

В.С.БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

Н.В.СУРГОВА, магістрант

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

СЕЛЕКТИВНА АГРЕГАЦІЯ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ВУГІЛЛЯ У ГІДРОТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

Досліджено процес селективної масляної агрегації тонкодисперсного вугілля у гідротранспортній мережі вуглезбагачувальної фабрики. Встановлено позитивний вплив на процес агрегації вугілля турбулізації вугле-реагентної пульпи в насосі та зоні $L = 10D$ за місцевими опорами.

селективна агрегація, місцевий опір, насос, вугілля, моделювання.

Постановка проблеми та аналіз досліджень і публікацій в яких започатковано її вирішення. Відомо, що у процесі селективної агрегації тонкодисперсного вугілля гідрофобними реагентами частота обертання імпелера агітатора пульпи суттєво впливає на швидкість агрегатоутворення, зольність відходів, діаметр гранул [1, 2]. Процес селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля ведеться в широкому діапазоні частот: 6-10 с⁻¹ [3, 4], 17-34 с⁻¹ [4, 5], від 34 до 170-250 с⁻¹ [6]. Різною також є окружна лінійна швидкість робочого органу агітатора гідросуміші: 10-20 м/с [7], 20-26 м/с [5, 7].

Разом з тим водовугільна пульпа передається в межах вуглезбагачувальної фабрики примисловим гідротранспортом. Питання використання промислових гідротранспортних установок вуглезбагачувальних фабрик як допоміжної чи основної ланки для реалізації селективної агрегації тонкодисперсного вугілля гідрофобними реагентами, наприклад, перед флотацією, раніше системно не вивчалось.

Нами у попередніх дослідженнях встановлено, що основні технологічні показники селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля гідрофобними реагентами, а саме вихід концентрату, зольність концентрату і відходів, вологість концентрату досягають раціональних і оптимальних значень при турбулентності $Re = 40000-60000$. Тривалість процесу агрегації досягає мінімальних значень при $Re = 100000$. Таким чином, експериментально показана можливість реалізації процесу селективного агрегування вугілля безпосередньо у промисловій гідротранспортній системі вуглезбагачувальної фабрики.

Мета статті – дослідження впливу на селективну агрегацію вугілля насосу та місцевих опорів, які є елементами промислової гідротранспортної системи вуглезбагачувальної фабрики.

Виклад основного матеріалу досліджень. Специфіка дослідження процесу збагачення тонкодисперсного вугілля з використанням елементів промислових гідротранспортних систем вуглезбагачувальної фабрики полягає в тому, що, по-перше, відсутня математична модель процесу селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля у гідротранспортній системі фабрики. Така модель складна, вимагає багато вихідних даних, одержання яких ускладнене. Крім того, така модель повинна включати субмоделі поведінки тонкодисперсного вугілля у насосах, лінійному трубопроводі, засувках, колінах (згинах, поворотах, інших місцевих опорах) трубопровода тощо.

По-друге, дослідження процесу селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля безпосередньо у гідротранспортній системі вуглезбагачувальної фабрики в реальних масштабах недоцільне – воно громіздке і витратне, і разом з тим практично не забезпечує можливості варіації факторів, які впливають на процес (тобто активний експеримент).

Вказані дві обставини обумовлюють вибір для дослідження методу фізичного моделювання.

Так як одним з основних механізмів селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля є турбулентна дифузія (що показано у главі 2), критерієм фізичного моделювання нами вибрано число Рейнольдса – безрозмірна величина, котра характеризує режим течії рідини, зокрема ступінь турбулентності течії водо-вугільної гідросуміші у потоці.

Число Рейнольдса у загальному вигляді визначається за формулою [8]:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} \quad (1)$$

де ρ – густина пульпи, μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, v – характерна швидкість течії пульпи, l – характерний розмір, який дорівнює максимальному масштабу турбулентних пульсацій.

Для наших умов формула (1) може бути приведена до вигляду [9]:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (2)$$

де D – внутрішній діаметр труби промислової гідротранспортної системи вуглефабрики.

Зауважимо, що ламінарна течія має місце, коли число Re менше від критичного значення. Для випадку течії води в круглій трубі $\text{Re}_{\text{кр}}=2000-2200$ [9].

