

P. M., O. V. Dmytrijenko and I. P. Grechka. "Bagatokryterial'na optimizacija parametriv gidroagregatu verstatu dlja namotuvannja obmotok elektrodivguniv." *Visnyk NTU «KhPI»*. No. 4. Kharkiv: NTU «KhPI». 2010. 53–60. Print. 7. Andrenko, P. M. "Bagatokryterial'na optimizacija parametriv gidroaparativ z oscyljacieju." *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*. No. 4 (22). Vinnitsa: VDAU, 2008. 93–97. Print. 8. Andrenko, P. M., O.V. Dmytrijenko and M. S. Svyarenko. "Metodyka rozrahunku ta proektuvannja gidravlichnogo gasytelja pul'sacij tysku u skladi gidroagregata." *Vestnik NTU «KhPI»*. No. 54. 2010. 4–9. Print. 9. Sobol', I. M., and R. V. Statnikov. *Vybor optima'lnyh parametrov v zadachah so mnogimi kriterijami*. Moscow: Nauka, 1981. Print. 10. Lebedev, A. Y., and P. M. Andrenko. "Vyznachennja nerivnomirnosti podachi labirintno-gvyntovogo nasosa." *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*. No. 3 (37). Vinnitsa: VDAU. 2012. 33–37. Print. 11. Lebedev, A. Y. "Vyznachennja koeflicijenta vtrat na tertja dlja rozrahunku harakterystyky labirintno-gvyntovogo nasosa." *Praci Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universytetu*. No. 12. Vol. 3. Melitopol': TDAU, 2012. 215–219. Print. 12. Lebedev, A. Y. "Vyznachennja kryterija kavitacii' labirintno-gvyntovogo nasosa." *Visnyk NTU «KhPI»*. Ser.: *Matematyčne modeljuvannja v tehnici ta tehnologijah*. No. 5 (979). 2013. 124–129. Print. 13. Andrenko, P.M., et al. Ukrai'na, assignee. Patent na korysnu model 68863 UA, MPK F04D 3/00. Labiryntno-gvyntovyy nasos. № u 2011 12505; zayavl. 25.10.2011; opubl. 10.04.2012, Byul. №7. 14. Andrenko, P.M., et al. Ukrai'na, assignee. Patent na korysnu model 73119 UA, MPK F04D 3/00. Labiryntno-gvyntovyy nasos. № u 2012 02788; zayavl. 12.03.2012; opubl. 10.09.2012, Byul. №17. 15. Bilokin', I. I., et al. "Vplyv gazovmistu ridyny na harakterystyky labiryntno-gvyntovogo nasosa." *Shidno-Jevropejs'kyj zhurnalпередovyh tehnologij*. No. 2/8 (50). 2011. 32–35. Print.

Надійшло (received) 03.12.2014

УДК 661.152.3

**О.Р. БЕЛЯНСКА**, здобувач, ДДТУ, Дніпродзержинськ;  
**М.Д. ВОЛОШИН**, д-р техн. наук, проф., ДДТУ, Дніпродзержинськ;  
**В.В. КАРМАЗІНА**, канд. фіз.-мат. наук, проф., ДДТУ,  
Дніпродзержинськ

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОГО ДИСПЕРГУВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ДОБРИВА

Наведено математичний опис процесу попереднього диспергування і відстоювання складового компонента комплексного добрива – активного мулу. Математичний опис дозволяє спрогнозувати, наскільки зменшиться залишковий об'єм активного мулу, та враховує температуру розчину, початкову вологість мулу, тривалість диспергування та частоту обертання ротору диспергатора. Розраховані параметри роторного диспергатора, що дозволять підібрати диспергатор для застосування у промислових умовах. Достовірність отриманих статистичних залежностей та параметрів оцінена за величиною відносної похибки розрахунків. Встановлено, що в результаті диспергування активного мулу руйнується його гідратна оболонка, колоїдна зв'язана вода вивільнюється, процес відстоювання інтенсифікується. Визначено, що при підтримці критерію Рейнольдса  $4,49 \cdot 10^4$ , частоті коливання рідини  $533 \text{ c}^{-1}$ , тривалості диспергування 4...6 хвилин об'єм активного мулу зменшується з 1000 до  $320 \text{ мл/дм}^3$ . Запропоновано принципову технологічну схему одержання комплексного добрива на основі техногенних відходів, перевагою якої є підвищення корисного об'єму біореактору за рахунок підвищення концентрації відстоюаного диспергованого активного мулу.

