

ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ДОБРИВА НА ОСНОВІ ДИСПЕРГОВАНОГО АКТИВНОГО МУЛУ

В роботі доведено, що при диспергуванні активного мулу відбувається часткове руйнування клітин мікроорганізмів, спухання мулу затримується на 40 хв. Розроблено технологічну схему одержання комплексного добрива на основі активного мулу, в якій вперше застосовується процес диспергування. Після диспергування мулу його залишковий об'єм зменшується на 50 %, а вологість – з 99,8 до 92 %

Ключові слова: комплексне добриво, активний мул, фосфати, диспергування, відстоювання, спухання, фрезерний диспергатор

В работе доказано, что при диспергировании активного ила происходит частичное разрушение клеток микроорганизмов, вспухание ила задерживается на 40 мин. Разработана технологическая схема получения комплексного удобрения на основе активного ила, в которой впервые применяется процесс диспергирования. После диспергирования ила его остаточный объем уменьшается на 50 %, а влажность – с 99,8 до 92 %

Ключевые слова: комплексное удобрение, активный ил, фосфаты, диспергирование, отстаивание, спухание, фрезерный диспергатор

О. Р. Белянська
Здобувач, провідний інженер*

E-mail: ocheretn@rambler.ru

А. В. Іванченко
Кандидат технічних наук, доцент**

E-mail: ivanche.anna@yandex.ru

М. Д. Волошин
Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри**

E-mail: voloshin@ua.fm

*Лабораторія МРЗС ЦНІТ

Кафедра програмного забезпечення систем***

Кафедра хімічної технології неорганічних речовин*

***Дніпродзержинський

державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2,

м. Дніпродзержинськ, Україна, 51918

1. Вступ

Комплексні добрива є більш ефективною та екологічно досконалою формою мінеральних добрив. Застосування комплексного добрива дозволяє підвищити біологічну активність ґрунту, врожайність сільськогосподарських культур [1]. В умовах ресурсної залежності України від зовнішніх джерел нітро-фосфо-калієвої (НРК-вмісної) сировини для комплексних добрив виникає необхідність в створенні технологій використання цих живильних речовин з техногенних відходів.

Більшість мереж каналізаційних очисних споруд, що існують в Україні мають в своєму складі біологічну стадію очистки [2], що здійснюється спеціальними мікроорганізмами активного мулу, які здатні окислити забруднювачі стоків до мінеральних речовин [3]. Вологість активного мулу, який вивантажують з відстійників після аеротенків складає 99,2–99,8 % [4]. В бактеріальній клітині мікроорганізмів міститься близько 80 % води і 20 % сухої речовини [5]. Надлишковий активний мул переполює мулові карти та перешкоджає їх подальшому функціонуванню [2]. Ущільнений активний мул вміщує до 9,8 % нітрогену і 1,5 % фосфору на суху речовину і після знезаражен-

ня може стати цінним добривом з високим вмістом живильних речовин [6]. Отже, питання розробки технології одержання комплексного добрива на основі активного мулу є актуальним, тому як допоможе одночасно

З огляду на це розробка технології отримання комплексного добрива на основі активного мулу є актуальним завданням, вирішення якого дасть наукове підґрунтя для розширення сировинної бази організаторам промислових ліній випуску комплексних добрив, а також допоможе утилізувати роками накопичені техногенні відходи.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Активний мул являє собою суспензію, що важко піддається фільтруванню. В ньому міститься вільна та колоїдно-зв'язана вода. Остання огортає частинки мулу гідратною оболонкою і перешкоджає їх з'єднанню в крупні сполуки [7]. Прогнозується, що використання процесу диспергування надлишкового активного мулу допоможе прискорити процес його наступного відстоювання та зневоднення. Вважається, що окремі тверді частинки активного мулу звільняться від гід-

ратної оболонки і сполучаються разом в пластівці [8]. Тому активний мул швидше відстоюватиметься.