Розвинена турбулентність, яка необхідна для реалізації процесу селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля за механізмом турбулентної дифузії має місце при $\text{Re}_{\text{р.т.}} \gg \text{Re}_{\text{кр}}$. За попередніми оцінками, діапазон значень чисел Рейнольдса у елементах промислових гідротранспортних систем вуглезбагачувальної фабрики складає $(10-100) \cdot 10^3$.

Процес селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля реалізовано у лабораторних імпелерних мішалках, обладнаних варіатором швидкості

обертання вала імпелера. Лабораторна установка включала турбулентну мішалку з електроприводом, яка забезпечувала зміну частоти обертання вала у межах $0-70 \text{ c}^{-1}$. Робоча камера мішалки – циліндр діаметром 9 см і об'ємом робочої камери 1 л. Імпелер чотирилопастний діаметром $3/4$ від діаметра робочої камери (рис. 1).

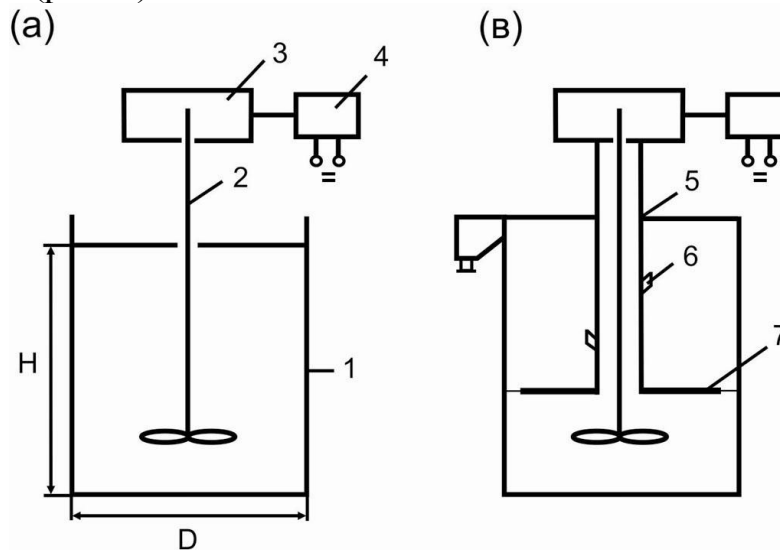


Рис. 1 – Лабораторні імпелерні мішалки (а – мішалка з імпелером, в – мішалка, обладнана додатковими елементами, які впливають на процес циркуляції пульпи): 1 – корпус мішалки; 2 – вал імпелера; 3 – варіатор швидкості обертання мішалки; 4 – електропривод; 5 – центральна труба; 6 – патрубок циркуляції; 7 – розділюючий диск.

В якості вихідного прийняте вугілля крупністю $0-0,2 \text{ мм}$ марки Г і шлами шихти коксівного вугілля крупністю $0-0,3 \text{ мм}$. Масляний агент – гас і топковий мазут марки М100. Густина пульпи $\rho_{\text{вс}}=250 \text{ г/л}$; рівень рН=7; зольність вугілля $A_{\text{в}}^{\text{д}}=15-20\%$.

Моделювалися процеси селективної агрегації вугілля у шламовому насосі та місцевих опорах гідротранспортної мережі вуглезбагачувальної фабрики.

1. Агрегація тонкодисперсного вугілля у шламовому насосі

Розрахункова область чисел Рейнольда, яка відповідає промисловим шламовим насосам типу ШН з діапазоном чисел обертів $1000-1500 \text{ хв}^{-1}$, що використовуються на збагачувальних фабриках для перекачки відходів флотатії, складає $Re=600000-1000000$.

Результати фізичного моделювання процесу селективної агрегації вугілля у насосі наведено на рис. 2 і 3.

Прокоментуємо одержані дані.

