гірських порід (величинах магнітної сприйнятливості, залишкової індукції тощо) і здійснюються в *магнітних*

сепараторах у неоднорідному постійному або змінному магнітному полі в повітряному і водному середовищах [13].

Для знешламлення і згущення тонкоподрібненого сильномагнітного матеріалу перед магнітним збагаченням або перед фільтруванням магнітних концентратів на ПівдГЗК та ІнГЗК використовують *магнітні дешламатори* [13].

Проби поточних хвостів у вигляді пульпи для досліджень відбирали після стадій (з I до V) збагачення та зливу дешламатора, а також з отвору хвостозливника, які після відстоювання і зливу рідини висушували у сушильних шафах. Усереднені та відквартовані проби становили усереднену пробу по кожному із комбінатів вагою 1,5-2,5 кг. Проби відбирали з технологічної лінії, оскільки їх склад більш однорідний за такий із хвостосховища.

Методом сухого розсіву на лабораторних ситах з діаметрами отворів від 3,0 мм до 0,05 мм визначено гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів. Залишки хвостів на кожному ситі зважували і обчислювали часткові залишки $a_i, \%$, на кожному ситі за формулою:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де m_i – маса матеріалу на i -тому ситі, кг(г); m – маса матеріалу, що просіюють, кг(г).

Вихід хвостів виражали у відсотках за формулою [13]:

$$\gamma = \frac{Q_{np}}{Q_{вих}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де Q_{np} і $Q_{вих}$ – маси продукту і вихідного матеріалу.

Визначали вміст заліза загального згідно з [14], а магнітного – відповідно до [15].

Для розрахунку масової частки твердого у відходах збагачення відбирали пульпу, зважували її, зливали воду і висушували залишок до постійної маси. Відношення маси сухого залишку до маси пульпи і є масова частка твердого у цій пульпі.

Питому поверхню дисперсних матеріалів визначали за допомогою приладу ПСХ-2 (прилад системи Ходакова) за газопроникністю [16]. Показник газопроникності меленого матеріалу визначали за тривалістю фільтрації повітря, що крізь нього проходить. За константу приймають початкове і кінцеве розрідження повітря (тиск) у робочому об'ємі приладу. Для обчислення питомої поверхні відходів збагачення залізистих кварцитів враховували густину, масу і висоту шару хвостів в кюветі (гільзі) приладу.

Ресурсну цінність відходів збагачення залізистих кварцитів (хвостів) ПрАТ "ПівдГЗК" і ПрАТ "ІнГЗК" визначали за фізико-механічними властивостями-критеріями автоклавного газобетону (середня густина газобетону у сухому стані та його межа міцності на стиск). Для приготування газобетонної суміші використовували такі матеріали:

1. Як кремнеземистий компонент – відходи збагачення залізистих кварцитів (хвостів). У Державному класифікаторі відходів ДК-005-96 (кваліфікаційне угруповання «Шлам та "хвости" збагачення руд залізних») вони належать до відходів видобування руд металевих (А.7, група 13, код 1310.2.3.01).

2. Портландцемент ПрАТ «Івано-Франківськцемент» ПЦ ІІ/А-Ш-500 (ІІ – тип цементу – портландцемент з мінеральними добавками від 6 % до 35 %; А – підтип цементу (відрізняється вмістом компонентів), А-Ш – портландцементного клінкера 80-94 % з добавкою доменного гранульованого шлаку від 6 до 20 %, 500 – марка цементу за міцністю на стиск у кгс/см²), що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [17].

3. Вапно кальцієве комове негашене Колективного підприємства «Фірма «Азовбудматеріали» (м. Маріуполь Донецької області) – відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-90:2011 [18].

4. Газоутворювач – пудра алюмінієва ПАП-1 (пігментна), яка відповідає ГОСТ 5494-95 Пудра алюминиевая. Виробник – ТОВ НВП «Укрваторресурс» (м. Рівне).

5. Поверхнево-активна речовина – сульфанол.