В результаті метанового бродіння активного мулу відбувається розклад і гуміфікація органічної речовини (втрати маси досягають 30–50 %), збереження і консервація важливих для рослин поживних речовин, знищення патогенних мікроорганізмів. Інтенсивність процесу метанування залежить від стану твердої фази органічної сировини, що підлягає розкладанню [9]. Дослідниками встановлено, що при використанні суміші мінеральних і органічних відходів можна отримати добриво, що за якістю не поступатиметься мінеральному [10]. А отриманий врожай за смаковими та органолептичними показниками буде на порядок вище ніж при використанні мінерального добрива [11].

Водночас, застосування технології попереднього диспергування органо-мінеральної суміші з наступним метановим бродінням сприятиме одержанню знезараженого екологічно чистого добрива, в якому живильні елементи N, P, K, Ca знаходяться у більш доступній для рослин формі. Вищезазначене дає підстави стверджувати, що дослідження, направлені на розроблення ефективної технології одержання комплексного добрива на основі техногенних відходів є актуальними та мають народногосподарське значення.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка технології комплексного добрива на основі активного мулу та створення нової якості продукції.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні задачі:

- експериментально дослідити вплив процесу диспергування на структуру, життєдіяльність мікроорганізмів активного мулу і визначити технологічні параметри процесу диспергування мулу;
- визначити вплив обробки диспергатором на стан активного мулу, його здатність до спухання та насичення фосфатами із стічних вод;
- розробити технологічну схему і параметри технологічного режиму одержання комплексного добрива на основі техногенних відходів, зокрема активного мулу.

4. Матеріали та методи досліджень процесу диспергування активного мулу

4. 1. Визначення технологічних параметрів диспергатора для процесу диспергування активного мулу

В дослідженнях використовували роторний диспергатор із зазубринами, що складався з трьох основних частин: власне мішалки – диску із зазубринами, валу і приводу. Ескіз конструкції роторного диспергатора з урахуванням істинних розмірів представлено на рис. 1.

Фрезерний диск є робочим елементом пристрою, що закріплюється на вертикальному валу. Перемішування відбувається за рахунок вихорів, виникаючих на кромках диску із зазубринами. Роторний диспергатор фрезерний являє собою один гладкий диск, що має 32 зазубрини, обертається з великою швидкістю на

вертикальному валу. Перебіг рідини в апараті відбувається в тангенціальному напрямі за рахунок тертя рідини об диск, причому диск створює також осьовий потік.

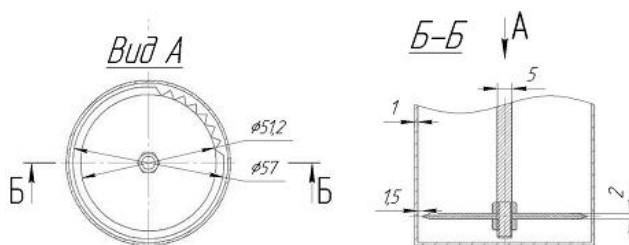


Рис. 1. Ескіз конструкції роторного диспергатора з врахуванням істинних розмірів, мм:
А – вид зверху; Б – переріз

При вимушеному стаціонарному русі рідини, спричиненому обертанням фрезерного диску із зазубринами і валу диспергатора, створюються умови, коли силами тяжіння нехтувати не можна, які описуються критеріальним рівнянням [12]:

$$E_u = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots), \tag{1}$$

де $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots$ – симплекс геометричної подібності.

Для опису процесу перемішування застосували модифіковані критерії Ейлера (E_{uM}), Рейнольдса (Re_M), Фруда (Fr_M), які можуть бути отримані шляхом перетворення звичайних виразів цих критеріїв. Замість лінійної швидкості рідини в модифіковані критерії підставляли величину $d \cdot n$, яка пропорційна окружній швидкості диспергатора $\omega_{окр}$ [12]:

$$\omega_{окр} = \pi \cdot d \cdot n, \tag{2}$$

де π – математична константа, що виражає відношення довжини диску до довжини його діаметру; n – число обертів диспергатора в одиницю часу, s^{-1} ; d – діаметр фрезерного диску, м.