Як видно з рис. 2 залежності виходу концентрату $\gamma_{\text{к}}$, зольності відходів $A_{\text{хв}}^{\text{д}}$, вологості $W_{\text{тк}}^{\text{р}}$ і зольності $A_{\text{в}}^{\text{д}}$ концентрату від турбулентності течії рідини мають експоненціальний характер. Розрахункові значення чисел Рейнольда для шламових насосів ШН ($Re=600000-1000000$) забезпечують

стабільне і в даному випадку оптимальне значення виходу концентрату γ_k , зольності відходів A_{XB}^d , вологості W_{TK}^r і зольності A_B^d концентрату.

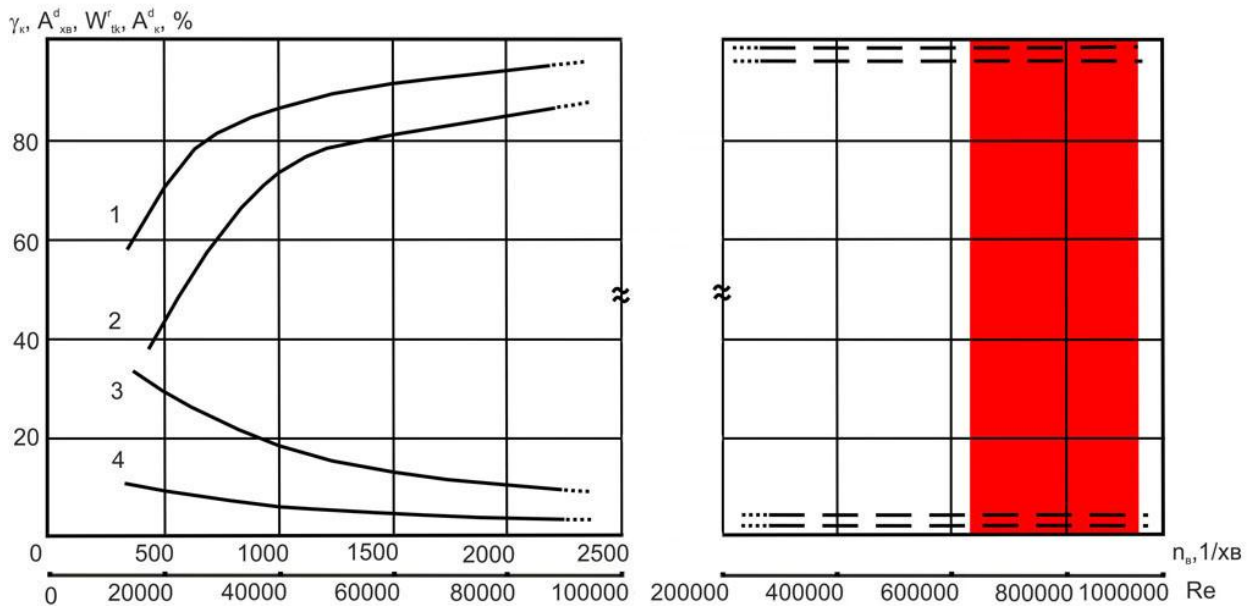


Рис. 2 – Розрахункова область чисел Рейнольда, яка відповідає промисловим шламовим насосам типу ШН, на експериментальних залежностях:

1 – виходу концентрату γ_k ; 2 – зольності відходів A_{XB}^d ; 3 – вологості концентрату W_{TK}^r ; 4 – зольності концентрату A_B^d від частоти обертання колеса насоса n_b та числа Re . (експериментальні данні, одержані В.С.Білецьким [10] та В.П.Шилаєвим [11])

При цьому досягнуті у насосі значення $Re=600000-1000000$ забезпечують мінімальний час агрегації (рис 3). При цьому слід очікувати суттєвого зменшення діаметру утворених у насосі флокул – на виході з насоса ми отримаємо велику кількість придатних для подальшої флокуляції мікрофлокул (або їх зародків), які вже не є розрізненими частинками, що полегшує їх подальшу флокуляцію.

