

УДК 622.331

О.С. СТАДНИК (канд.тех. наук, асистент)**В.О. ГНСУШЕВ** (канд.тех. наук, доцент)

Національний університет водного господарства та природокористування, Україна, м. Рівне

ЗВ'ЯЗОК ФОРМ ЗОЛИ ВИСОКОЗОЛЬНОГО ТОРФУ З ЙОГО ЗБАГАЧУВАНІСТЮ

У роботі проаналізовані форми золи високозольного торфу, які впливають на його збагачуваність. Визначено граничні показники збагачення високозольних торфів родовищ «Засвіття-Ситнелюк» та «Старники». Показано співвідношення між теоретичними і експериментальними показниками збагачення цих торфів пневматичною і вібраційною сепараціями. Обґрунтовано можливість покращення результатів збагачення високозольних торфів за рахунок використання нових методів збагачення та досягнення кращого розкриття мінералів золи.

Ключові слова: високозольний торф, зольність, збагачення торфу, форма золи, збагачуваність, вилучення золи

Проблема та її зв'язок з науковими задачами. За останні 25 років видобуток торфу в Україні скоротився майже у 10 разів з 7,5 млн. т – у 1991 році до 0,6–0,7 – в 2015 році. Цьому процесу сприяли не ринкові методи формування цін на традиційні енергоресурси, зокрема – природний газ. Сьогодні в країні є значний дефіцит первинних енергоресурсів, тому торфова промисловість має вагомі передумови для розвитку. Торфовим паливом можуть бути більше забезпечені потреби населення та централізованих котелень малої потужності у областях з найбільшою концентрацією запасів торфу, таких як Волинська, Рівненська, Чернігівська, Львівська, Житомирська та інші.

Використання торфу як альтернативного палива має ряд проблем. Однією з них є зазольненість запасів торфу. Розподіл балансових запасів України по підгрупах за показником середньої зольності родовищ наведено на рис. 1.

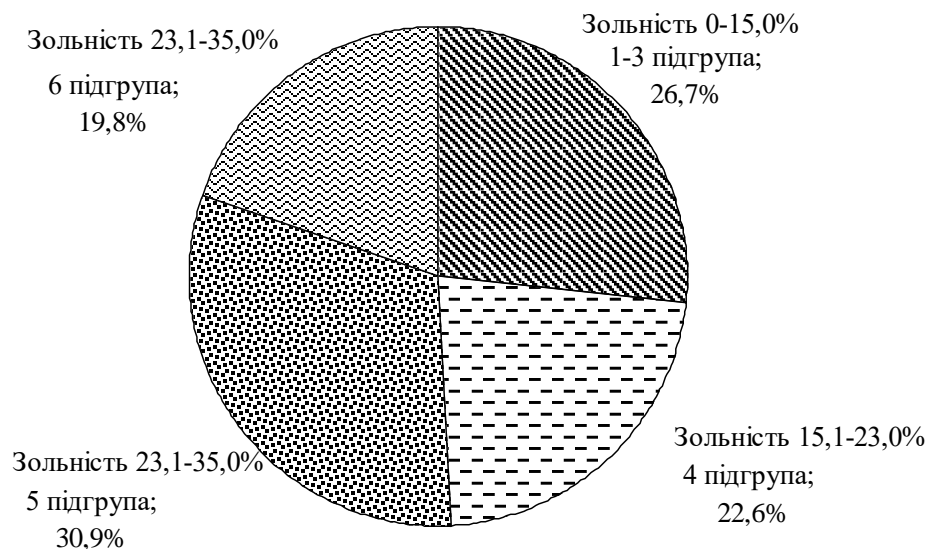


Рис. 1. Розподіл балансових запасів торфу України за середньою зольністю родовищ

Більше половини балансових запасів (п'ята та шоста підгрупи) є непридатними за зольністю для виготовлення палив. Зниження зольності торфових палив можливе лише шихтуванням некондиційного високозольного торфу із кондиційним малозольним чи біомасою. Але застосування шихтування обмежується нестачею достатньої кількості кондиційної сировини.

Другим шляхом зниження зольності торфу є його збагачення шляхом видалення високозольних фракцій пневматичною, вібраційною сепараціями, чи іншими методами.

Аналіз досліджень та публікацій. У роботах [1], [2] наведено значний обсяг результатів зі збагачуваності торффу пневматичною та вібраційною сепараціями, а також відомості про фракційний аналіз високозольних торфів. Отримані результати відповідають вимогам виробництва до якості торффу для виготовлення палив, проте на скільки ці результати близькі до гранично можливих висвітлено не достатньо.

