

КЛАСИРАНЕ НА ФИНИ ЧАСТИЦИ В РАЗРЕДЕНИ СУСПЕНЗИИ

Иван Нишков, Адонис Калайдзис, Ирена Григорова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, iniskov@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Проведени са лабораторни изследвания със стъклени сфери за гравитационна класификация в единичен наклонен утаителен канал. Изходната суспензия е разделена на две фракции с различен зърнометричен състав. Конструиран е и е изработен трипродуктов ламелен класификатор. Проведени са полупромишлени изследвания с технологичен отпадък от обработка на мрамори. Получени са три продукта с различен зърнометричен състав. Доказани са техните потребителски качества за използването им като минерални пълнители в хартиената, химическата и строителна промишленост.

PARTICLE CLASSIFICATION IN DILUTE SUSPENSIONS

Ivan Nishkov, Adonis Kalaitzis, Irena Grigorova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, iniskov@gmail.com

ABSTRACT. Particle gravity classification was performed with dilute suspension of glass sphere particles in single inclined settling channel. A classification of particles by size was achieved. Three-product lamella classifier was designed and manufactured. Pilot scale trial was performed. The device is used to separate marble treatment waste by size. Three products with different particle size distribution were obtained. The obtained products were tested to determine their application performances in paper, chemical and building industries.

Въведение

В множество от приложенията включващи суспензии на фини частици във флуиди е желателно твърдата фаза да се раздели въз основа на различия в физичните характеристики като размер, форма и плътност. Масово използваното оборудване с възможности за ефективна класификация включва: хидоциклони, центрофуги, конусни класификатори, спирални класификатори, сита и др. Особено предпочитан метод на класификация е използването на разликите в скоростта на падане на частиците под действието на собственото им тегло. Различните видове гравитационните класификатори са едновременно прости като конструкция и упражняват много слабо въздействие върху частиците. Същевременно гравитационното разделяне на частиците е бавно, особено ако частиците са малки.

Една атрактивна възможност за значително увеличаване на скоростта на гравитационната сепарация включва използването на ламелни (пластинчати) съгъстители. В ламелния съгъстител основни детайли представляват разположените на близко разстояние наклонени плоскости, образуващи тесни канали, благодарение на които потокът се разделя на струи с ламинарно движение. Така съществено се намалява пътя на утаяване на твърдите частици. Ламелният утаител представлява камера, в която е монтиран пакет от тънки паралелни пластини, разположени на разстояние 35 - 50 mm една от друга под ъгъл 25 - 60° спрямо хоризонта. Така частиците се

утаяват върху горната повърхност на всяка пластина и след което се плъзгат надолу до дъното на утаителя, където се събират. Действието на тези наклонени утаители заедно с математическите модели и експерименталното им доказване е описано в обзора на Davis и Acrivos (1985). Повечето анализи на ламелните утаители са ограничени до монодисперсни суспензии, където всички частици имат еднаква скорост на утаяване. Изключение правят трудовете на Davis et al. (1982) и Schafflinger (1985), които се отнасят за полидисперсните суспензии и показат как пространственото разделяне на твърдите частици се проявява само при най-бавно утаяващите се частици останали в горния слой на наклонен утаителен канал. Също така, Law et al. (1988) са изследвали поведението на утаяване на бидисперсни суспензии от тежки и плаващи частици в наклонен канал. Davis et al. (1982) предполагат, че ламелните утаители могат да бъдат използвани за гравитационна сепарация на частици в зависимост от разликите в скоростите на утаяване. Boucott (1920) е първият който публикува данни за значителния ефект на наклонена повърхност при утаяване на твърди частици. Ламелните утаители включващи паралелно подредени пластини се използват като високоефективни съоръжения за бифазно разделяне на течна от твърда фаза. Захранващият пулп попада под комплект от пластини. С преминаването на потока нагоре през наклонените канали твърдите частиците седиментират върху повърхността на пластините и се плъзват надолу, докато чистата вода изтича от горния край. Да разгледаме ефектът на разреждаща вода подавана от дъното на съоръжението и преминаваща нагоре през системата от паралелни пластини. По-бавно утаяващите се частици

нямат възможност да се утаят срещу флуидизиращата вода и са принудени да се отделят от по-бързо утаяващите се частици. По-голямото хидравлично натоварване въздейства на по-бавно утаяващите се частици и те се издигнат през комплектите от пластини в горната зона и се отделят като горен продукт. По-бързо утаяващите се частици седиментират върху горната повърхност на пластините и се отделят чрез отвор в основата като долен продукт. Този режим на работа оформя принципа на действие на рефлукс класификатор.