**Ключові слова:** диспергування, активний мул, техногенні відходи, комплексне добриво.

© О. Р. Белянська, М. Д. Волошин, В. В. Кармазіна, 2015

**Вступ.** Застосування комплексного добрива, нового більш ефективного типу добрив, в структуру якого входять біологічно активні речовини у вигляді ферментів, підвищує засвоєння рослинами з добрива живильних речовин: нітрогену – від 20 до 50 %; фосфору – від 20 до 60 %; калію – від 10 до 40 %. Комплексні добрива є більш ефективною та екологічно досконалою формою мінеральних добрив [1]. Їх застосування дозволяє підвищити біологічну активність ґрунту, врожайність сільськогосподарських культур. Найбільш швидким методом розвитку виробничих ланцюжків і поліпшення продуктивності сільського господарства є розробка та впровадження технології одержання комплексних НРКСа-добрив на основі техногенних відходів, зокрема кальцієвмісного шламу теплоелектростанцій (ТЕС), активного мулу. Застосування місцевих техногенних відходів призведе до підвищення врожайності сільськогосподарських рослин та знизить витрати на придбання коштовної сировини.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі технології утилізації техногенних відходів в наш час використовуються частково. В ряді робіт [2 – 4] автори шляхом підбору різних поєднань НРК-вмісної мінеральної і органічної (бурого вугілля, лігніну, торфу та ін.) сировини, використання хімічних і технологічних прийомів доводять можливість і перспективність отримання на цій основі комплексних добрив. Можливо створювати нові види комплексних добрив шляхом утилізації осадів стічних вод [5, 6]. З метою створення ефективних технологій існують розробки з поєднання мінеральних і органічних компонентів речовин гумусової природи з меленим природним фосфоритом, фосфогіпсом, макро- і мікрокомпонентами [7, 8].

З'являються гранульовані комплексні добрива, такі як добриво «ОР-МІН», що містить органічні і мінеральні компоненти, полівініловий спирт, природний цеоліт та воду, а в якості органічного компоненту добриво містить компост із суміші 80 – 90 мас. % курячого посліду і 10 – 20 мас. % деревинної тирси. Такий склад добрива дозволяє мобілізувати комплекс природних компонентів макро- і мікроелементів [9], але потребують безперервного постачання курячого посліду в великих (до 90 %) об'ємах, що в свою чергу робить виробництво добрив вузького спектру застосування. Проте, активний мул має високу удобрювальну та меліоративну цінність. Встановлено, що ущільнений надлишковий активний мул є цінним комплексним органомінеральним добривом з високим вмістом N і P [10]. Активний мул являє собою суспензію, що важко піддається фільтруванню. В активному мулі міститься вільна і зв'язана вода. Вільна вода порівняно легко може бути видалена з нього, а зв'язана вода (колоїдно-пов'язана і гігроскопічна) – набагато важче. Колоїдно-зв'язана волога огортає частинки мулу гідратною оболонкою і перешкоджає їх з'єднанню в крупні сполуки [11]. Зруйнувати гідратну оболонку надлишкового активного мулу можна також за допомогою механічної обробки, зокрема короткочасного диспергування [12].

В традиційному процесі метанування збільшити навантаження на біореактора можливо лише за рахунок підвищення концентрації осаду [13]. Засто-

сування концентрованих осаdів дозволяє не тільки збільшити корисний об'єм метантенків, а й додатково скоротити витрати теплоти на їх підігрів. Для підвищення навантаження на метантенк використовують попереднє концентрування завантажувального осаду, тобто збільшення сухого залишку в сировині. Використання процесів метанового бродіння дозволяє отримувати екологічно чисті знезаражені добрива, в яких корисні речовини знаходяться у формі краще засвоюваної рослинами. Цей метод забезпечує найбільше знезараження та усунення патогенних мікроорганізмів в добривах. У працях [14, 15] йдеться про екологічні аспекти використання процесів метанового бродіння в технології отримання органо-мінеральних добрив. Попередня механічна, хімічна обробка суміші, що піддається метановому бродінню, дозволить отримувати добриво в менший інтервал часу. Мезофільний режим є менш енергоємним, проте не дозволяє застосовувати метантенки меншого об'єму. При використанні мезофільного режиму спостерігається низька швидкість розпаду органічних речовин, тривалість процесу бродіння досягає 50 діб, за рахунок чого збільшується необхідний об'єм споруд [15]. Використання процесів диспергування з подальшим відстоюванням для підвищення кількості сухого залишку в суміші, що підлягатиме метановому бродінню, дозволить прискорити процеси бродіння.