Метою цієї роботи є дослідження взаємозв'язку між теоретичними показниками збагачення високозольних торфів та експериментально отриманими результатами для пошуку більш ефективних методів їх збагачення.

Методика і результати досліджень. Врахувавши перетворення, що відбуваються у торффі в процесі сушіння (кристалізація мінеральних речовин розчинених у воді торффу), подрібнення (розкриття мінералів золи, утворення зростків (органомінеральних агрегатів)) було запропоновано розділити мінеральну частину на такі групи: зола вільних мінералів, зола зростків мінералів з органічною частиною, зола дрібнодисперсних мінералів та зола, хімічно-зв'язана з органічною частиною торффу. Види зв'язку органічної частини торффу з вказаними видами золи відображено у вигляді схеми (рис. 2). Потенціалом для збагачення є зола, що знаходиться у вигляді вільних мінералів та їх зростків із органічною частиною. Хімічно-зв'язана та дрібнодисперсна зола не видаляється при збагаченні.

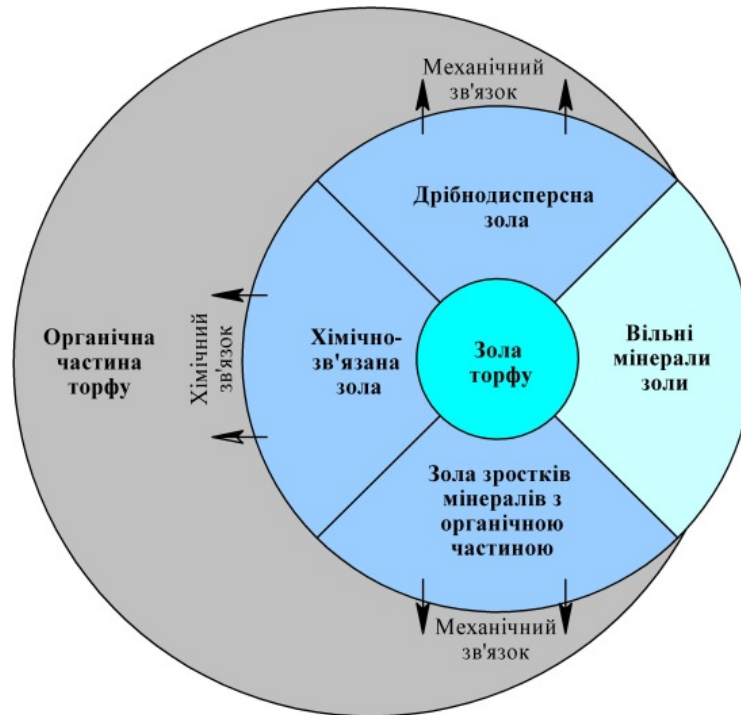


Рис. 2. Схема видів золи високозольного торффу та їх зв'язку з органічною частиною

Основними мінералами торффу є кварц, польові шпати, глинисті мінерали, гетит, гідрогетит, кальцит, вівіаніт та інші. Крупність та густина частинок високозольного торффу можуть бути основними розділовими ознаками процесу його збагачення.

Відповідно до схеми (рис. 2), зольність високозольного торффу можна представити у вигляді суми різних видів золи:

$$A = (A_v \cdot \gamma_v + A_{zp} \cdot \gamma_{zp} + A_x \cdot \gamma_x + A_d \cdot \gamma_d) / 100, \% \quad (1)$$

де γ_v , γ_{zp} , γ_x та γ_d – масова частка золи вільних мінералів, зростків, органіномінеральних хімічних сполук та дрібнодисперсної золи, %; A_v – зольність вільних мінералів золи, %; A_{zp} – зольність зростків вільних мінералів із органічною частиною торффу, %; A_x – зольність органіномінеральних сполук (хімічно-зв'язана зола), %; A_d – зольність дрібнодисперсних мінералів, %.

Для зручності запишемо рівняння (1) через вилучення золи:

$$100 = \varepsilon_{\text{в}} + \varepsilon_{\text{зр}} + \varepsilon_{\text{х}} + \varepsilon_{\text{д}}, \% \quad (2)$$

де $\varepsilon_{\text{в}}$ – вилучення золи з вільними мінералами, %; $\varepsilon_{\text{зр}}$ – вилучення золи зі зростками, %; $\varepsilon_{\text{х}}$ – вилучення золи із хімічно-зв'язаними сполуками, %; $\varepsilon_{\text{д}}$ – вилучення золи із дрібнодисперсними мінералами, %.

Вміст вільних мінералів та зростків мінералів з органічною частиною можна визначити за допомогою розділення у важких рідинах з різною густиною.