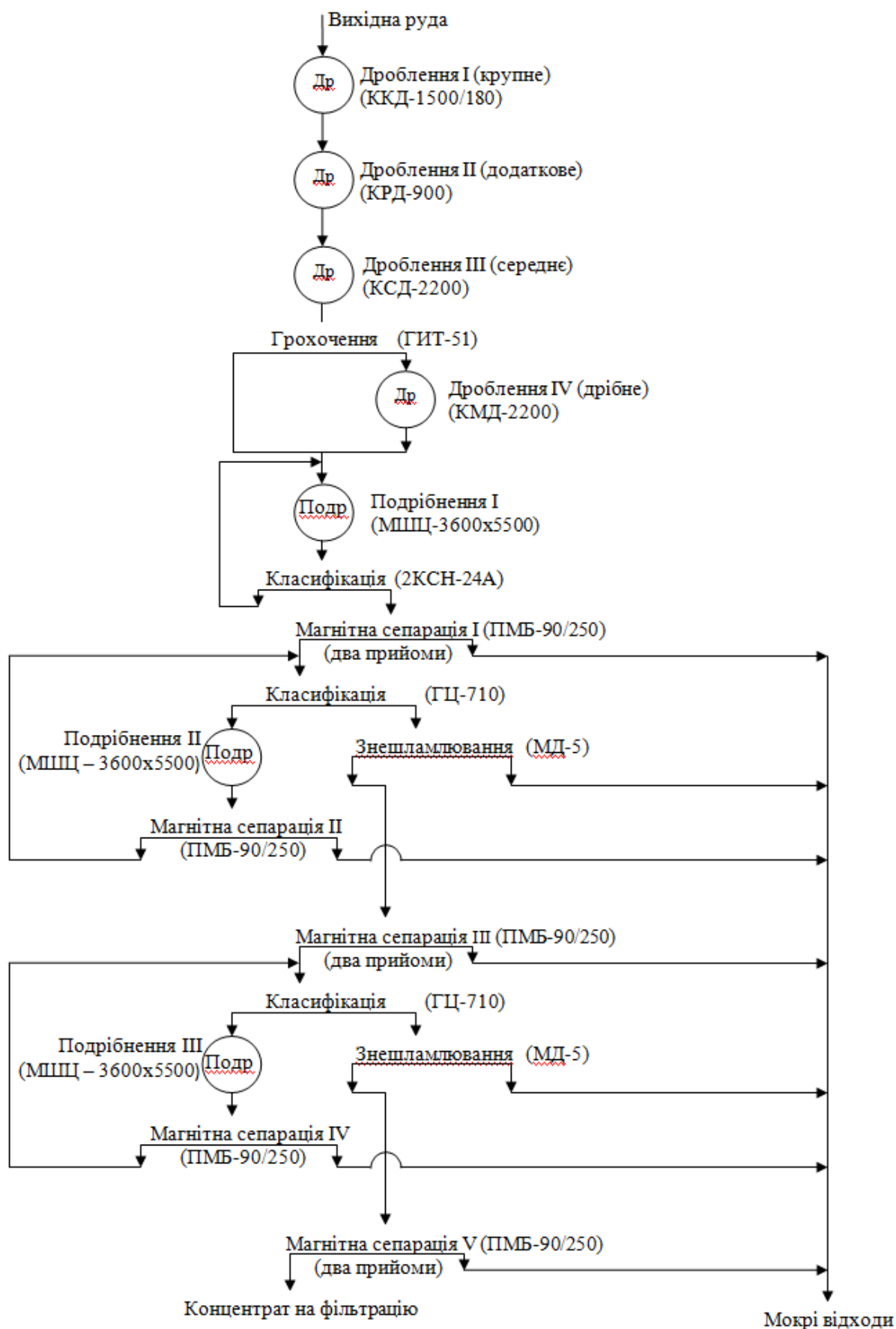


Рисунок 4 – Технологічна схема рудозбагачувальної фабрики № 1
Інгулецького ГЗК

6. Вода відповідала вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011 [19].

Вапняно-кремнеземисте в'язуче готували в лабораторному млині сумісним помелом вапна та відходів збагачення у співвідношенні 1:1, активність (сумарний вміст активних кальцію і магнію) якого визначали за [18]).

Підбір і розрахунок газобетону проводили для марки D600 за середньою густиною (згідно з [20]) і коригували на підставі характеристик бетону, виготовленого при пробних замісах. Оптимальним є склад ніздрюватого бетону (газобетону) заданої марки за середньою густиною, що забезпечує необхідний клас бетону за міцністю і марку за морозостійкістю при мінімальній витраті в'язучих. Відношення маси кремнеземистого компонента до в'язучого (цемент, вапно) приймали відповідно до табл. 2 [20].

Приготування алюмінієвої суспензії здійснювали в змішувачі шляхом безперервного перемішування алюмінієвої пудри, поверхнево-активної речовини і води [20]. Витрати алюмінієвої пудри (0,08-0,1% від витрати сухих компонентів), сульфанола (4% від маси алюмінієвої пудри) та співвідношення вміст алюмінієвої пудри:вода (1:6) відповідали вимогам [20]. Газобетонну суміш готували в лабораторному змішувачі, перемішуючи компоненти впродовж 2-3 хвилин при водотвердому відношенні В/Т = 0,50-0,52.

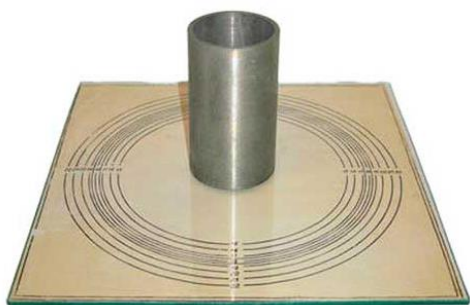


Рисунок 5 – Віскозиметр Суттарда

Значення текучості газобетонної суміші визначали по діаметру розпливу конусу на віскозиметрі Суттарда (рис. 5), який складається з мідного або латунного порожнистого циліндра діаметром 0,05 м та висотою 0,01 м, скла квадратної форми із стороною 0,45 м і листа паперу з нанесеними на ньому концентричними колами через кожні 0,005 см або 0,01 см, які під час досліду підкладають під скло [21], [22]. Скло кладуть у суворо горизонтальному положенні та ставлять на нього циліндр так, щоб зовнішній контур циліндра співпадав з окружністю діаметром 6 см. Досліджуваний розчин наливають в циліндр до верху і вирівнюють поверхню ножом або

шпателем. Потім швидким і точним рухом піднімають циліндр знизу вверху; розчин при цьому розтікається у вигляді "плескачика", діаметр якого і визначає консистенцію суміші.

Температура газобетонної суміші на цементно-вапняному в'язучому в момент вивантаження у форму (при ударному способі формування) відповідала вимогам [20] і становила 40°C. Формували зразки-куби з ребром 0,07 м, які при досягненні необхідної пластичної міцності сирцю піддавали автоклавній обробці за режимом: прогрів та підйом тиску пари до 1 МПа – 3 години; витримання при тиску пари 1 МПа – 6 годин; зниження тиску пари – 2 години (загальна тривалість автоклавної обробки – 11 годин).

Перед випробуванням зразків-кубів 0,07x0,07x0,07 м на середню густину у сухому стані та міцність на стиск їх висушували в електрошафі за температури (105±10) °C до постійної маси (п. 3.1.13 [23]).

Середню густину бетону ρ_m визначали за формулою [23]:

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad (2.3)$$

де m – маса зразка, кг; V – об'єм зразка, м³.

Вологість газобетону за масою W_m у відсотках визначали за формулою [23]:

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c}, \quad (2.4)$$

де m_b – маса зразка бетону до сушіння, г; m_c – маса зразка після сушіння, г.

Міцність ніздрюватого бетону на стиск (МПа, кгс/см²) розраховували з точністю до 0,1 МПа (1 кгс/см²) за формулою [24]):

$$\sigma_{ст.куб} = \frac{\alpha \cdot F \cdot K_w}{A}, \quad (2.5)$$

де F – руйнівне навантаження, Н, (кгс); A – площа робочого перерізу зразка, мм² (см²); α – масштабний коефіцієнт для приведення міцності бетону до міцності бетону в зразках базового розміру та форми (для зразків-кубів з ребром завдовжки 70 мм $\alpha = 0,9$, примітка 2 табл. 5 [24]); K_w – поправочний коефіцієнт для ніздрюватого бетону, який враховує вологість в момент випробування (для вологості 0 % – зразки висушені до постійної маси – $K_w = 0,8$, табл. 6 [24]).