Враховуючи викладене вище, актуальними є задачі: а) математичного опису процесу попереднього диспергування і відстоювання активного мулу – складового компоненту комплексного добрива, що враховує температуру розчину, початкову вологість мулу, тривалість диспергування, частоту обертання ротору диспергатора; б) створення технології одержання комплексного НРКСа-добрива на основі таких техногенних відходів, як активний мул, кальцієвмісний шлам, в якій процес підвищення концентрації мулу буде інтенсифіковано.

**Постановка задачі.** Визначити методом регресійного аналізу і лабораторних досліджень технологічні параметри процесу диспергування активного мулу, що прискорюють його наступне відстоювання. Розробити принципову технологічну схему і параметри технологічного режиму одержання комплексного НРКСа-добрива на основі техногенних відходів, зокрема кальцієвмісного шламу хімводопідготовки теплоелектростанцій і активного мулу.

**Математична модель і метод розрахунку.** Диспергування проводили за допомогою роторного диспергатора із фрезерним диском, що має 32 зубрини, обертається з частотою  $17\text{с}^{-1}$  на вертикальному валу. Рух рідини в апараті відбувається в тангенціальному напрямі за рахунок тертя рідини об диск, причому диск створює також осьовий потік. Окружна швидкість дорівнює 3,04 м/с, що при невеликих розмірах диску відповідає високим числам коливань рідини ( $533\text{с}^{-1}$ ). Вимірювання частоти обертання ротору диспергатора виконували безконтактним електронним тахометром DT – 2234C<sup>+</sup>.

Розрахунок похибки обчислень процесу відстоювання диспергованого активного мулу виконували згідно наступної методики [16]. При відстоюван-

ні диспергованого активного було визначено його середній об'єм за формулою:

$$V_{\text{сеп.}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_i, \quad (1)$$

та середнє квадратичне відхилення

$$S_V = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n V_i^2 - n \cdot V_{\text{сеп.}}^2 \right) / (n-1)}, \quad (2)$$

де  $V_{\text{сеп.}}$  – середній об'єм активного мулу, мл/дм<sup>3</sup>;  $V$  – об'єм активного мулу, мл/дм<sup>3</sup>;  $n$  – кількість значень об'єму активного мулу утвореного на дні циліндрів;  $S_V$  – середнє квадратичне відхилення.

Відхилення від істинного значення об'єму диспергованого активного мулу при його відстоюванні обчислювали за формулою:

$$\Delta_V = (t \cdot S_V) / \sqrt{n}, \quad (3)$$

де  $t$  – коефіцієнт Ст'юдента. Відносну похибку вимірювань обчислювали за формулою:

$$\Delta_e = (\Delta_V / V_{\text{сеп.}}) \cdot 100\%. \quad (4)$$

Таблиця 1 – Результати зміни об'єму активного мулу і розрахунки похибки обчислень отриманого об'єму активного мулу при початковій вологості мулу 99 %

Тривалість диспергування, $\tau$	Об'єм усереднений, $V_{\text{сеп}}$	Середнє квадратичне відхилення, $S_V$	Кількість значень для усереднення, $n$	Коефіцієнт Ст'юдента	Відносна похибка, %
0	693,7	29,2	15	2,13	2,3
0,5	658	29,50	5	2,57	5,2
1	572,2	43,57	45	2,02	2,3
1,5	501	15,17	5	2,57	3,5
2	465	28,50	5	2,57	7,0
3	412	31,14	5	2,57	8,7
4	365	15,81	5	2,57	5,0
5	344	15,17	5	2,57	5,1
6	322	16,05	5	2,57	5,7
7	312	5,10	5	2,57	1,9
8	310	6,67	5	2,57	2,5

Досліджували зміну об'єму активного мулу при різній початковій вологості 99 %, 96 % і 92 % від часу диспергування після 1,5 год. відстоювання. Температура розчинів активного мулу становила 288 К. Результати зміни об'єму активного мулу і розрахунки похибки обчислень отриманого об'єму активного мулу при різній тривалості диспергування на частоті обертання ротору 17 с<sup>-1</sup> ( $Re = 42,4 \cdot 10^3$ ) після 1,5 годинного відстоювання представлено в табл. 1 для початкової вологості мулу 99 %, табл. 2 – при початковій воло-

гості мулу 96 % і табл. 3 – для початкової вологості активного мулу 92 %.