Густина мінералів, які знаходяться у торфі, становить 2400 кг/м³ і більше. Вільні мінерали вилучалися з торфу у важкій рідині з густиною 2000–2200 кг/м³ [3]. При цьому вони виділяються у важку фракцію.

Вилучення золи з вільними мінералами у такому випадку знайдемо за формулою:

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{A_{\text{вф}(2100)} \cdot \gamma_{\text{вф}(2100)}}{A}, \% \quad (3)$$

де $A_{\text{вф}(2100)}$ – зольність важкої фракції, яка виділилася у рідині з густиною від 2100 кг/м³, %; $\gamma_{\text{вф}(2100)}$ – масовий вихід важкої фракції у перерахунку на суху речовину, %; A – зольність вихідного торфу.

У зв'язку з тим, що зростки мінералів з органічною частиною торфу при виділенні у важких рідинах руйнуються внаслідок змочування і висихання, то вони виділялися разом із вільними мінералами вторинної золи і це було враховано у розрахунках.

Нормальнозольний торф низинного типу має густиною сухої речовини від 1460 до 1650 кг/м³. Її значення залежить від зольності та ступеня розкладу торфу [4]. У розрахунках значення густини сухої речовини торфу приймалося 1500 кг/м³. Тому зростки мінералів з органічною частиною торфу разом із вільними мінералами при розділенні у рідині з густиною 1500 кг/м³ виділялися у важку фракцію. Вилучення золи із зростками знаходилося за формулою:

$$\varepsilon_{\text{зр}} = \frac{A_{\text{вф}(1500)} \cdot \gamma_{\text{вф}(1500)}}{A} - \varepsilon_{\text{в}}, \% \quad (4)$$

де $A_{\text{вф}(1500)}$ – зольність важкої фракції, яка виділилася у рідині з густиною 1500 кг/м³; $\gamma_{\text{вф}(1500)}$ – масовий вихід важкої фракції у перерахунку на суху речовину, %.

Легка фракція, яка виділялася при густині розділення 1500 кг/м³, була представлена органічною частиною торфу з хімічно-зв'язаною та дрібнодисперсною золою. Такий торф за зольністю відповідав нормальнозольному. Вилучення золи до легкої фракції визначалося за формулою:

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{A_{\text{лф}(1500)} \cdot \gamma_{\text{лф}(1500)}}{A}, \% \quad (5)$$

де $A_{\text{лф}(1500)}$ – зольність легкої фракції, яка виділилася у рідині з густиною 1500 кг/м³; $\gamma_{\text{лф}(1500)}$ – масовий вихід легкої фракції у перерахунку на суху речовину.

Зольність легкої фракції, виділеної у важкій рідині із густиною 1500 кг/м³, є граничним значенням зольності концентрату, який можна отримати при збагаченні високозольного торфу. Цей показник є близьким до нормальної зольності торфу, або вмісту конституційної (материнської) золи. Розділення у важких рідинах при густині, яка відповідає густині органічної частини торфу, фактично є методом виділення нормальнозольного торфу і дозволяє визначити вміст материнської золи.

Зола легкої фракції, виділена у важкій рідині з густиною 1500 кг/м³, в свою чергу складається з золи хімічно-зв'язаної та дрібнодисперсної. Окремо виділити хімічно-зв'язану золу торфу неможливо. Коли розчиняти золу торфу у розчинах кислот (наприклад хлоридної), то у

розчин будуть переходити мінеральні сполуки як хімічно-зв'язаної, так і дрібнодисперсної золи. Не розчиняються у розчинах кислот сполуки силікатів та алюмосилікатів.

Наближений вміст хімічно-зв'язаної золи визначався розрахунковим методом з катіонного складу торфу за формулою:

$$\gamma_x = \sum \gamma_k, \% \quad (6)$$

де γ_k – вміст відповідних катіонів, %, який розраховувався за формулою:

$$\gamma_k = \frac{K \cdot M(K)}{N}, \% \quad (7)$$

де K – вміст катіону у торфі, мг.-екв./100 гр. сухої речовини торфу; $M(K)$ – молярна маса хімічного елемента, який відповідає даному катіону гр./моль, N – валентність катіона. Вмісти основних катіонів торфу (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} та Al^{3+}) можна визначати за спеціальними методиками, або прийняти залежно від виду торфу за даними [5].