При гідродинамічному розрахунку роторного диспергатора фрезерного із зазубринами використовували характеристики поля швидкостей, глибини воронки і потужності при турбулентному режимі перемішування.

4. 2. Методика диспергування активного мулу

Диспергатор встановлювали в стакан з попередньо налитим активним мулом об'ємом 100 мл/дм³. Потім задавали швидкість обертання ротору і вмикали диспергатор в роботу. Диспергування проводили при частоті обертів ротора диспергатора 7, 12, 17 s^{-1} , а тривалість процесу становила 1 хвилину. Температура стічної води становила 288 К.

Після встановленого часу обробки активного мулу диспергатор вимикали і виливали суспензію в мірний циліндр для подальшого відстоювання та вимірювали об'єм відстоюного прошарку активного мулу кожні 10 хвилин.

Вимірювання частоти обертів ротора диспергатора здійснювали безконтактним електронним тахометром DT – 2234C⁺. На рухомий вал диспергатора наклеювали світловідбиваючі стрічки, що йшли в комплек-

ті до портативного тахометру, занурювали роторний диспергатор в розчин і вмикали його. Через 2–4 секунди вмикали портативний тахометр і направляли інфрачервоний промінь на світловідбиваючу стрічку, яка закріплена на рухомому валу диспергатора. Через 1 секунду з дисплея тахометра зчитували фактичну частоту обертів ротора диспергатора під навантаженням. Якість активного мулу до та після диспергування визначали за допомогою електронної мікроскопії (електронний мікроскоп Philips CM200). Концентрацію фосфатів в освітленому прошарку стічної води визначали фотометричним методом.

5. Результати досліджень впливу попереднього диспергування на швидкість відстоювання активного мулу і його стан

5. 1. Результати дослідження впливу процесу диспергування на структуру, життєдіяльність мікроорганізмів активного мулу

Досліджено активний мул правобережних очисних споруд м. Дніпродзержинська. В табл. 1 наведено кількість мікроорганізмів активного мулу, який диспергували ($Re=42,4 \cdot 10^3$, частота коливання рідини – 533 c^{-1}) в порівнянні з недиспергованим мулом.

Таблиця 1

Кількість мікроорганізмів активного мулу до та після диспергування

Склад мікроорганізмів активного мулу	Кількість мікроорганізмів до диспергування, шт./дм ³	Кількість мікроорганізмів після диспергування, шт./дм ³
<i>Amoeba sp.</i>	3 (рідко)	–
<i>Rotatoria</i>	14 (часто)	9 (не рідко)
<i>Centropyxis sp.</i>	60 (маса)	60 (маса)
<i>Euglypha sp.</i>	30 (дуже часто)	30 (дуже часто)
<i>Peranema trichophorum</i>	8 (нерідко)	–
<i>Amphileptus sp.</i>	2 (рідко)	–
<i>Aspidesca costata</i>	16 (часто)	16 (часто)
<i>Aspidesca suleata</i>	32 (дуже часто)	32 (дуже часто)
<i>Colpoda sp.</i>	2 (рідко)	–
<i>Paramecium caudatum</i>	19 (часто)	–
<i>Carchesium sp.</i>	12 (часто)	–
Круглі черви	3 (рідко)	–
<i>Telotrocha</i>	18 (часто)	–

Доведено, що при обробці диспергатором на частоті обертання ротора 17 c^{-1} відбувається часткове руйнування клітин мікроорганізмів. Структура активного мулу стала більш щільною, спостерігається часткова деструкція мікроорганізмів *Telotrocha*, *Paramecium caudatum*, *Carchesium sp.* та часткове пригнічення *Rotatoria*. Після диспергування активного мулу утворений осад стає крупнодисперсною системою, вологість мулу знижується з 99,8 до 92 %.