Таблиця 2 – Результати зміни об'єму активного мулу і розрахунки похибки обчислень отриманого об'єму активного мулу при початковій вологості мулу 96 %

Тривалість диспергування, $\tau$	Об'єм усереднений, $V_{сер}$	Середнє квадратичне відхилення, $S_V$	Кількість значень для усереднення, $n$	Коефіцієнт Ст'юдента	Відносна похибка, %
0	741,3	33,57	15	2,13	2,5
0,5	652,0	10,37	5	2,57	1,8
1	522,5	54,88	45	2,02	3,2
1,5	560,0	15,81	5	2,57	3,2
2	555,0	12,75	5	2,57	2,6
3	531,0	14,32	5	2,57	3,1
4	477,0	12,04	5	2,57	2,9
5	450,0	15,81	5	2,57	4,0
6	468,0	16,43	5	2,57	4,0

Таблиця 3 – Результати зміни об'єму активного мулу і розрахунки похибки обчислень отриманого об'єму активного мулу при початковій вологості мулу 92 %

Тривалість диспергування, $\tau$	Об'єм усереднений, $V_{сер}$	Середнє квадратичне відхилення, $S_V$	Кількість значень для усереднення, $n$	Коефіцієнт Ст'юдента	Відносна похибка, %
0	782,3	53,01	15	2,13	3,7
0,5	760,0	15,81	5	2,57	2,4
1	546,2	176,65	45	2,02	9,7
1,5	701,0	15,17	5	2,57	2,5
2	638,0	25,88	5	2,57	4,7
3	603,0	12,04	5	2,57	2,3
4	656,0	21,62	5	2,57	3,8
5	660,0	15,81	5	2,57	2,8
6	671,0	17,46	5	2,57	3,0

Можливості цих функцій дозволяють отримати допоміжну статистику та оцінити ступінь апроксимації:

для початкової вологості активного мулу 92 % отримано математичну модель з  $R^2 = 0,95$  вигляду

$$V = 7,73\omega - 7,87t + 4,77n - 12,78\tau ; \quad (5)$$

для початкової вологості активного мулу 96 % – модель з  $R^2 = 0,98$  вигляду

$$V = 7,86\omega - 6,38t + 5,06n - 24,05\tau ; \quad (6)$$

для початкової вологості активного мулу 99 % – модель з  $R^2 = 0,99$  вигляду

$$V = 7,5\omega - 5,58t + 7,31n - 149,25\tau ; \quad (7)$$

за усіма даними отримано загальне рівняння з  $R^2 = 0,98$  такого вигляду:

$$V = 7,35\omega - 4,09t + 1,55n - 29\tau, \quad (8)$$

де  $\omega$  – вологість активного мулу, %;  $t$  – температура розчину, °С;  $\tau$  – тривалість диспергування, хв.;  $n$  – частота обертання ротора диспергатора, 1/с;  $V$  – об'єм активного мулу, мл/дм<sup>3</sup>.

Видно, що відносна похибка обчислень не перевищує 10 %, що свідчить про достовірність отриманих статистичних залежностей.

Доцільно визначити вплив технологічних параметрів на зміну залишкового об'єму активного мулу, таких як початкова вологість активного мулу, температура, тривалість диспергування і відстоювання, частота обертів ротора диспергатора. Такі багатofакторні моделі отримані для кожної вологості з використанням вбудованих функцій лінійної регресії в пакеті Microsoft Excel.

За наведеним математичним описом технології диспергування активного мулу з подальшим відстоюванням можна визначити залишковий об'єм активного мулу, при заданих технологічних параметрах для кожного типу початкової вологості за формулами (5) – (7) або за загальним рівнянням (8). Високий коефіцієнт апроксимації підтверджує адекватність моделей та дозволяє використовувати ці рівняння для прогнозних розрахунків.

Параметри окружної швидкості роторного диспергатора для частоти обертання ротору диспергатора 7, 12, 17 с<sup>-1</sup> представлені в табл. 4.

**Технологічна схема процесу.** Спираючись на отримані результати досліджень складено загальну технологічну схему отримання комплексного НРКСа-добрива на основі техногенних відходів (рис. 1), яку можливо впровадити на базі класичних очисних споруд, де існує стадія біологічного очищення стічних вод.