Вилучення хімічно-зв'язаної золи торфу розраховувалося за формулою:

$$\varepsilon_x = \frac{100 \cdot \gamma_x}{A}, \% \quad (8)$$

Вилучення дрібнодисперсних мінеральних включень визначалося за залишковим принципом з формули (2):

$$\varepsilon_d = 100 - (\varepsilon_g + \varepsilon_{zp} + \varepsilon_x), \% \quad (9)$$

Відповідно до запропонованої методики були визначені вилучення золи з вільними мінералами, зростками, органо-мінеральними сполуками та дрібнодисперсними мінералами для шести зразків торфу родовищ «Старники» і «Засвіття-Ситнелюк» (табл. 2). Зольність досліджених зразків становила 21,96–33,09 %.

Таблиця 2. Вилучення золи з її видами

Назва зразка	$\varepsilon_g, \%$	$\varepsilon_{zp}, \%$	$\varepsilon_x, \%$	$\varepsilon_d, \%$	Всього
Фрезерний торф родовища «Засвіття-Ситнелюк»	59,5	16,6	12,9	11,0	100
Середнє квадратичне відхилення, %	4,3	3,1	0,6	1,7	–
Фрезерний торф родовища «Старники»	50,6	23,8	14,1	11,4	100
Середнє квадратичне відхилення, %	7,2	4,9	1,4	2,4	–

За наведеними результатами 50,6–59,5 % золи зосереджено у вільних мінералах, 16,6–23,8 % – у зростках (органомінеральних агрегатах), 16,6–23,8 % – в органо-мінеральних сполуках та 23,9–25,5 % – у дрібнодисперсних мінералах. Гранічне вилучення золи при збагаченні цих зразків високозольних торфів рівне сумі вилучення золи із вільними мінералами та зростками і становить 74,4–76,1 %. Частку золи, яка міститься у зростках (органомінеральних агрегатах) можна зменшити за рахунок подрібнення.

Гранічна зольність концентрату $A_{лф(1500)}$ для досліджених зразків високозольних торфів становить 13,45–14,03 %, а її середнє значення дорівнює 13,74 %. Максимальний теоретичний

вихід концентрату [6], визначається за формулою:

$$\gamma_k = 100 \left(1 - \frac{A - A_{cp}}{100 - A_{cp}} \right), \% \quad (10)$$

де A – зольність вихідного продукту, %; A_{cp} – гранична зольність концентрату, %.

Для досліджених зразків максимальний вихід концентрату із граничною зольністю 13,74 % становитиме 77,6–90,5 %. На практиці краще орієнтуватися на максимальний вихід концентрату умовної граничної зольності 20 % (відповідає кондиційному паливу з торфу). Це значення для досліджених торфів із зольністю 21,96–33,09 % становитиме 83,6–91,6 %.

Отримані теоретичні значення граничного виходу концентрату та його зольності при збагаченні високозольного торфу були порівняні з показниками отриманими авторами при дослідженні збагачуваності пневматичною сепарацією у сепараторі типу «Зиг-заг» та вібраційною сепарацією на звужуючому вібраційному лотку (рис. 3).

Кращі результати від уже отриманих можуть бути отримані будуть відповідати лініям чи точкам на графіках (рис. 3), що розміщені вище ліній 2 та 3 та нижче лінії 1. Для досягнення кращих результатів потрібно використовувати більш ефективні методи збагачення чи вдосконалювати існуючі, а також досягнути кращого розкриття мінералів золи.

Висновки. Отже, у роботі показано зв'язок між формами золи високозольного торфу та показниками його збагачення. Теоретично обґрунтовані граничні показники збагачення високозольних торфів та порівняні з отриманими експериментальними результатами. Це дає можливість обґрунтувати множину показників більш досконалих методів збагачення високозольних торфів.