Рефлукс класификаторът е модерно съоръжение предлагащо редица преимущества в класификацията по едрина и плътност на частиците (Nguyentranlam and Galvin, 2000). Съоръжението се състои от секции от флуидизиран слой и пакет от паралелни наклонени пластини на различни височини. Всеки пакет от пластини се простира напречно на съда и покрива целия периметър на секциите с флуидизиран слой. Частиците се разделят в системата чрез издигане на поток от флуид. Пакетите от наклонени паралелни пластини са зоните на класификация на рефлукс класификатор. В наклонените канали между пластините, частици с по-голяма едрина или плътност и с по-голяма скорост на утаяване се отделят на малки разстояния в каналите върху горната повърхност на пластините, образувайки утаечни слоеве и бързо се плъзгат надолу. По-фините или по-леки частици се отнасят от флуидизиращата течност през каналите в горната зона над наклонените пластини и се отделят като горен продукт. Флуидизацията която протича под всеки пакет пластини осигурява однороден поток. Частиците отделени от потока суспензия, попадайки върху наклонените пластини се връщат отново във флуидизираната зона. Този саморегулиращ ефект следва да елиминира погрешно попадналия материал и по този начин да повиши качеството на разделяне. Ludowici LMPE Reflux Classifier е ново модерно съоръжение, създадено в университета в Нюкастел (Galvin et al, 2001). Промислен прототип е тестван при гравитационна сепарация на въглища, като е постигната много висока производителност.

Цел на настоящото изследване е да се приложат принципите на гравитационна класификация в наклонен утаител и флуидизиран слой за конкретен обект – технологичен отпадък от обработката на мрамор.

Експеримент

Лабораторни изследвания

Изследванията са проведени с единичен наклонен утаителен канал изработен от плексиглас с размери: дължина – 60 cm, широчина 3,5 cm и дълбочина 2,5 cm. При всички експерименти ъгълът на наклона на утаителя е постоянен - 45° спрямо вертикала. Този ъгъл беше избран, тъй като експериментално беше установено, че при 45° се осигурява високи скорости на утаяване и образувалата се утайка може да се свлича много лесно в долната част на канала. Използвани бяха стъклени

сфери доставени от Duke Scientific Co с размери от 0 до 60 μm . На фиг. 1 е представена лабораторна инсталация с непрекъснато действие с единичен наклонен утаителен канал.



Фиг. 1. Лабораторна инсталация с единичен наклонен утаителен канал

Захранващата суспензия от стъклени сфери с частичкова концентрация 1 % се диспергира с магнитна бъркалка в резервоар с обем 4 литра. С перисталтична помпа суспензията се подава в горния край на дъното на наклонения канал. Концентрираната утайка се засмуква от най-ниския ъгъл на утаителя и се връща в резервоара. Дъното на утаителя има механична вложка с делителна планка проектирана да сепарира захранвания поток от утайката и да предотвратява смесването на утайката със суспензията. Обемно се контролират дебитите на захранването и долния продукт. Дебитът на горния продукт се контролира чрез горното ниво на наклонения канал и практически представлява разликата между дебитите на захранването и на долния продукт. Горният продукт също се връща в резервоара. Захранващата суспензия съдържаща различни по размер частици.

Въз основа принципа на гравитационната класификация, че по-едри частици се утаяват по-бързо отколкото по-фините от една и съща плътност и форма суспензията се разделя на две фракции - едра фракция (долен продукт) и фина фракция (горен продукт). Ако времето на престой в наклонения утаител е по-дълго от изискваното време за утаяване за даден клас, тогава частиците от граничния клас на делене ще се утаят на долната стена на канала и ще плъзнат надолу и няма да бъдат отнесени в горния продукт. По този начин, горният продукт ще бъде изключително лишен от към частици клас по-едър от точката на делене. Това може да се контролира чрез настройка на геометрията или дебитите в съда. Като следствие долният продукт ще се набогати с по-бързо утаяващи се по-едри частици. Ако е нужно да се реализира класиране по едрина на повече от две фракции, това може да бъде постигнато посредством множество наклонени утаители в серии или чрез многостъпален утаител. Общо 20 експеримента бяха направени като се променяха дебитите на захранване и долен продукт. За всеки експеримент беше необходим поне

1 час за да се достигне до равновесно формиране на тънък слой утайка върху долната стена на канала. Периодично се взимат проби от захранването, горния и долен продукти.