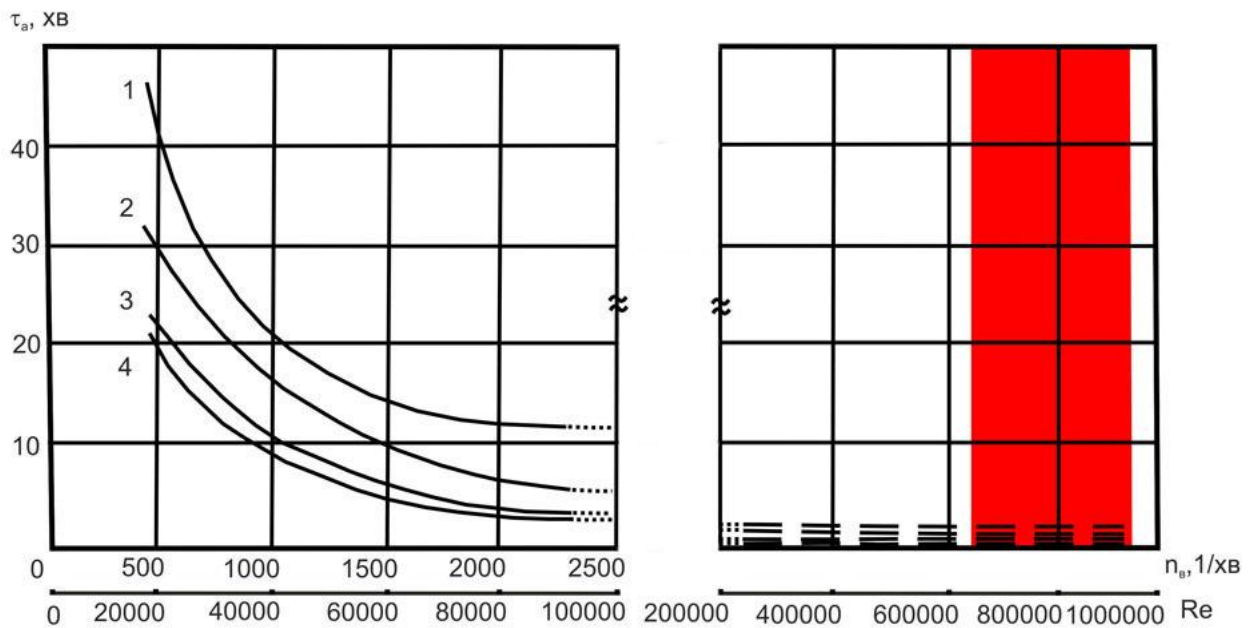


Рис. 3 – Розрахункова область чисел Рейнольда, яка відповідає промисловим шламовим насосам типу ШН, на експериментальних залежностях тривалості агітації τ_a від швидкості руху потоку v та числа Re при різних витратах зв'язуючого (гас):

1 – $Q_m = 10$ мас.%; 2 – 15 мас.%; 3 – 20 мас.%; 4 – 30 мас.%.

Отже можна зробити висновок, що насос виконує функцію первинної флокуляції тонких частинок, яка значно спрощує подальше їх агрегування під час наступного гідравлічного транспортування вугільно-реагентної гідросуміші.

2. Інтенсифікація флокуляції у турбулентних потоках спричинених місцевими опорами

Як показано у [12] за місцевими опорами виникає зона підвищеної турбулізації потоку, довжина якої дорівнює $10D$ (D – діаметр трубопроводу). Втрати напору в цій зоні ($h_{вум}$) обумовлюються не тільки втратами напору по довжині трубопроводу ($h_{вум1}$), але й втратами на тертя рідини в турбулентних потоках ($h_{вум2}$). Тобто:

$$h_{вум} = h_{вум1} + h_{вум2}. \quad (3)$$

Або аналогічно для втрати енергії потоку:

$$E_{вум} = E_{вум1} + E_{вум2}. \quad (4)$$

Прийmemo, що $E_{вум2} = \frac{m \cdot V_{сеп}^2}{2}$, де $V_{сеп}$ – усереднена швидкість рідини в турбулентних потоках в зоні за місцевим опором.

Втрати напору на місцевих гідравлічних опорах можна визначити за формулою Вейбаха-Дарсі [9]:

$$h_{\text{вит}} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору, безрозмірний параметр;

v – швидкість руху речовини, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Таким чином, у першому наближенні турбулентність рідини в зоні за місцевим опором можна оцінити числом Рейнольдса:

$$\text{Re}_{on} = \frac{(\vec{v} \pm \vec{V}_{\text{сер}}) \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (6)$$

де D – внутрішній діаметр труби; \vec{v} – швидкість руху рідини; ρ – густина рідини; μ – динамічна в'язкість.