РОЗДІЛ 3

РЕСУРСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ЯК КРЕМНЕЗЕМИСТОГО КОМПОНЕНТА НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ

3.1 Дослідження відходів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу за стадіями їх збагачення

Проведено дослідження відходів збагачення залізистих кварцитів ПрАТ "Південний ГЗК" та ПрАТ "Інгулецький ГЗК" за стадіями їх магнітного збагачення, в залежності після якої змінюється крупність вилучених хвостів, їх вихід і вміст заліза в них. Гранулометричні склади поточних відходів за стадіями збагачення надано в табл.1 – табл. 5.

Таблиця 1.

Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) 1-10 секцій РЗФ*-1 ПівдГЗК

Назва продукту	Класи крупності**, мм						
	-3,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,3	3,0	8,6	11,2	5,7	7,2	84,0
Хвости I стадія, II прийом	0,1	4,1	11,2	7,6	7,8	5,6	63,6
Хвости II стадія	-	1,2	8,6	15,8	6,8	5,1	62,5
Хвости III стадія, I прийом	-	0,2	1,4	15,2	13,4	11,4	58,4
Хвости III стадія, II прийом	-	0,3	1,6	14,8	13,5	12,0	57,8
Хвости IV стадія	-	-	0,2	0,8	7,6	8,2	83,2
Злив дешламатора, I прийом	-	-	0,2	0,3	0,4	2,4	95,7
Злив дешламатора, II прийом	-	-	-	0,2	0,4	0,6	98,8
Хвости загальні	0,1	1,3	6,3	8,1	6,0	8,1	70,1

Примітки:

*РЗФ – рудозбагачувальна фабрика;

**класи крупності – це продукти з точно визначеними розмірами зерен, які позначають зі знаком плюс "+" або мінус "-", а також двома числовими показниками, що означають мінімальний і максимальний розміри зерен у даному класі [13]. Матеріал, що пройшов через отвори сита, позначають зі знаком "-"; матеріал, що залишився на ситі, позначають зі знаком "+".

Таблиця 2.

Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) 1-4 секцій РЗФ*-2 ПівдГЗК

Назва продукту	Класи крупності**, мм						
	-3,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,9	2,4	7,3	11,0	8,3	6,1	64,0
Хвости I стадія, II прийом	0,5	2,7	6,1	13,0	10,2	5,5	62,0
Хвости II стадія	-	2,8	10,9	16,0	19,0	6,3	45,0
Хвости III стадія, I прийом	-	0,1	2,8	14,2	11,9	9,0	62,0
Хвости III стадія, II прийом	-	0,1	3,0	15,0	12,9	8,0	61,0
Хвости IV стадія	-	-	0,2	1,4	7,1	13,8	77,5
Злив дешламатора, I прийом	-	-	0,2	1,0	2,9	7,9	88,0
Злив дешламатора, II прийом	-	-	-	0,2	0,4	0,4	94,0
Хвости загальні	0,5	1,5	5,4	12,1	9,5	8,2	62,8

Таблиця 3.

**Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів
(часткові залишки на ситах, %) 5-10 секцій РЗФ*-2 ПівдГЗК**

Назва продукту	Класи крупності ^{***} , мм						
	-3,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,1	2,4	12,7	9,4	5,3	6,3	63,9
Хвости I стадія, II прийом	0,1	3,1	12,1	7,4	4,5	5,1	67,8
Хвости II стадія	-	0,8	8,6	11,3	7,0	7,4	64,9
Хвости III стадія, I прийом	-	0,1	3,0	14,9	11,6	11,6	58,9
Хвости III стадія, II прийом	-	0,2	4,3	18,3	12,4	11,2	53,6
Хвости IV стадія	-	0,1	1,0	8,4	8,8	9,7	72,0
Хвости V стадія	-	-	0,2	2,9	9,0	13,1	74,8
Злив дешламатора, I прийом	-	0,1	0,3	0,4	0,9	5,6	92,7
Злив дешламатора, II прийом	-	-	0,2	0,8	1,2	5,0	92,8
Хвости загальні	0,1	1,5	7,5	8,2	6,2	7,7	68,8

Таблиця 4.

**Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів
(часткові залишки на ситах, %) РЗФ*-1 ІнГЗК**

Назва продукту	Класи крупності ^{***} , мм						
	+1,0	-1,0 +0,56	-0,56 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,8	2,6	13,0	8,0	10,0	6,1	59,5
Хвости I стадія, II прийом	0,6	3,0	11,2	2,6	9,9	5,4	62,3
Хвости II стадія	-	1,2	8,5	11,0	17,6	8,1	53,6
Хвости III стадія, I прийом	-	0,5	1,0	8,0	19,6	13,0	57,9
Хвости III стадія, II прийом	-	0,1	0,6	7,1	20,2	12,6	59,4
Хвости IV стадія	-	0,1	0,2	1,3	8,5	10,0	79,9
Хвости V стадія, I прийом	-	-	-	0,4	2,7	5,3	91,6
Хвости V стадія, II прийом	-	-	-	0,1	1,9	5,0	93,0
Злив дешламатора, I прийом	-	0,1	0,1	0,1	1,8	9,0	88,9
Злив дешламатора, II прийом	-	-	0,1	0,1	1,6	4,2	94,0
Хвости загальні	2,8	0,6	1,8	2,8	6,7	8,9	77,1

Таблиця 5.

**Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів
(часткові залишки на ситах, %) РЗФ*-2 ІнГЗК**

Назва продукту	Класи крупності ^{***} , мм					
	+0,56	-0,56 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,6	4,7	4,2	8,1	8,0	74,4
Хвости I стадія, II прийом	0,6	4,6	5,0	8,2	7,0	74,6
Хвости II стадія	0,1	0,5	1,4	3,0	5,4	89,6
Хвости III стадія, I прийом	-	0,1	0,5	3,8	8,0	87,6
Хвости III стадія, II прийом	-	0,2	0,2	2,2	8,0	91,4
Хвости III стадія, III прийом	-	0,1	0,2	1,1	3,0	95,6
Злив дешламатора	-	0,1	0,1	0,4	1,8	92,6
Хвости загальні	0,4	1,7	2,7	7,3	7,2	80,7

Встановлено, що поточні відходи збагачення на Південному ГЗК представлені (у відсотках за масою) на 0,2-15,4 % фракцією розміром >0,25 мм;

на 0,2-18,3 % – фракцією 0,25-0,16 мм; на 0,4-19,0 % – 0,16-0,071 мм; на 51,33 % – розміром <0,071 мм; на 45,0-98,8 % – розміром <0,05 мм (табл. 1 – табл. 3).