5. 2. Результати попереднього диспергування активного мулу та його здатності до спухання

Дослідили вплив процесу диспергування на подальше відстоювання активного мулу (табл. 2). При

використанні процесів диспергування спухання активного мулу спостерігається на 40 хв пізніше, ніж без обробки.

В досліді використовували стічну воду з вмістом фосфатів $10,5 \text{ мг/дм}^3$. Для дослідження впливу процесу диспергування активного мулу на стан клітин мікроорганізмів визначено залишкову концентрацію фосфатів в освітленому прошарку стічної води.

Таблиця 2

Вплив процесу диспергування активного мулу на його подальше відстоювання

Час, хв.	Частота обертання ротора диспергатора, c^{-1}			
	0	7	12	17
Залишковий об'єм активного мулу, мл/дм^3				
0	100	100	100	100
15	98	95	91	90
50	79	73	70	68
80	65	58	58	50
90	Спухання	56	55	48
115	–	52	49	45
130	–	Спухання	Спухання	Спухання

Залишкова концентрація фосфатів в освітленому прошарку стічної води при обробці диспергатором на частоті 7 і 12 c^{-1} становила $10,1 \text{ мг/дм}^3$ після 1,5 годинного відстоювання, а при обробці диспергатором на частоті 17 c^{-1} складала – $9,8 \text{ мг/дм}^3$. Отже, після 1,5 годинного відстоювання диспергованого активного мулу в стічній воді концентрація фосфатів знизилась з $10,5$ до $9,8 \text{ мг/дм}^3$. В порівняльній стічній воді без використання диспергованого активного мулу по закінченні експерименту концентрація фосфатів дорівнювала $10,5 \text{ мг/дм}^3$. Суміш активного мулу з диспергованими мікроорганізмами була активнішою, ніж за відсутності обробки.

Розраховані параметри окружної швидкості роторного диспергатора при диспергуванні активного мулу (табл. 3). Отримані значення допоможуть підібрати диспергатор для промислових умов.

Таблиця 3

Параметри окружної швидкості роторного диспергатора

Найменування величин	Значення для частоти обертання ротору, c^{-1}		
	7	12	17
1. Число Рейнольдса	$17,47 \cdot 10^3$	$29,93 \cdot 10^3$	$42,4 \cdot 10^3$
2. Окружна швидкість диспергатора, м/с	1,25	2,14	3,04
3. Число Фруда	0,28	0,84	1,68
4. Число Ейлера	$8,7 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$0,6 \cdot 10^3$
5. Критерій потужності	$9,7 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$
6. Поправочний коефіцієнт	1,118	1,118	1,118
7. Потужність, що використовує диспергатор, Вт	2010	2013	2017
8. Розподіл окружної швидкості по радіусу апарату	0,527	0,904	1,28
9. Відношення діаметру апарату до діаметру фрези	1,05		
10. Параметр гідравлічного опору	0,91	0,8	0,73

5. 3. Розробка технологічної схеми і параметрів технологічного режиму одержання комплексного добрива

Спираючись на отримані результати досліджень розроблена загальна технологічна схема отримання комплексного добрива на основі техногенних відходів, зокрема активного мулу (рис. 2), в умовах міських очисних споруд.

Після завершення процесу механічного очищення (на схемі не показано) стічна вода направляється в аеротенк (1), в якому відбувається біологічне окислення забруднюючих речовин мікроорганізмами активного мулу. Після аеротенків мулову суміш направляють у вторинні радіальні відстійники (2). Одночасно з нею у апарат (2) подають шлам виробництва кальцієвої селітри для підвищення ефективності ущільнення активного мулу. Далі рециркуляційний активний мул безперервно перекачують в аеротенк (1) для підтримання необхідної концентрації, а решту (надлишковий активний мул) направляють в мулоущільнювач (3).