У формулі (6) швидкість являє собою векторну суму усередненої швидкості рідини вздовж трубопроводу \vec{v} і усередненої швидкості рідини в турбулентних потоках в зоні за місцевим опором $\vec{V}_{\text{сер}}$.

Розрахунок чисел Рейнольда для потоків рідини в зоні $L = 10D$ за місцевими опорами узагальнений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахунок чисел Рейнольда для потоків рідини в зоні $L = 10D$

Місцевий опір	Втрати напору $h_{\text{вит}}$, м. вод. стовпа	Відповідні втрати енергії напору E , Дж/м ³	Середня швидкість рідини $V_{\text{сер}}$, м/с	Число Re	
				$\vec{V}_{\text{сер}}$	$\vec{V}_{\text{сер}}$
Раптове розширення	0,0001274	1,2495540	1,5808567	203914,89	158113,37
Дифузор	0,0003058	2,9989297	2,4490527	303326,65	257525,12
Коліно	0,0022426	21,9921509	6,6320662	782297,65	736496,13
Відвід	0,0002243	2,1997149	2,0974818	263070,43	217268,91

Результати розрахунків проілюстровані на рис 4.

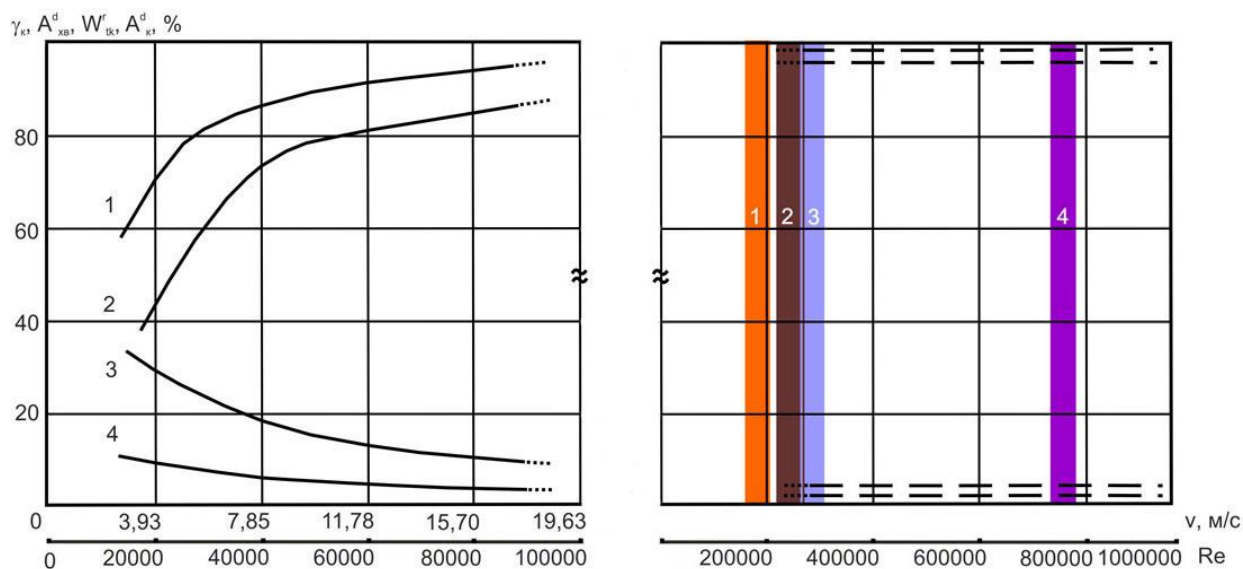


Рис 4 – Розрахункові області чисел Рейнольдса, які відповідають зоні $L = 10D$ за місцевими опорами, на експериментальних залежностях:
 1 – виходу концентрату γ_K ; 2 – зольності відходів A_{XB}^d ; 3 – вологості концентрату W_{TK}^r ; 4 – зольності концентрату A_B^d від швидкості руху потоку v та числа Re . Місцеві опори: I – раптове розширення; II – відвід; III – дифузур; IV – коліно).