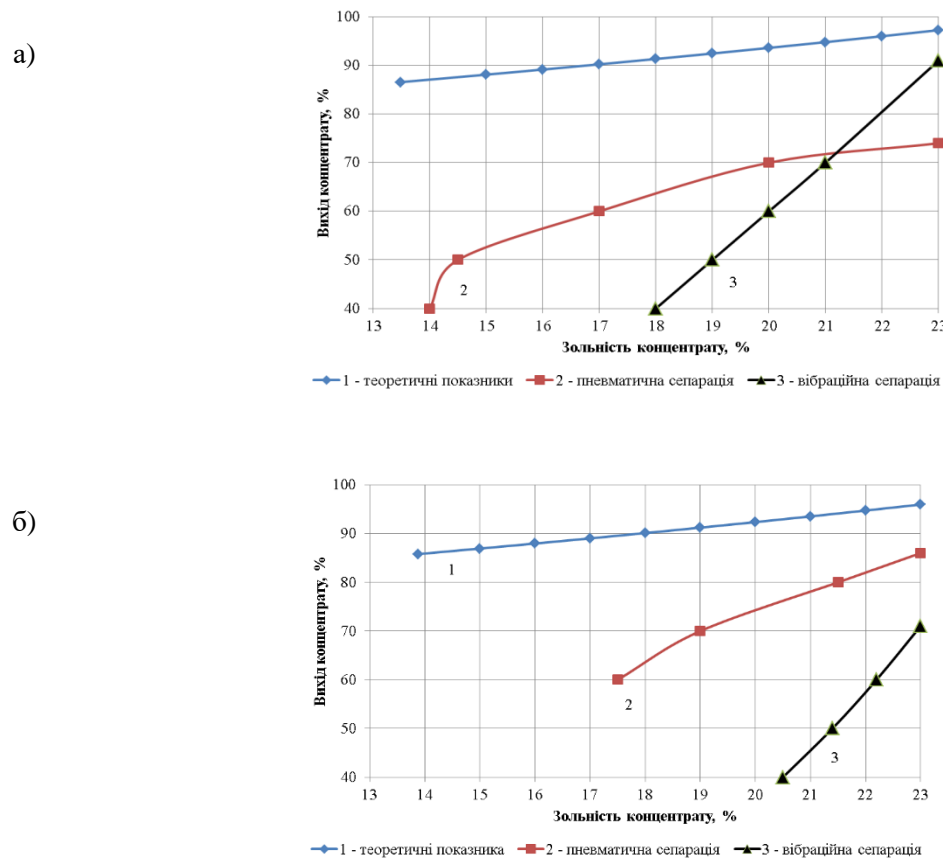


Рис. 3. Залежності між масовим виходом та зольністю концентратів отримані при збагаченні високозольних торфів: а – торф родовища «Засвіття-Ситнелюк» (зольність 25,10 %); а – для торф родовища «Старники» (зольність 26,07 %)

Библиографический список

1. Гнеушев В.О. Обґрунтування технологічної схеми виробництва торфових гранул та брикетів з некондиційної сировини / В.О. Гнеушев, О.С. Стадник // Вісник КНУ. – Кривий Ріг: КНУ, 2012. – Вип. 31. – С. 252–255.
2. Гнеушев В.О. Збагачуваність високозольного торфу на звужуючому вібраційному лотку // В.О. Гнеушев, О.С. Стадник, К.О. Китовська // Матеріали 12 міжнародної Промислової конференції «Ефективність реалізації научного, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах» 13-17 лютого 2012. – п. Плав'я, Карпати, 2012. – С. 242–244
3. Шарафутдинов Р.А. Минералогический, макро- и микроэлементный состав торфяных отложений Юго-восточной части Красноярского края / Р.А. Шарафутдинов, А.В. Гренадерова, Г.Ю. Ямских // Вестник Красноярского гос. университета: сборник научных трудов. – Красноярск, 2006. – С. 51–57.
4. Лиштван И.И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.
5. Лиштван И.И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван, Н.Т. Король. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
6. Козин В.З. Исследование руд на обогатимость: учебное пособие / В.З. Козин. – Урал. гос. горн. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2008. – 312 с.

Надійшла до редакції 11.05.2017

А.С. Стадник, В.А. Гнеушев

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Украина, г. Ровно

СВЯЗЬ ФОРМ ЗОЛЫ ВЫСОКОЗОЛЬНОГО ТОРФА С ЕГО ОБОГАТИМОСТЬЮ

В работе проанализированы формы золы высокозольного торфа, которые влияют на его обогатимость. Определены предельные показатели обогащения высокозольных торфов месторождений «Засветье-Ситнелюк» и «Старники». Показано соотношение между теоретическими и экспериментальными показателями обогащения этих торфов пневматической и вибрационной сепарациями. Обґрунтовано можливість покращення результатів збагачення високозольних торфів за рахунок використання нових методів збагачення та досягнення кращого розкриття мінералів золи.

Ключевые слова: высокозольный торф, зольность, обогащение торфа, форма золы, обогатимость, извлечение золы

O. Stadnyk, V. Hnieushev

National university of water and environment engineering, Ukraine, Rivne

CORRELATION THE ASH FORMS OF HIGH ASH-CONTENT PEAT WITH ITS WASHABILITY

In this paper the forms of ash for high ash-content peat, which affecting its washability was defined. Boundary parameters of enrichment the high ash-content peats of peatlands "Zasvittya-Sytynelyuk" and "Starnyky" are identified. The relation between theoretical and experimental parameters enrichment these peats of pneumatic and vibration separations was presented. The possibility of improving the performance enrichment of high ash-content peats with using of new enrichment methods and better disclosure of ash mineral was justified

Keywords: high ash-content peat, ash-content, enriching of peat, ash form, washability, extraction of ash