Полупромишлени изследвания

Полупромишлените изследвания са проведени със специално конструиран и изработен за конкретната суровина ламелен хидроклаификатор. При разработването на това съоръжение са взети предвид принципите на гравитационната сепарация реализирана в рефлукс клаификатора.

Ламелният клаификатор е съоръжение за гравитационна клаификация (клаифиране по едрина) на еднороден изходен материал по отношение на плътността. Изходна суровина е технологичен отпадък от обработката на мрамор. При обработката на мрамори – рязане, шлифоване, полиране се получава технологичен отпадък, който представлява около 35 % от добитите мраморни блокове. Този отпадък е във вид на суспензия със съдържание на твърда фаза от 30 до 80 g/l. На табл.1 е посочен зърнометричния състав на технологичния мраморен отпадък.

Таблица 1

Гранулометричен състав на технологичен мраморен отпадък

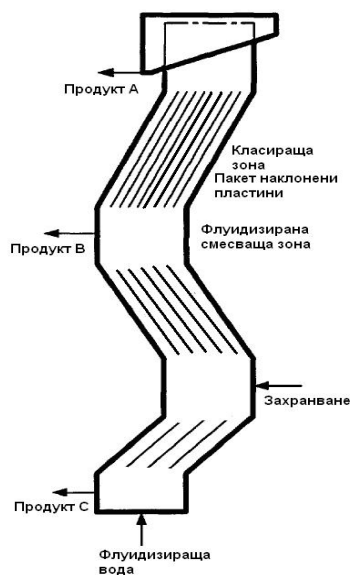
Класи, mm	M, %	$\Sigma M, \% \downarrow$	$\Sigma M, \% \uparrow$
+2.000	0.80	0.8	100.00
-2.000 + 1.250	0.60	1.40	99.20
-1.250 + 0.800	0.90	2.30	98.60
-0.800 + 0.630	0.80	3.10	97.70
-0.630 + 0.500	0.80	3.90	96.90
-0.500 + 0.400	1.00	4.90	96.10
-0.400 + 0.315	1.80	6.70	95.10
-0.315 + 0.200	4.20	10.90	93.30
-0.200 + 0.160	3.80	14.70	89.10
-0.160 + 0.100	4.20	18.90	85.30
-0.100 + 0.060	4.40	23.30	81.10
-0.060 + 0.040	4.10	27.40	76.70
-0.040 + 0.030	3.90	31.30	72.60
-0.030 + 0.020	4.20	35.50	68.70
-0.020 + 0.010	14.10	49.60	64.50
-0.010 + 0.005	14.80	64.40	50.40
-0.005 + 0.002	15.00	79.40	35.60
-0.002	20.60	100.00	20.60

Цел на полупромишлените изследвания е да се реализира разделяне на технологичния отпадък на три продукта, които да отговарят на изискванията от гледна точка на зърнометричен състав на минерални микро-продукти за хартиената, химическата и строителната промишлености.

Полупромишлените изследвания са проведени с трипродуктов ламелен клаификатор, представен на фиг.2.

Трипродуктовият ламелен клаификатор се състои от три пакета тънки паралелни пластини, разположени напречно на потока на различни височини. Пилотният

прототип с квадратно напречно сечение 0.6x0.6 m. Флуидизиращата водата се издига нагоре през дистрибуторната плоча разположена на дъното на съоръжението, като суспендира частиците в обема.