Хвости на Інгулецькому ГЗК мають такий гранулометричний склад (у відсотках за масою): частинок розміром >0,25 мм – 0,1-5,2 %; частинок фракції 0,25-0,16 мм – 0,1-11,0 %; частинок фракції 0,16-0,071 мм – 0,4-20,2 %; частинок розміром <0,071 мм – 61,7-98,6 % ; частинок розміром <0,05 мм – 53,6-95,6 % (табл. 4, табл. 5).

Таким чином, відходи збагачення залізистих кварцитів на Південному ГЗК крупніші за такі на Інгулецькому ГЗК. Починаючи з фракції 0,16-0,071, кількість частинок якої на обох комбінатах є однаковою (0,4-19,0 % і 0,4-20,2 % відповідно), частка зерен розміром <0,071 мм та <0,05 мм на Інгулецькому ГЗК на 10 % більша. Характер розподілу матеріалу за фракціями визначений мінеральним складом, розміром зерен та характером зростків магнетиту з іншими нерудними мінералами у вихідних залізистих кварцитах, а також ступенем подрібнення мінеральної сировини на збагачувальних фабриках [25].

Спостерігається чітка закономірність: чим пізніша стадія збагачення, тим суттєво вищий відсоток частинок хвостів найдрібнішого розміру (<0,05 мм) у пробах обох гірничо-збагачувальних комбінатів (табл. 1 – табл. 5). Максимальна кількість зерен найдрібнішого розміру (<0,05 мм) міститься у хвостах останньої стадії збагачення і коливається від 95,6 % (табл. 5) в пробах Інгулецького ГЗК до 74,8 % (табл. 3) в пробах Південного ГЗК.

Вихід хвостів за стадіями збагачення, вміст заліза та масова частка твердого в них наведено в табл. 6 – табл. 10.

Таблиця 6.

**Характеристика відходів збагачення залізистих кварцитів
1-10 секції РЗФ-1 Південного ГЗК**

Назва продукту	Вихід хвостів, %	Вміст заліза, %	Масова частка твердого, %
Хвости I стадія, I прийом	31,1	10,6	21,0
Хвости I стадія, II прийом	5,16	12,0	8,0
Хвости II стадія	5,31	9,4	6,0
Хвости III стадія, I прийом	2,09	12,04	5,2
Хвости III стадія, II прийом	2,09	12,04	1,8
Хвости IV стадія	1,82	14,8	1,5
Злив дешламатора, I прийом	3,85	10,0	2,4
Злив дешламатора, II прийом	1,57	10,8	0,53
Хвости загальні	54,7	10,8	0,19

Таблиця 7.

**Характеристика відходів збагачення залізистих кварцитів
1-4 секції РЗФ-2 Південного ГЗК**

Назва продукту	Вихід хвостів, %	Вміст заліза, %	Масова частка твердого, %
Хвости I стадія, I прийом	30,6	11,2	30,8
Хвости I стадія, II прийом	4,75	11,5	7,8
Хвости II стадія	5,83	2,6	9,6
Хвости III стадія, I прийом	4,23	11,8	3,9
Хвости III стадія, II прийом	0,98	12,9	1,7
Хвости IV стадія	1,47	15,0	1,7
Злив дешламатора, I прийом	4,07	10,0	1,9
Злив дешламатора, II прийом	3,21	12,8	1,1
Хвости загальні	54,6	11,2	5,45

Таблиця 8.

**Характеристика відходів збагачення залізистих кварцитів
5-10 секції РЗФ-2 Південного ГЗК**

Назва продукту	Вихід хвостів, %	Вміст заліза, %	Масова частка твердого, %
Хвости I стадія, I прийом	32,29	11,0	25,3
Хвости I стадія, II прийом	4,06	11,3	8,0
Хвости II стадія	4,54	8,8	5,0
Хвости III стадія, I прийом	4,32	11,8	4,7
Хвости III стадія, II прийом	1,01	13,0	1,8
Хвости IV стадія	1,27	9,8	1,0
Хвости V стадія	1,0	16,4	0,8
Злив дешламатора, I прийом	4,88	9,9	2,8
Злив дешламатора, II прийом	1,19	12,3	0,54
Хвости загальні	54,5	10,9	0,24

Таблиця 9.

**Характеристика відходів збагачення залізистих кварцитів
РЗФ-1 Інгулецького ГЗК**

Назва продукту	Вихід хвостів, %	Вміст заліза, %	Масова частка твердого, %
Хвости I стадія, I прийом	41,81	14,26	19,9
Хвости I стадія, II прийом	2,79	13,7	7,2
Хвости II стадія	3,28	11,7	3,6
Хвости III стадія, I прийом	2,63	14,6	2,1
Хвости III стадія, II прийом	0,92	15,0	0,9
Хвости IV стадія	2,11	10,9	0,8
Хвости V стадія, I прийом	0,42	16,1	0,6
Хвости V стадія, II прийом	0,27	20,1	0,3
Злив дешламатора, I прийом	6,16	12,6	3,0
Злив дешламатора, II прийом	1,46	11,7	0,7
Хвости загальні	61,85	13,80	5,49

Встановлено, що максимальний вихід хвостів утворюється на першій стадії (I прийом). Його кількість коливається від 32,29 % (табл. 8) для Південного ГЗК до 41,81 % (табл. 9) для Інгулецького ГЗК.

Таблиця 10.