Принципова технологічна схема одержання комплексного НРКСа-добрива на основі техногенних відходів включає диспергатор 1, в якому диспергується активний мул, і диспергатор 2, в якому диспергується органічно-мінеральна суміш (пташиний послід і фосфоровмісні осади, кальцієвмісні шлами хімводопідготовки ТЕС).

Таблиця 4 – Параметри окружної швидкості роторного диспергатора

Найменування величин	Числове значення для частоти обертання ротора диспергатора, с <sup>-1</sup>		
	7	12	17
1. Число Рейнольдса	17,47·10 <sup>3</sup>	29,93·10 <sup>3</sup>	42,4·10 <sup>3</sup>
2. Окружна швидкість диспергатора, м/с	1,25	2,14	3,04
3. Число Фруда	0,28	0,84	1,68
4. Число Ейлера	8,7·10 <sup>3</sup>	1,7·10 <sup>3</sup>	0,6·10 <sup>3</sup>
5. Критерій потужності	9,7·10 <sup>3</sup>	1,9·10 <sup>3</sup>	0,7·10 <sup>3</sup>
6. Поправочний коефіцієнт	1,118	1,118	1,118
7. Відношення діаметру апарату до діаметру фрези	1,05		

Критерій Рейнольдса для сировини с початковою вологістю близько 99 % повинен складати приблизно  $42,4 \cdot 10^3$ , тривалість диспергування – 4...6 хвилин; якщо вологість сировини буде близько 96 % – критерій Рейнольдса для процесу диспергування повинен зменшуватися до приблизно  $29,93 \cdot 10^3$ , диспергування триватиме 3...5 хвилин; а якщо вологість сировини, що потрібно диспергувати, буде близькою до 92 %, то критерій Рейнольдса для диспергатора 1,2 повинен становити близько  $17,47 \cdot 10^3$ , тривалість диспергування при таких умовах повинна бути в інтервалі 2...4 хвилини [17].

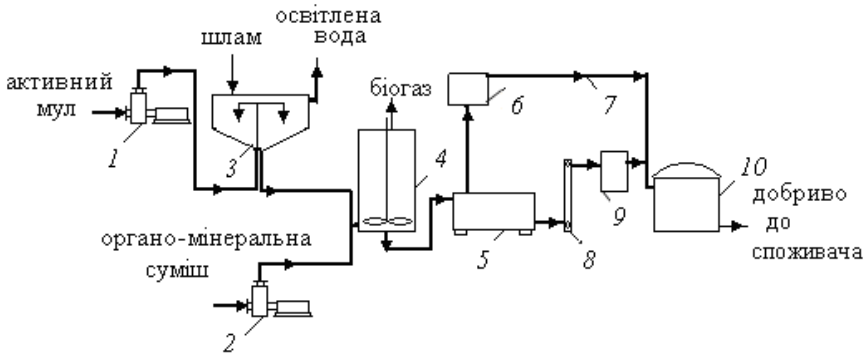


Рис. 1 – Принципова технологічна схема одержання комплексного NPKCa-добрива на основі техногенних відходів: 1, 2 – диспергатор; 3 – відстійник; 4 – біореактор; 5 – центрифуга; 6 – ділянка дозування і фасування рідких добрив; 7 – транспортувальна стрічка рідких добрив; 8 – елеватор; 9 – ділянка дозування і фасування комплексних NPKCa-добрив; 10 – склад готових добрив.

Диспергований активний мул потрапляє у відстійник 3. Для прискорення процесу відстоювання додається кальцієвмісний шлам хімоводопідготовки дозою  $40 \text{ мг/дм}^3$ . У відстійнику 3 відбувається розшарування дисперсії активного мулу у воді. Процес відстоювання повинен тривати 2 – 2,5 годин [17].

Органо-мінеральну суміш, поєднання пташиного посліду і фосфоровмісного осаду, диспергують у 2 та одразу подають у біореактор 4. Фосфоровмісний осад утворюється при осадженні фосфатів у стічній воді кальцієвмісним шламом при таких дозах,  $\text{г/дм}^3$ : шлам цеху синтезу аміаку – 18 [18]; шлам цеху хімоводопідготовки ТЕС – 12 [18]; фосфогіпс – 1,5 [19].