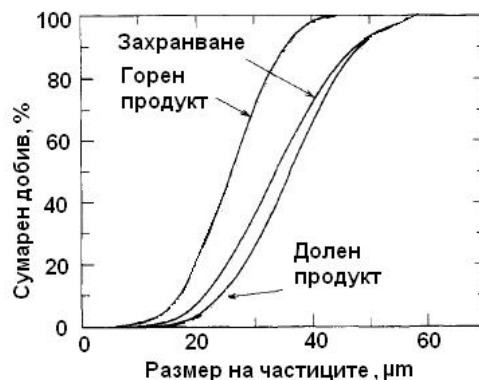


Фиг. 2. Трипродуктов ламелен клаификатор – полупромишлен прототип

Захранващата суспензия се подава странично между първия и втория пакет наклонени плоскости. Пластините от първия пакет, разположени близо до основата на ламелния клаификатор са дълги 0.6 m и са на разстояние 100 mm една от друга. Наклонени са хоризонтално под ъгъл 60°. Над захранващия отвор е разположен втория комплект наклонени пластини дълги 0.9 m, на разстояние 50 mm една от друга. Третият комплект пластини с дължина 1.2 m и на по 30 mm една от друга са разположени в горната част на съоръжението. Флуидизираните смесващи зони се намират между всеки пакет наклонени плоскости. Трите пакета наклонени плоскости и съответните флуидизирани смесващи зони позволяват технологичния мраморен отпадък да се раздели на три потока, съответно на три продукта с различен зърнометричен състав.

Резултати и дискусия

Получените резултати от лабораторните изследвания с единичен наклонен утайтелен канал са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Частичково разпределение на изходния материал, горен и долен продукти

Фигурата представя гранулометричния състав на изходния материал, горен (фина фракция) и долен (едра фракция) продукт при дебити, съответно на захранване – 0,721 mL/s, долен продукт – 0,067 mL/s, горен продукт - 0,654 mL/s. Ясно се вижда, че е реализирана класификация по едрина. В горния продукт липсват едри частици, докато в долния продукт е значително намалена фракцията от фини частици.

На фиг. 4, 5 и 6 са представени зърнометричните характеристики на получените три продукта при полупромишлените експерименти с трипродуктовия ламелен класификатор.



Фиг. 4. Зърнометричен състав на продукт А



Фиг. 5. Зърнометричен състав на продукт В



Фиг. 6. Зърнометричен състав на продукт С

Определено се вижда съществената разлика по едрина в трите продукта. Най-финият продукт е с едрина на частиците до 20 μm с D50% - 4 μm , междинният продукт е с едрина на частиците до 100 μm с D50% - 18 μm , а долния най-едър продукт 500 μm с D50% - 160 μm . Трите продукта са тествани за тяхното приложение като минерални пълнители в съответната промишленост по отношение на зърнометричния им състав. Установено е, че финият продукт може да се използва като микропълнител в хартиената, лако-бояджийската и обувната промишлености, за производство на лепила. Междинният продукт би намерил приложение като микропълнител при производството на полимер бетон, лепила и фини мазилки. Долният едър продукт може да се използва като пълнител в производството на полимер бетон и в строителството.

Изводи

В лабораторни условия е доказано, че с наклонен утаителен канал би могло да се реализира гравитационна класификация. Конструиран е и е изработен трипродуктов ламелен класификатор за гравитационна класификация на технологичен отпадък от обработката на мрамори. Получени са три продукта с различен зърнометричен състав. Доказани са техните потребителски качества за използването им хартиената, химическата и строителна промишлености.

Литература

- Davis, H., A. Acrivos. 1985. Sedimentation of Noncolloidal Particles at Low Reynolds Numbers. *Annu. Rev. Fluid Mech*, 17, pp. 91-118.
- Davis, H., E. Herbolzheimer, A. Acrivos. 1982. Sedimentation of Polydisperse Suspensions in Vessels Having Inclined Walls. *Int. J. Multiphase Flow*, 8, pp. 571-585.
- Galvin, K., E. Doroodchi, A. Callen, N. Lambert and S. Pratten. 2002. Pilot plant trial of the reflux classifier. *Minerals Engineering, Volume 15, Issues 1-2*, pp. 19-25.
- Law, S., S. MacTaggart, K. Nandakumar, H. 1988. Settling Behaviour of Heavy and Buoyant Particles from a Suspension in an Inclined Channel. *Fluid Mech*, 187, pp. 301-318.
- Nguyentranlam, G., P. Galvin. 2000. The development of an innovative classifier. In: *Proceeding of the 28 th Australasian Chemical Engineering Conference - Chemeca 2000. IEAust, Perth*, pp. 290-296.
- Schaflinger, U. 1985. Influence of Nonuniform Particle Size on Settling Beneath Downward-Facing Walls. *Int. J. Multiphase Flow*, 11, pp. 783-796.