**Характеристика відходів збагачення залізистих кварцитів
РЗФ-2 Інгулецького ГЗК**

Назва продукту	Вихід хвостів, %	Вміст заліза, %	Масова частка твердого, %
Хвости I стадія, I прийом	27,53	12,3	25,4
Хвости I стадія, II прийом	10,2	12,5	12,3
Хвости II стадія	5,09	10,31	6,2
Хвости III стадія, I прийом	2,39	21,2	1,2
Хвости III стадія, II прийом	0,29	20,07	0,3
Хвости III стадія, III прийом	0,39	22,5	0,2
Злив дешламатора	11,6	12,4	0,9
Хвости загальні	57,46	12,65	2,0

Більша кількість заліза відмічена у відходах збагачення Інгулецького ГЗК порівняно з такими Південного ГЗК: 24,8-27,96 % за масою (табл. 9, табл. 10) порівняно з 22,3-22,7 % за масою (табл. 6 – табл. 8) відповідно для I стадії збагачення обох прийомів. Максимальна кількість заліза міститься у пробах останньої стадії магнітного (мокрого) збагачення і коливається від 16,4 % (табл. 8) для Південного ГЗК до 22,5 % (табл. 10) для Інгулецького ГЗК.

Масова частка твердого у хвостовій пульпі I стадії становить від 19,9 % (табл. 9) до 30,8 % (табл. 7) для хвостів I прийому та від 7,2 % (табл. 9) до 12,3 % (табл. 10) для хвостів II прийому, що скоротить витрати енергії на згущення та зневоднення матеріалу (порівняно з підготовкою хвостів інших стадій збагачення). Тому для виробництва будівельних матеріалів відбір хвостів доцільно проводити на I стадії збагачення.

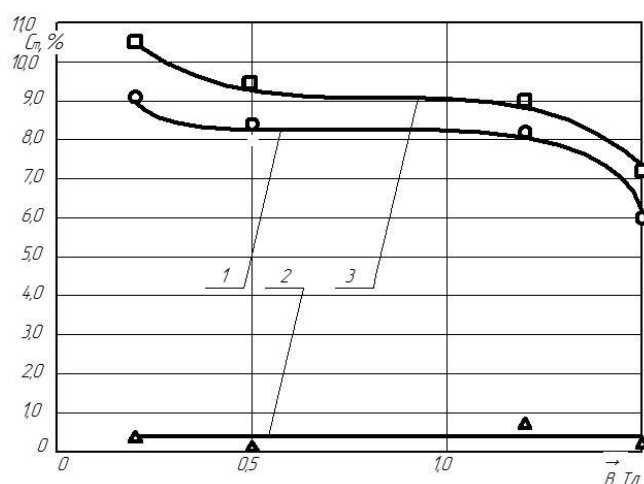
Спостерігаємо також залежність виходу хвостів та масової частки твердого в них: після кожної стадії збагачення зазначені показники зменшуються (табл. 6 – табл. 10).

3.2 Дослідження з дозnezалізнення хвостів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу

Перешкодою для широкого застосування хвостів збагачення як будівельну сировину, насамперед, є наявність речовин, що не витягнуті під час переробки металів. Утилізація хвостів без витягнення є небезпечною. Присутність у товарній продукції невитягнутих металів небезпечна хімічним і радіологічним забрудненням, оскільки метали, що містяться у відходах, під дією процесів

природного вилуговування мігрують в екосистеми навколишнього середовища.

Зменшення масової частки заліза у відходах збагачення залізистих кварцитів Південного ГЗК та ІнГЗК (вміст заліза загального (магнітного) 15,2 (8,4) % за масою і 12,9 (2,0) % за масою проводили на лабораторному магнітному сепараторі CRS 400x300. Індукція магнітного поля становила 0,2; 0,5; 1,2; 1,5 Тл. Залежності масових часток заліза (загального і магнітного) у пробах хвостів Інгулецького ГЗК, а також твердого в них показані на рисунку 6.



1 – залізо загальне; 2 – залізо магнітне; 3 – тверде
Рисунок 6 – Залежність масової частки у хвостах C_m від магнітної індукції B :

Як показано на рис. 6, з підвищенням напруженості магнітного поля масові частки заліза загального (крива 1) і твердого (крива 3) у хвостах збагачення зменшуються. Найменшу кількість заліза загального (6 % за масою) відмічено при індукції магнітного поля 1,5 Тл. Масова частка заліза магнітного при такій величині магнітної індукції становить 0,2 %.

Але масова частка заліза магнітного (пряма 2) не залежить від напруженості магнітного поля. Це явище можна пояснити таким чином.

Найвищими значеннями магнітної сприйнятливості характеризуються залізисті кварцити [13]. Мінерали залізистих кварцитів за їх питомою магнітною сприйнятливістю (фізична величина, що характеризує здатність тіла до намагнічування під дією магнітного поля) відносяться до групи *сильномагнітних (ферромагнітних) мінералів* (питома магнітна сприйнятливість $\chi > 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$). Ці мінерали можуть вилучатися у магнітну фракцію на сепараторах зі слабким магнітним полем напруженістю $H = 70\text{-}120 \text{ кА/м}$. Отже, за величин магнітної індукції 0,2-1,5 Тл магнітні частинки хвостів "відтягуються" в магнітний продукт.

3.3 Розроблення складу газобетону на основі хвостів збагачення Південного та Інгулецького ГЗКів

Питома поверхня вапняно-кремнеземистого в'язучого (що визначена на приладі системи Ходакова ПСХ-2 за методикою [16]) становила $510 \text{ м}^2/\text{кг}$. Його активність (відповідно до [18]) дорівнювала 38 %.

Портландцемент прийнято марки М500 з питомою поверхнею $320 \text{ м}^2/\text{кг}$ [18]; строки тужавлення (згідно з ДСТУ EN 196-3:2007 Методи випробування цементу): початок тужавлення – 3 год. 20 хвил., кінець тужавлення – 5 год. 05 хвил.

Активність вапна кальцієвого комового негашеного складала 76 % (вапно III сорту [18]; час гашення – 15 хвил. (вид вапна за тривалістю гашення – середнього гашення; індекс часу гашення – Б).