Утворений осад у відстійнику 3 відкачують в біореактор 4 для сумісного метанового зброджування всіх компонентів комплексного NPKCa-добрива. Рекомендовано використовувати мезофільний режим метанового бродіння, а тривалість процесу повинна становити близько 20 діб. По закінченні процесу бродіння зброжену суміш подають до центрифуги 5, де при обертанні ротора центрифуги в межах  $83 \dots 117 \text{ с}^{-1}$  протягом 260 – 280с відбувається знево-

днення комплексного НРКСа-добрива. Утворений фугат за складом має відповідати якості рідких добрив, тому його запропоновано дозувати і фасувати у пластикові баки на ділянці дозування і фасування рідких добрив 6. Розфасовані рідкі добрива транспортувальною стрічкою рідких добрив 7 транспортується на склад готових добрив 10.

Зневоднене комплексне НРКСа-добриво елеватором 8 транспортується на ділянку дозування і фасування добрив 9, з якої добрива в поліетиленових мішках вивантажують на склад готових добрив 10.

**Аналіз отриманих результатів.** З таблиць 1 – 3 встановлено, що зі збільшенням часу диспергування активного мулу зменшується час його відстоювання. При збільшенні тривалості диспергування до 6 хвилин можливо зменшувати об'єм активного мулу з 1000 до 320 мл/дм<sup>3</sup>. Отже, інтервал часу для диспергування активного мулу вологістю 99 % становить 4 – 6 хвилин. При початковій вологості активного мулу 96 % і тривалості диспергування 3 – 5 хвилин можливо зменшити об'єм активного мулу після відстоювання з 1000 до 450 мл/дм<sup>3</sup>, а для активного мулу з початковою вологістю 92 % залишковий об'єм мулу після відстоювання зменшується з 1000 до 600 мл/дм<sup>3</sup> при тривалості диспергування 2 – 4 хвилини.

Виконано математичне описання кінетики відстоювання диспергованого активного мулу, за допомогою якого можливо спрогнозувати на скільки зменшиться залишковий об'єм активного мулу в процесі відстоювання при попередньому його диспергуванні і заданій початковій вологості мулу, температурі, тривалості диспергування і відстоювання, частоті обертів ротора диспергатора.

Отримані дані з табл. 4 допоможуть підібрати для розробленої технологічної схеми одержання комплексного НРКСа-добрива на основі техногенних відходів промисловий роторний диспергатор, враховуючи фактичні умови диспергування активного мулу, надати практичні рекомендації щодо його придбання за параметрами гідравлічного перемішування.

Запропоновано технологічну схему одержання комплексного НРКСа-добрива на основі техногенних відходів, в якій враховуються вищевикладені результати досліджень та вперше використовується процес диспергування для інтенсифікації процесів відстоювання активного мулу.

**Перспективи подальших досліджень.** Вважаємо перспективними напрямки досліджень з впливу зміни технологічних параметрів диспергатора та механізму перемішувального інструменту, встановленого на валу, на якість диспергування та швидкість відстоювання мулу. Такі дослідження дадуть змогу зменшити енергозатрати на процес диспергування та знизити вартість готового комплексного добрива на основі техногенних відходів.

**Висновки.** Наведено математичний опис процесу попереднього диспер-



гування і відстоювання активного мулу, що дозволяє спрогнозувати на скільки зменшиться залишковий об'єм активного мулу і враховує температуру розчину, початкову вологість мулу, тривалість диспергування, частоту обертання ротору диспергатора. Величина похибки розрахунків не більше 10 % свідчить про достовірність отриманих статистичних залежностей.

Виконані розрахунки параметрів роторного диспергатора, що дозволять підібрати диспергатор для промислових умов. Визначено, що при підтримці критерію Рейнольдса в межах  $39,9 \cdot 10^3 \dots 44,9 \cdot 10^3$ , частоті коливання рідини  $533 \text{ с}^{-1}$ , тривалості диспергування 4...6 хвилин можливо зменшити об'єм активного мулу з 1000 до  $320 \text{ мл/дм}^3$ . В процесі диспергування активного мулу утворюється високошвидкісний рух тіл і виникає кавітація, при якій руйнується зовнішня оболонка мікроорганізмів, що обумовлює прискорення наступного відстоювання мулу.

Складена принципова технологічна схема одержання комплексного НРКСа-добрива на основі техногенних відходів, що дозволяє використовувати кальцієвмісний шлам хімводопідготовки теплоелектростанцій, активний мул в якості вторинної сировини, а також підвищити корисний об'єм біореактора за рахунок підвищення концентрації відстоюваного диспергованого активного мулу.