Після мулоущільнювача (3) активний мул, подрібнене опале листя, а також осади після вилучення фосфатів зі стічних вод шламом виробництва кальцієвої селітри подають до ємності (4), де їх піддають обробці диспергатором (8).

Критерій Рейнольдса для сировини с початковою вологістю близько 99 % повинен дорівнювати $42,4 \cdot 10^3$, якщо вологість сировини буде близько 96 % – критерій Рейнольдса для процесу диспергування повинен бути $29,93 \cdot 10^3$, а якщо вологість сировини, що потрібно диспергувати буде близькою до 92 %, то критерій Рейнольдса для диспергатора (1,2) повинен становити $17,47 \cdot 10^3$, тривалість диспергування при таких умовах повинна бути в інтервалі 2..4 хвилини [13, 14]. Диспергований активний мул потрапляє у відстійник (3). Процес відстоювання повинен тривати 1,5–2 години.

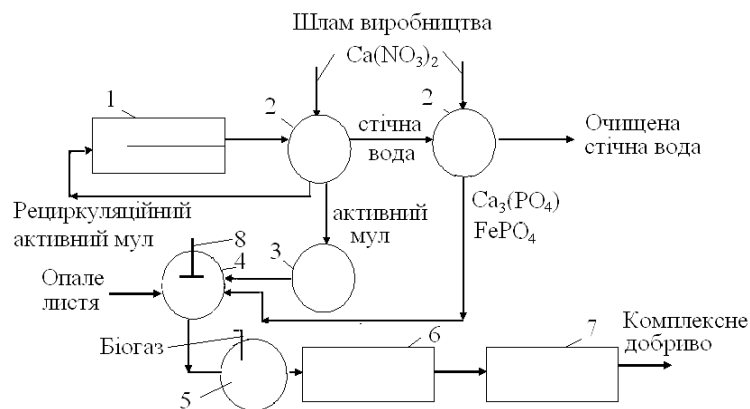


Рис. 2. Технологічна схема одержання комплексного добрива на основі активного мулу в умовах міських очисних споруд:

- 1 – аеротенк; 2 – вторинні відстійники; 3 – мулоущільнювач;
- 4 – ємність для диспергування; 5 – реактор анаеробного зброджування;
- 6 – центрифуга; 7 – барабанна сушарка; 8 – диспергатор

Після відстоювання диспергованої суміші, відділяють воду від осаду, а останній - подають до реактору анаеробного зброджування (5). Суміш у реакторі (5) перемішують і підігрівають до температури 33 °С. Таким чином, відбувається процес мінералізації органічної речовини осадів в анаеробних умовах, що супроводжується посиленням газовиділення. Після реактору анае-

робного зброджування (5) суміш подають на центрифугу (6) для остаточного зневоднення. Потім зброджену і зневоднену суміш направляють до барабанної сушарки (7), де її висушують, доводять до постійної ваги і, в результаті, готове добриво відправляють споживачеві.

Вологість отриманого добрива – 48 %, вміст мінеральної частини – 12,2 %, органічної – 87,8 %. Вхідні компоненти, які направляють у реактор анаеробного зброджування в перерахунку на продуктивність очисних споруд ($18\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$) наступні: ущільнений активний мул – $1124,2\ \text{т/рік}$ (81,914 %), опале листя – $65\ \text{т/рік}$ (4,738 %), осад після видалення фосфатів шламом – $182,5\ \text{т/рік}$ (13,3 %). Загальна маса – $1371,7\ \text{т/рік}$. При цьому вихід комплексного добрива становить $932,75\ \text{т/рік}$ (68 %) на суху речовину, тобто 32 % збродженої сировини трансформується в біогаз.