Текучість газобетонної суміші, що визначена на віскозиметрі Суттарда [22], при ударному способі формування становила 170 мм для марки ніздрюватого бетону за середньою густиною D600 відповідно до [20]. Суть ударного способу формування полягає в інтенсифікації процесу спучення при використанні вібрації за рахунок тиксотропії (розріджування) суміші і прискоренні ходу реакції газовиділення [22]. Порівняно з литтьовою технологією ударна має низку переваг [22]:

- різкий набір структурної міцності зразу після припинення вібрації;
- скорочення періоду визрівання до 40 хвил.;
- скорочення тривалості автоклавної обробки за рахунок достатньої початкової міцності і збереження всередині масиву перед автоклавною обробкою температури $60-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, яка виникає в результаті реакції газовиділення;
- міцність і морозостійкість спучених бетонів вищі звичайних тощо.

Склади сировинних сумішей (розраховані за методикою [20] і кориговані пробними замісами) та вологість газобетону з використанням відходів збагачення залізистих кварцитів наведено в табл. 11, табл. 12.

Таблиця 11.

**Склади сировинних сумішей і вологість газобетону
на основі хвостів Південного ГЗК**

№№ зп	Витрати компонентів, кг на 1 м ³ газобетонної суміші			Водотверде відношення, В/Т	Вологість газобетону, % за масою
	вапно	портландцемент	відходи збагачення		
1	131	110	369	0,5	29
2	136	113	382	0,5	29
3	127	106	357	0,5	28
4	125	105	352	0,52	30
5	129	108	364	0,52	31

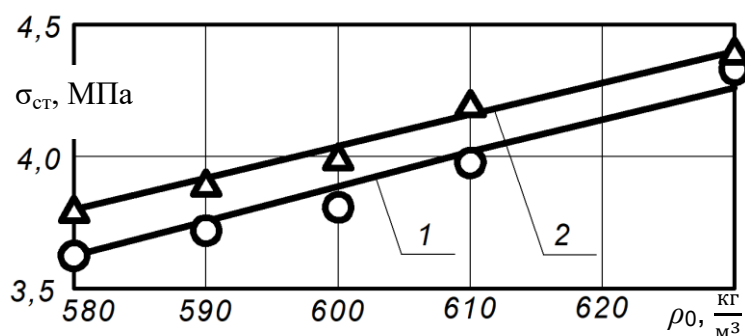
Таблиця 12.

**Склади сировинних сумішей і вологість газобетону
на основі хвостів Інгuleцького ГЗК**

№№ зп	Витрати компонентів, кг на 1 м ³ газобетонної суміші			Водотверде відношення, В/Т	Вологість газобетону, % за масою
	вапно	портландцемент	відходи збагачення		
1	128	107	375	0,5	24
2	132	110	388	0,5	21
3	122	102	357	0,51	24
4	124	105	355	0,5	25
5	133	84	393	0,5	31

Як показано в табл. 11 – табл. 12, витрати компонентів на 1 м³ газобетонної суміші майже однакові. Оскільки крупність відходів Інгuleцького ГЗК менша, ніж таких Південного ГЗК: кількість частинок <0,071 мм дорівнює 61,7-98,6 % проти 51,3-99,4% відповідно (табл. 1 – табл. 5), то на цих відходах утворено більше новоутворень (гідросилікатів ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), гідроалюмінатів ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), гідроферитів ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) кальцію тощо) з більшою кількістю хімічно залученої води. Отже, незв'язаної води в бетонах на відходах Інгuleцького ГЗК залишилось менше порівняно з Південним ГЗК. Тому вологість газобетону на хвостах Південного ГЗК більша за таку бетону на хвостах Інгuleцького ГЗК (в середньому на 4,4 %).

Середня густина досліджуваних газобетонів з використанням хвостів ГЗК Кривбасу становила від 580 кг/м³ до 630 кг/м³ (рис. 7).



1 – Південний ГЗК; 2 – Інгuleцький ГЗК
Рисунок 7 – Залежність міцності на стиск газобетону $\sigma_{\text{ст}}$ від середньої густини газобетону ρ_0 на основі хвостів

Згідно з [26, табл. 1] такий бетон відноситься до марки D600 за середньою густиною. Міцність на стиск цих бетонів змінювалась від 3,65 МПа до 4,40 МПа. Відповідно до [26, табл. 2 зміни № 2] такий бетон відноситься до класу С 2,5; С 3,5 за міцністю на стиск і належить до теплоізоляційно-конструкційного виду [26, табл. 3 зміни № 2]. Відходи збагачення залізистих кварцитів на Інгuleцькому ГЗК дрібніші за такі на Південному ГЗК (табл. 1 – табл. 5). Розчинність кремнезему низька. Тому в технології автоклавних матеріалів має значення крупність кремнеземистого компонента – чим він дрібніший (вище його питома поверхня), тим більше кремнезему переходить у розчин для сполучення з вапном і тим більше створюється новоутворень під час автоклавної обробки. Тому і міцність газобетону з використанням хвостів Інгuleцького ГЗК є вищою за таку на хвостах Південного ГЗК.

Вироби, виготовлені на основі відходів збагачення залізистих кварцитів, відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-45:2010 "Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови" та ДСТУ Б В.2.7-137:2008 "Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні. Технічні умови".

Блоки відносяться до негорючих вибухобезпечних виробів, що не виділяють токсичних речовин [27]. При їх виготовленні використовують цемент, кремнеземистий компонент, вапно, пудру алюмінієву. Граничнодопустима концентрація пилу компонентів у повітрі робочої зони складає: цемент – 6 мг/м³, кремнеземистий компонент – 1 мг/м³, вапно – 3 мг/м³, алюміній – 2 мг/м³. Таким чином, згідно з ГОСТ 12.1.007-76 газобетон відноситься до речовин 3-го класу небезпеки – речовини помірнонебезпечні.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження в рамках даної роботи дозволили одержати конкретні результати й сформулювати відповідно до них такі головні висновки:

1) Проаналізовано, що екологічна ефективність виробництва відходів збагачення залізистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів сприяє ліквідації хвостосховищ і вивільнює з-під них площі корисних земель (тим самим знижуючи навантаження на природне середовище в залізорудних регіонах).

2) Зазначено переваги використання відходів гірничо-збагачувальних комбінатів у сфері природоохоронної діяльності, які полягають у такому: можливість утилізації відходів у виробництві газобетонів; низька вартість матеріалів на основі цих відходів.