**Список літератури:** 1. Карпівченко О.І., Карпівченко О.О. Еколого-економічні проблеми використання мінеральних добрив // Вісник Сумського державного університету. Сер. Економіка. – 2013. – № 2. – С. 5 – 11. 2. Пат. 30651 Україна, МПК<sup>7</sup> С 05 D 3/00, С 05 F 3/00. Спосіб застосування органо-мінерального добрива із шламу хімводопідготовки ТЕЦ і пташиного посліду / Зюман Б.В., Пасенко А.В.; заявник та патентовласник Кременч. держ. політехн. унів. – № u200710598; заявл. 24.09.2007; опубл. 11.03.2008, Бюл. № 5. 3. Макаренко Н.О., Вакал С.В. Методи експериментальних досліджень ефективності екологічно безпечних мінеральних добрив // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2011. – № 6 (71), Ч. 1. – С. 142 – 144. 4. Сучасний стан фосфатно-тукової промисловості України / Вакал С.В., Астрелін І.М., Трофименко М.О., Золотарьов О.Є. – Суми: Собор, 2005. – 80 с. 5. Ракиша Н.В., Тошинский В.И. Органо-мінеральные удобрения из осадков сточных вод // Материалы VI Междунар. конф.: Сотрудничество для решения проблемы отходов. – Харьков, 2009. – С. 242. 6. Коваленко А.М. Отходы в аспекте экологических проблем Украины // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 41. – С. 45 – 48. 7. Шевчук В.Я., Чеботько К.О., Разгуляев В.М. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини. – Київ: УАННП «Фенікс», 2001. – 204 с. 8. Басистый В.П. Фосфорно-карбонатные руды и комплексное удобрение // Химия в сельском хозяйстве. – 1986. – № 2. – С. 35 – 37. 9. Пат. 6577 Україна, МПК<sup>6</sup> С 05 F 11/00. Гранулюване органо-мінеральне добриво «Ормін» / Н.В. Заїменко, С. М. Свєшніков, П.С. Яремов [та ін.], заявл. та патентовл. Держ. племінний птахів. завод «Полесский»; Инст. фіз. хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України; Центр. ботаніч. сад АН України. – № 4847697/SU; заявл. 24.04.90; опубл. 29.12.94, Бюл. № 8 – 1. 10. Чертес К.Л., Стрелков А.К., Биків Д.Е. Новий напрям використання надлишкового активного мулу // Водопостачання й санітарна техніка. – 2001. – № 5. – С. 34 – 37. 11. Шлегель Г. Общая микробиология: пер. с нем. / Г. Шлегель; под. ред. Е.Н. Кондратьевой. – М.: Мир, 1987. – 567 с. 12. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – [2-е изд.]. – Новосибирск: Наука, 1986. – 306 с. 13. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: [монография] Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, – 2011. – 198 с. 14. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування // Пра-

ці Таврійськ. держ. агротехнологічн. універ. – 2009. – Т. 1, Вип. 9. – С. 20 – 30. **15.** Волошин М.Д., Плахотнік О.М., Журавльова А.В. Дослідження осадів стічних вод з метою отримання органічно-мінеральних добрив // Вопросы химии и химической технологии – 2004. – №2. – С. 210 – 213. **16.** Дорохов И.Н., Меньшиков В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств. – М.: Наука, – 2005. – 583с. **17.** Очеретнюк О.Р. (Беляньська), Волошин М.Д., Іванченко А.В. Кінетичні закономірності зневоднення диспергованого активного мулу // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 7. – С. 116 – 120. **18.** Очеретнюк О.Р. (Беляньська), Волошин М.Д., Іванченко А.В., Бублик Ю.Н. Отримання лужного концентрату мікроелементів із осадів стічної води та шламу хімоводопідготовки // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 3. – С. 116 – 120. **19.** Пат. 75630 України, МПК С 02 F 1/58. Спосіб очистки стічних вод від сполук фосфору / Очеретнюк О.Р. (Беляньська), Іванченко А.В., Волошин М.Д., Корогодін І.Ю., заявл. та патентовл. Дніпродзержинський держ. техн.-ун-т. – № u201205931; заявл. 15.05.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.