6. Обговорення результатів досліджень і можливості використання диспергованого активного мулу в технології комплексного добрива

Метою роботи було визначення впливу процесу диспергування на подальше відстоювання і зневоднення активного мулу з одержанням комплексного добрива на його основі. В дослідженнях показано, що при підтримці технологічних параметрів процесу диспергування активного мулу (частота коливання рідини $533\ \text{с}^{-1}$, критерій Рейнольдса в межах $39,9 \cdot 10^3 \dots 44,9 \cdot 10^3$, тривалість 2..4 хвилини, температура розчину 283..288 К) утворюється високошвидкісний рух тіл, виникає кавітація, при якій руйнується зовнішня оболонка мікроорганізмів активного мулу, прискорюється наступне відстоювання, знижується вологість активного мулу.

Використання процесу диспергування допомагає зруйнувати гідратну оболонку активного мулу, звільнити з нього ферменти та зв'язану воду, що знаходилась в середині мікроорганізмів. Так, протягом наступних 1,5 годин відстоювання диспергованого мулу виконується анаеробний режим очистки стічних вод, формується новий тип мікробного угруповання. Мікроорганізми, що залишились в активному мулі під дією ферментів, що вивільнились в розчин, починають активно споживати органічні речовини, в результаті концентрація фосфатів у відстояній стічній воді знижується з 10,5 до 8,8 мг/дм³. Таким чином, експериментальні дослідження показали, що руйнування клітин частини біомаси активного мулу сприяє вивільненню ферментів в розчин, інтенсифікує процеси його життєдіяльності.

Отже, за допомогою диспергування з наступним відстоюванням активного мулу можливо збільшити концентрацію активного мулу, зробити його більш щільним, насиченим фосфатами та призупинити процес спухання. За рахунок збільшення сухого залишку активного мулу в зброджувальній суміші підвищується корисний об'єм біореактору.

Розроблена технологічна схема виробництва добрив на основі активного мулу при впровадженні якої можливо утилізувати такі техногенні відходи, як шла-

ми виробництва кальцієвої селітри, надлишковий активний мул комунальних підприємств та отримувати добриво високої якості.

7. Висновки

1. Доведено, що при обробці диспергатором на частоті обертання ротора диспергатора 17 c^{-1} ($Re = 42,4 \cdot 10^3$) відбувається часткове руйнування клітин мікроорганізмів активного мулу, структура мулу стає більш щільною; вивільнюються з мулу в розчин ферменти, що забезпечують високу швидкість біохімічних обмінних процесів, інтенсифікують процеси життєдіяльності мікроорганізмів.

2. Встановлено, що при використанні процесів диспергування спухання активного мулу при по-

дальшому відстоюванні затримується на 40 хв., а концентрація фосфатів в освітленій воді знижується на 16 %.

3. Розроблено технологічну схему одержання комплексного добрива на основі активного мулу, в якій вперше застосовується процес диспергування, що прискорює процеси відстоювання активного мулу (залишковий об'єм активного мулу зменшується на 50 %, а вологість знижується з 99,8 до 92 %).

Подяка

Автори висловлюють глибоку вдячність Альамі Давиду Абдель-Мутталебу за допомогу, цінні поради та зауваження. Автори висловлюють особливу подяку Дніпропетровській обласній державній адміністрації.