3) Встановлено, що відходи збагачення залізистих кварцитів на Південному ГЗК крупніші за такі на Інгулецькому ГЗК. Починаючи з фракції 0,16-0,071, кількість частинок якої на обох комбінатах є однаковою (0,4-19,0 % і 0,4-20,2 % відповідно), частка зерен розміром $<0,071$ мм та $<0,05$ мм на Інгулецькому ГЗК на 10 % більша. Максимальна кількість найдрібніших зерен ($<0,05$ мм) міститься у хвостах останньої стадії збагачення і коливається від 95,6 % в пробах Інгулецького ГЗК до 74,8 % в пробах Південного ГЗК.

4) Виявлено, що максимальний вихід хвостів утворюється на першій стадії збагачення. Його кількість змінюється від 32,29 % для Південного ГЗК до 41,81 % для Інгулецького ГЗК.

5) Відмічено більшу кількість заліза у відходах збагачення Інгулецького ГЗК порівняно з такими Південного ГЗК: 24,8-27,96 % за масою порівняно з 22,3-22,7 % за масою відповідно (для I стадії збагачення).

6) Обчислено масову частку твердого, яка у хвостовій пульпі I стадії збагачення становить від 19,9 % до 30,8 % для хвостів I прийому та від 7,2 % до 12,3 % для хвостів II прийому (що скоротить витрати енергії на згущення та зневоднення матеріалу).

7) Показано, що з підвищенням напруженості магнітного поля масові частки заліза загального і твердого у хвостах збагачення зменшуються. Найменша кількість заліза загального дорівнює 6 % за масою при індукції магнітного поля 1,5 Тл. Масова частка заліза магнітного при цій індукції магнітного поля становить 0,2 %.

8) Розраховано вологість газобетону, яка (в середньому) на хвостах Південного ГЗК на 4,4 % більша за таку бетону на хвостах Інгулецького ГЗК.

9) Визначено, що згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 досліджуваний газобетон відноситься до марки D600 за середньою густиною, а відповідно до Зміни 2 ДСТУ Б В.2.7-45:2010 – до класу C2,5; C3,5 за міцністю на стиск і належить до теплоізоляційно-конструкційного виду.

10) Сформульовано, що за негативним впливом на об'єкти довкілля газобетон відноситься до 3-го класу небезпеки (речовини помірнонебезпечні).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Копач П.И., Якубенко Л.В., Романенко В.Н. и др. Перспективы вовлечения техногенных месторождений (на примере Украины и Грузии). *Екологія і природокористування*. 2013. Вип. 16. С. 210-218.
2. Шапарь А.Г., Вилкул А.Ю., Якубенко Л.В. Формирование и разработка техногенных месторождений железных и марганцевых руд. Днепропетровск: Монолит, 2012. 140 с.
3. Мальований М.С., Боголюбов В.М., Шаніна Т.П. та ін. Техноекологія: підручник / за редакцією М Мальованого. Львів: НУ "ЛП", 2013. 424 с.
4. Губина В.Г. Железо-содержащие отходы предприятий горно-металлургического комплекса Украины. *Геолого-мінералогічний вісник*. 2010. № 1-2 (23-24). С. 97-100.
5. Медведева О.А. Хвостохранилища Кривбасса, проблемы и особенности их эксплуатации. *Геотехническая механика*. 2012. Вып. 103. С.279-285.
6. Блюсс Б.А., Головач Н.А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд. Днепропетровск: Полиграфист, 1999. 126 с.
7. Соколова В.П., Учитель А.Д. Переработка шламовых отходов обогащения железной руды. *Збагачення корисних копалин*. 2017. Вип. 66(107). С. 3-12.
8. Шевченко Б.Н. Конструкции из бетона на отходах обогащения железных руд. Киев: Выща школа, 1989. 192 с.
9. Шишкин А.А., Шишкина А.А., Щерба В.В. Особенности использования отходов горно-обогатительных комбинатов в производстве строительных материалов. *Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. 1(99). С. 8-12.
10. Большаков В.И., Приходько А.П., Савин Л.С. и др. Физико-химический синтез цементного клинкера с применением техногенных отходов.

Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2008. № 3. С. 4-9.

11. Приходько А.П., Савин Л.С., Сторчай Н.С. и др. Использование отходов при производстве портландцементного клинкера. *Строительство, материаловедение, машиностроение.* 2009. Вып. 50. С. 424-428.

12. Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат. Технологічна схема збагачувальної фабрики № 1 Інгулецького ГЗК: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>

13. Кравець В.Г., Білецький В.С., Смирнов В.О. Техніка і технологія збагачення корисних копалин. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 286 с.

14. ДСТУ ISO 2597-1:2012. Руди залізнi. Визначення загального заліза. Частина 1. Титриметричний метод після відновлення хлоридом олова (II). [Чинний від 05.01.2013]. Київ: Мінбуд України, 2013. 20 с.

15. ДСТУ 3793-98. Руди залізнi. Метод магнітного аналізу. [Чинний від 01.01.2000]. Київ: Мінбуд України, 2000. 10 с.

16. Дворкін Л.Й., Скрипнік І.Г. Фізико-хімічні і фізичні методи досліджень будівельних матеріалів: навчальний посібник, Рівне: НУВГП. 2006, 220 с.

17. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. [Чинний від 01.09.2011]. Київ: Мінбуд України, 2011. 20 с.

18. ДСТУ Б В.2.7-90:2011. Вапно будівельне. Технічні умови. [Чинний від 01.10.2012]. Київ: Мінбуд України, 2012. 26 с.

19. ДСТУ Б В.2.7-273:2011. Вода для бетонів і розчинів. [Чинний від 01.12.2012]. Київ: Мінбуд України, 2012. 4 с.

20. ДСТУ-Н Б В.2.7-308:2015. Настанова з виготовлення виробів з ніздрюватого бетону. [Чинний від 01.10.2016]. Київ: Мінбуд України, 2016. 52 с.

21. ДСТУ Б В.2.7-82:2010. В'язучі гіпсові. Технічні умови. [Чинний від 01.03.2011]. Київ: Мінбуд України, 2011. 29 с.

22.Дворкін Л.Й., Житковський В.В. Технологія опоряджувальних, теплоізоляційних та гідроізоляційних матеріалів: навчальний посібник. Рівне: НУВГП. 2010, 227 с.