Отримані нами розрахункові і графічні дані свідчать, що місцеві опори забезпечують в зоні шлейфу за ними довжиною $L = 10D$ турбулентність яка характеризується числом $Re = 150000-790000$ і, таким чином, забезпечують у вказаній зоні турбулентного шлейфу активізацію процесу селективної агрегації вугілля. Місцеві опори по суті виконують функцію аналогічну статичним змішувачам.

Комбінуючи різні місцеві опори між собою можна отримати заданий рівень турбулентності на заданому проміжку трубопровода, що значно інтенсифікує процес агрегації (флокуляції) вугілля у трубопроводній мережі.

Висновки

Досліджено процес селективної масляної агрегації тонкодисперсного вугілля у гідротранспортній мережі вуглезбагачувальної фабрики. Встановлено позитивний вплив на процес агрегації вугілля турбулізації вугле-реагентної пульпи в насосі та зоні $L = 10D$ за місцевими опорами.

У подальших дослідженнях слід розглянути вплив на режим течії водовугільної пульпи (а, отже, і на процес селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля гідрофобними реагентами) статичних змішувачів.

Література

1. Белецкий В.С. Технологические основы рационального использования масляной грануляции для обезвоживания и обогащения гидравлически транспортируемых углей. – Автореф. диссерт. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. Днепропетровск: – 1986. – 17 с.

2. Папушин Ю.Л. Масляная агломерация высокозольного антрацитового топлива. Автореф. диссерт. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук. Днепропетровск. – 1987. – 16 с.
3. Белецкий В.С., Кхелуфи А. Сохранение технологических свойств коксующегося угля при гидравлическом транспортировании // Кокс и химия. - №4, 1996. С. 9-10.
4. Деминерализация углей с помощью технологи агломерации / Саркар Д.Д., Конар Б.Б., Сакха С., Сипха А.Р. // 7 Международный конгресс по обогащению угля. Сидней. 1976. – НЗ.
5. Vogenschneider V. Oliflok-process // Aufbereitungs – Technik. – 1997 – 18, №5. S. 219-224.
6. Кейпс К.Е. Применение сферической агломерации в углеобогащении // 7 Международный конгресс по обогащению угля. Сидней. 1976. – Н2.
7. Заявка № 55-107212, Япония. МКІ³ С10L 5/00. Спосіб зневоднення вугілля / К. Нагата. Міцуні дзосен. Заявл. 06.08.80. Опубл. 20.02.82. – 4 с.
8. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. - М.: Издат. физ.-мат. литер., 1959. - 700 с.
9. Світлий Ю.Г., Білецький В.С. Гідравлічний транспорт (монографія). – Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2009. – 436 с.
10. Білецький В.С., Сергеев П.В. Папушин Ю.Л. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля. Донецьк., 1996, 264 с.
11. Шилаев В. П. Обогащение и обезвоживание тончайших угольных шламов с применением каскадно-адгезионной сепарации и грануляции. Автореф. диссерт. на стиск. учен. степ. канд. техн. наук М.: ВЗПИ, 1969. – 29 с.
12. Кононов А.А., Кобзов Д.Ю., Кулаков Ю.Н., Ермашонок С.М. Основы гидравлики: Курс лекций. – Братск: ГОУВПО «БрГТУ». – 2004. – 92 с.

В.С. Білецький, Н.В. Сургова

Досліджено процес селективної масляної агрегації тонкодисперсного вугілля у гідротранспортній мережі вуглезбагачувальної фабрики. Встановлено позитивний вплив на процес агрегації вугілля турбулізації вуглереагентної пульпи в насосі та зоні $L = 10D$ за місцевими опорами.

селективна агрегація, місцевий опір, насос, вугілля, моделювання.

V.S. Biletskyy, N.V.Surgova

Process of selective oil aggregation of fine coal in a hydrotransport network of a preparation plant is investigated. Positive influence on process of aggregation of coal турбулізації углереагентной pulps in the pump and zone $L = 10D$ behind local resistance is established.

selective aggregation, local resistance, the pump, coal, modelling.