**Bibliography (transliterated):** 1. Karpishhenko, O. I., and O. O. Karpishhenko. "Ekologo-ekonomichni problemy vykorystannja mineral'nyh dobryv." *Visnyk Sums'kogo derzhavnogo universytetu. Ser.: Ekonomika*. No. 2. 2013. 5–11. Print. 2. Zjuman, B. V., and A. V. Pasenko. Sposib zastosuvannja organo-mineral'nogo dobryva iz shlamu himvodopidgotovky TECz i ptashynogo poslidu. KDPU. Ukraїna, assignee. Patent UA 30651, MPK (2007) C 05 D 3/00, C 05 F 3/00. № u200710598. 11 March 2008. 3. Makarenko, N. O., and S. V. Vakal. "Metody eksperimental'nyh doslidzhen' efektyvnosti ekologichno bezpechnykh mineral'nyh dobryv." *Visnyk KrNU im. Myhajla Ostrograd'skogo*. No. 6 (71). 2011. 142–144. Print. 4. Vakal, S. V., et al. *Suchasnyj stan fosfatno-tukovoi' promyslovosti Ukraїny*. Sumy: Sobor, 2005. Print. 5. Raksha, N. V., and V. Y. Toshynskij. "Organo-mineral'nye udobrenija iz osadkov stochnyh vod." *Materialy VI Mezhdunar. konf.: Sotrudnichestvo dlja reshenija problemy othodov*. Kharkov. 2009. Print. 6. Kovalenko, A. M. "Othody v aspekte jekologicheskikh problem Ukraїny." *Vostochnoevropejskij zhurnalпередovyh tehnologij*. No. 41. 2009. 45–48. Print. 7. Shevchuk, V. Ya., K. O. Chebot'ko and V. M. Razguljaev. *Biotexnologija oderzhannja organo-mineral'nyh dobryv iz vtorynnoi' syrovyny*. Kyiv: UANNP «Feniks», 2001. Print. 8. Basistyj, V. P. "Fosforno-karbonatnye rudy i kompleksnoe udobrenie." *Himija v sel'skom hozjajstve*. No. 2. 1986. 35–37. Print. 9. Zaimenko, N. V., et al. Granul'ovane organomineral'ne dobrovyo «Ormin». Ukraїna, assignee. Patent UA 6577, MPK (2006) C 05 F 11/00. № 4847697/SU. 29 December 1994. 10. Chertes, K. L., A. K. Strelkov and D. E. Bykiv. "Novyj naprjamok vykorystannja nadlyshkovogo aktyvnogo mulu." *Vodopostachannja j sanitarna texnika*. No. 5 (2001). 34–37. Print. 11. Shlegel', G. *Obshhaja mikrobiologija: per. s nem.* Ed. E. N. Kondrat'eva. Moscow: Mir. 1987. Print. 12. Avvakumov, E. G. *Mehaniccheskie metody aktivacii himicheskikh processov*. Novosibirsk: Nauka, 1986. Print. 13. Dolina, L. F. *Ochistka stochnyh vod ot biogenykh elementov: monografija*. Dnepropetrovsk: Kontinent, 2011. Print. 14. Skljjar, O. G., and R. V. Skljjar. "Osnovy biogazovyh tehnologij ta parametry optymizacii' procesu zbrodzhuvannja." *Praci Tavrijs'k. derzh. agrotehnologichn. Univer.* No. 9. 2009. 20–30. Print. 15. Voloshyn, M. D., O. M. Plahotnik and A. V. Zhuravl'ova. "Doslidzhennja osadiv stichnyh vod z metoju otrymannja organo-mineral'nyh dobryv." *Voprosy himii i himicheskoy tehnologii*. No. 2. 2004. 210–213. Print. 16. Dorohov, Y. N., and V.V. Men'shykov. *Sistemnyj analiz processov himicheskoy tehnologii. Intellektual'nye sistemy i inzhenernoe tvorcestvo v zadachah intensifikacii himiko-tehnologicheskikh processov i proizvodstv*. Moscow: Nauka, 2005. Print. 17. Ocheretnjuk, O. R., M. D. Voloshin and A. V. Ivanchenko. "Kinetychni zakonimirostnosti znevodnennja dyspergovanogo aktyvnogo mulu." *Voprosy himii i himicheskoy tehnologii*. No. 7. 2012. 116–120. Print. 18. Ocheretnjuk O. R., et al. "Otrymannja luzhnogo koncentratu mikroelementiv iz osadiv stichnoji vody ta shlamu ximvodopidgotovky." *Voprosy himii i himicheskoy tehnologii*. No. 3. 2011. 116–120. Print. 19. Ocheretnjuk, O. R., et al. Sposib ochystky stichnyh vod vid spolk fosforu. DDTU. Ukraїna, assignee. Patent UA 75630, MPK C 02 F 1/58. № u201205931. 10 December 2012.

Надійшла (received) 03.02.2015