23.ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання і водонепроникності. [Чинний від 01.07.2009]. Київ: Мінбуд України, 2009. 36 с.

24.ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинний від 01.09.2010]. Київ: Мінбуд України, 2010. 43 с.

25.Губіна В.Г., Заборовський В.С. Особливості речовинного складу відходів збагачення залізистих кварцитів. *Геохімія та рудоутворення*. 2015. Вип. 35, С. 56-62.

26.ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.11.2010]. Київ: Мінбуд України, 2010. 45с. (зі Зміною № 2 від 14.06.2016) [Чинна від 01.01.2017]. Київ: Мінбуд України, 2017. 4с.

27.ДСТУ Б В.2.7-137:2008. Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні. Технічні умови. [Чинний від 01.10.2008]. Київ: Мінбуд України, 2008. 16 с.

ДОДАТКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ:



Генеральний директор
ТОВ «VIP БЕТОН»
І.М. Гудков
10 грудня 2020 р.

АКТ

випуску дослідно-промислової партії дрібних стінових блоків з автоклавного газобетону на основі відходів збагачення залізистих кварцитів

Цей акт складено комісією з представників ТОВ «VIP БЕТОН» - начальника цеху Задерей Г.Г., начальника лабораторії Рибалка Н.М. та ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (ДонНТУ) - студента Касіча В.А., а також Національного університету (НУ) «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» - студентки Билим Л.Р. про те, що в період з 02 до 04 грудня 2020 року проведено випуск дослідно-промислової партії дрібних стінових блоків з автоклавного газобетону з використанням як кремнеземистого компонента – відходів збагачення залізистих кварцитів.

Для приготування газобетонної суміші були використані такі матеріали:

1. Як кремнеземистий компонент – відходи збагачення залізистих кварцитів (хвостів) ПрАТ "Південний гірничо-збагачувальний комбінат" (м. Кривий Ріг).
2. Портландцемент марки М500 з питомою поверхнею 320 м²/кг; строки тужавлення: початок тужавлення – 3 год. 20 хвил., кінець тужавлення – 5 год. 05 хвил.
3. Вапно кальцієве комове негашене III сорту (активність – 76 %); вапно середнього гашення (час гашення – 15 хвил.).
4. Газоутворювач – пудра алюмінієва ПАП-1 (пігментна), яка відповідає ГОСТ 5494-95.
5. Поверхнево-активна речовина – сульфанол.
6. Вода відповідала вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів.

Вапняно-кремнеземисте в'язуче готували сумісним помелом вапна та відходів збагачення залізистих кварцитів у співвідношенні 1:1; його активність дорівнювала 38%; питома поверхня становила 510 м²/кг.

Алюмінієву суспензію готували в змішувачі шляхом безперервного перемішування алюмінієвої пудри, поверхнево-активної речовини і води. Витрата алюмінієвої пудри становила 0,09 % від витрати сухих компонентів; витрата сульфанола – 4% від маси алюмінієвої пудри; співвідношення вміст алюмінієвої пудри:вода – 1:6.

Компоненти газобетонної суміші перемішували впродовж 2-3 хвилин.

Текучість газобетонної суміші, що визначена по діаметру розпливу конусу на віскозиметрі Суттарда, при ударному способі формування становила 180 мм.

Температура газобетонної суміші на цементно-вапняному в'язучому в момент вивантаження у форму становила 40°C. Заформовані газобетонні масиви при досягненні необхідної пластичної міцності сирцю піддавали автоклавній обробці за таким режимом: прогрів та підйом тиску пари до 1 МПа – 3 години; витримування при тиску пари 1 МПа – 6 годин; зниження тиску пари – 2 години (загальна тривалість автоклавної обробки – 11 годин).

Після дозрівання ніздрюватобетонного сирцю форми розкривали і переміщували масиви газобетону на пост розрізання (плавно, без різких ударів і поштовхів), де їх відповідно до ДСТУ Б В.2.7-137:2008 "Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні. Технічні умови" розрізали на блоки для мурування стін А 13С 600х300х200 (А – для мурування стін, 13С – тип блоків, 600х300х200 – розміри блоків в мм).

Склад сировинної суміші, розрахований згідно з методикою, викладеною у ДСТУ-Н Б В.2.7-308:2015. "Настанова з виготовлення виробів з ніздрюватого бетону", та фізико-механічні властивості газобетону з використанням відходів збагачення залізистих кварцитів наведено в таблиці.

Середню густину і вологість ніздрюватого бетону визначали відповідно до ДСТУ Б В.2.7-170:2008 "Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності".

Міцність ніздрюватого бетону обчислювали згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 "Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками".

Таблиця – Склад газобетонної суміші і фізико-механічні властивості газобетону

Витрати компонентів, кг на 1 м ³ газобетону			Водотверде відношення, В/Т	Вологість газобетону, % за масою	Середня густина газобетону сухому стані, кг/м ³	Міцність газобетону на стиск, МПа
125	105	352	0,52	30	580	3,65

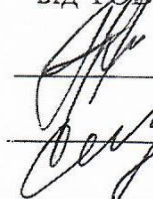
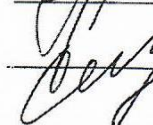
Згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 "Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови" (табл. 1) такий бетон відноситься до марки D600 за середньою густиною. Відповідно до табл. 2 зміни № 2 від 14.06.2016 ДСТУ Б В.2.7-45:2010 такий бетон відноситься до класу C2,5 за міцністю на стиск і належить до теплоізоляційно-конструкційного виду (табл. 3 зміни № 2).

Таким чином, внаслідок випуску дослідно-промислової партії за виробничих умов ВАТ «VIP БЕТОН» одержано блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні на основі мелених відходів збагачення залізистих кварцитів ПрАТ "Південний гірничо-збагачувальний комбінат" (м. Кривий Ріг), що відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-137:2008 "Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні. Технічні умови".

від ДВНЗ «ДонНТУ»

 В.А. Касіч

від ТОВ «VIP БЕТОН»

 П.Г. Задерей
 Н.М. Рибалка

від НУ «Полтавська політехніка

імені Юрія Кондратюка»

 Л.Р. Билим