Література

1. Карпіщенко, О. І. Еколого-економічні проблеми використання мінеральних добрив [Текст] / О. І. Карпіщенко, О. О. Карпіщенко // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. – 2013. – № 2. – С. 5–11.
2. Плахотнік, О. М. Удосконалювання очисних споруд м. Дніпродзержинська [Текст]: міжнар. Конгрес / О. М. Плахотнік, М. Д. Волошин, Г. А. Михайленко // ЕТЕВК-2003. – Х. : Вокруг света, 2003. – С. 269–272.
3. Van der Star, W. R. L. The membrane bioreactor: a novel tool to grow anammox bacteria as free cells [Text] / W. R. L. Van der Star, A. I. Miclea, G. J. M. U. Dongen van, G. Muyzer, C. Picoreanu, M. C. M. Loosdrecht van // Biotechnology and Bioengineering. – 2008. – Vol. 101, Issue 2. – P. 286–294. doi: 10.1002/bit.21891
4. Çeçen, F. Nitrification studies on fertilizer wastewaters in activated sludge and biofilm reactors [Text] / F. Çeçen, E. Orak, P. Gökçin // Water Science and Technology. – 1995. – Vol. 32, Issue 12. – P. 141–148. doi: 10.1016/0273-1223(96)00148-5
5. Jetten, M. S. M. The anaerobic oxidation of ammonium [Text] / M. S. M. Jetten, M. Strous, T. Pas-Schoonen van de K. et al. // FEMS Microbiology Reviews. – 1999. – Vol. 22, Issue 5. – P. 421–437. doi: 10.1016/s0168-6445(98)00023-0
6. Olssona, J. Energy Efficient Combination of Sewage Sludge Treatment and Hygenization After Mesophilic Digestion–Pilot Study [Text] / J. Olssona, M. Philipsonb, H. Holmströmc, E. Catoc, E. Nehrenheima, E. Thorina // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 61. – P. 587–590. doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.1176
7. Comasa, J. Risk assessment modelling of microbiology-related solids separation problems in activated sludge systems [Text] / J. Comasa, I. Rodríguez-Rodaa, K. V. Gernaeyb, C. Rosen, U. Jeppsson, M. Poch // Environmental Modelling & Software. – 2008. – Vol. 23, Issue 10–11. – P. 1250–1261. doi: 10.1016/j.envsoft.2008.02.013
8. Tetyana, V. Mechanism and Kinetic Regularities of Inactivating Effects of Cavitation on Microorganisms [Text] / V. Tetyana, O. Gashchyn // Chemistry & Chemical Technology. – 2014. – Vol. 8, Issue 4. – P. 431–440.
9. Пат. 93789 Україна, МПК С 02 F 11/04, С 05 F 3/00, С 05 F 7/00, С 05 F 9/00, С 12 М 1/00, С 12 Р 5/00. Спосіб виробництва біогазу і органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату [Текст] / Мельничук М. Д., Бауэр Ф., Дубровин В. О., Дубровина О. В. – № а200911811; Заявл. 19.11.2009; Опубл. 10.03.2011. Бюл. № 5.
10. Ryu, C. Investigation into Possible Use of Methane Fermentation Digested Sludge as Liquid Fertilizer for Paddy Fields [Text] / C. Ryu, M. Suguri, M. Iida, M. Umeda // Engineering in Agriculture, Environment and Food. – 2010. – Vol. 3, Issue 1. – P. 32–37. doi: 10.1016/s1881-8366(10)80009-6
11. Chen, L. Solid-state fermentation of agro-industrial wastes to produce bioorganic fertilizer for the biocontrol of Fusarium wilt of cucumber in continuously cropped soil [Text] / L. Chen, X. Yang, W. Raza, J. Luo, F. Zhang, Q. Shen // Bioresource Technology. – 2011. – Vol. 102, Issue 4. – P. 3900–3910. doi: 10.1016/j.biortech.2010.11.126
12. Афанасьева, Т. А. Надежность химико-технологических производств [Текст]: монография / Т. А. Афанасьева, В. Н. Блиничев. – Иваново: ИГХТУ, 2007. – 199 с.
13. Очеретнюк, О. Р. Кінетичні закономірності зневоднення диспергованого активного мулу [Текст] / О. Р. Очеретнюк, М. Д. Волошин, А. В. Іванченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 7. – С. 116–120.
14. Очеретнюк, О. Р. Визначення умов зневоднення надлишкового активного мулу при використанні диспергатора [Текст]: тези доп. / О. Р. Очеретнюк, М. Д. Волошин, А. В. Іванченко, Г. П. Чіркова // Хімічна технологія : наука та виробництво: І всеукраїнська наук.-техн. конф. – Шостка, 2011. – С. 42.