

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РЕЦИКЛІНГУ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

У статті наведено аналіз динаміки розвитку проектів в сфері біоенергетики в світі і можливості їх реалізації в Україні. Проведено порівняльний аналіз сучасних біотехнологічних рішень переробки та утилізації органічних відходів та обґрунтовано доцільність розробки комплексної біотехнології рециклінгу відходів агропромислового комплексу при комбінації аеробних і анаеробних методів з утилізацією низькопотенційного тепла відходів за допомогою теплових насосів і виробництва біошроту або добрива.

Ключові слова: біотехнологія, рециклінг відходів, агропромисловий комплекс, біоенергетика.

В статье приведен анализ динамики развития проектов в сфере биоэнергетики в мире и возможности их реализации в Украине. Проведен сравнительный анализ современных биотехнологических решений переработки и утилизации органических отходов и обоснована целесообразность разработки комплексной биотехнологии рециклинга отходов агропромышленного комплекса при комбинации аэробных и анаэробных методов с утилизацией низкопотенциального тепла отходов с помощью тепловых насосов и производства биошрота или удобрения.

Ключевые слова: биотехнология, рециклинг отходов, агропромышленный комплекс, биоэнергетика

The article presents analysis of dynamics of bio-energy projects in the world and the possibility of their implementation in Ukraine. The modern biotechnology solutions for processing and recycling of organic waste were analyzed. The expediency of developing a comprehensive recycling biotechnology of agricultural waste was determined. The optimal combination of aerobic and anaerobic methods was proposed with production fat-free protein preparation (bio-meal) or fertilizers. In this case the use of low-potential heat of waste was provided from a heat pump.

Keywords: biotechnology, waste recycling, agriculture, bioenergy

Вступ. На сьогоднішній день сільськогосподарська індустрія є невід'ємною частиною суспільства, забезпечуючи життєдіяльність людини і при цьому, утворюючи значні обсяги відходів. Тому розробка технологій рециклінгу відходів агропромислового комплексу (АПК) є своєчасним завданням, що вимагає рішення. Адже забруднення довкілля тваринницькими та іншими

комплексами найчастіше відбувається через недосконалість технологій і технічних засобів, що застосовуються, недотримання встановлених екологічних нормативів та санітарно-гігієнічних вимог [5]. У країнах Європи відбувається активний розвиток нових і вдосконалення існуючих способів та технологій переробки відходів. При цьому більш широкого впровадження набувають анаеробні технології з виробництва добрива і біометану. Стимулювання розвитку біотехнологій рециклінгу відходів відбувається завдяки високим еколого-економічним показникам, які досягаються використанням нових типів біогазових установок.

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. В агропромисловому комплексі утворюється понад 250 млн тон відходів на рік, з них 150 млн тон припадає на тваринництво і птахівництво, 100 млн тон – на рослинництво (в Україні виробляють за добу до 300 тон посліду). Це завдає серйозного економічного, екологічного та соціального збитку, тому що значна частка органічної сировини не переробляється, а накопичується поблизу ферм, утворюючи «послідні озера» з розвитком в них патогенних мікроорганізмів. Для вирішення цієї проблематики розробляються різні технологічні рішення та відповідне апаратне оснащення для переробки органічних відходів. Насамперед, це стосується розвитку біотехнологій з можливістю виробництва біопалива та інших біопродуктів [5].

Використання біогазу на фермах може забезпечити фермерські господарства власною електро- і теплоенергією, скорочуючи енергетичні втрати і т.п. Адже на сьогодні ціни на енергоносії постійно зростають, стримуючи зростання промислового і сільськогосподарського виробництва. Отже, завдання створення джерел енергії на постійно поновлюваному паливі є найбільш актуальним [11].

У ряді розвинутих країн світу переробка органічних відходів набула широкого впровадження у промислових масштабах. Анаеробні установки створюються з механізованим обслуговуванням і автоматичним регулюванням процесів [1]. В останнє десятиліття інтенсивно почали розвиватися проекти виробництва біометану з подальшим закачуванням у мережі природного газу. Виходячи з даних про кількість проектів виробництва біогазу та біометану в світі, наведених в [2], нами була побудована діаграма відсоткового співвідношення вагомості внеску окремих країн в розвиток біоенергетики (рис. 1).

За даними діаграми (див. рис. 1) видно, що найбільший розвиток виробництва біометану припадає на Німеччину (42%), а на другому місці Швеція (24%). В Україні виробництво енергії з біогазу знаходиться на початковому етапі становлення, єдиний механізм стимулювання є використання фіксованих «зелених» тарифів, який запрацював у квітні 2013 року, а його величина становить 0,1239 євро/кВт·год. (з коефіцієнтом ЗТ рівним 2,3) [3].

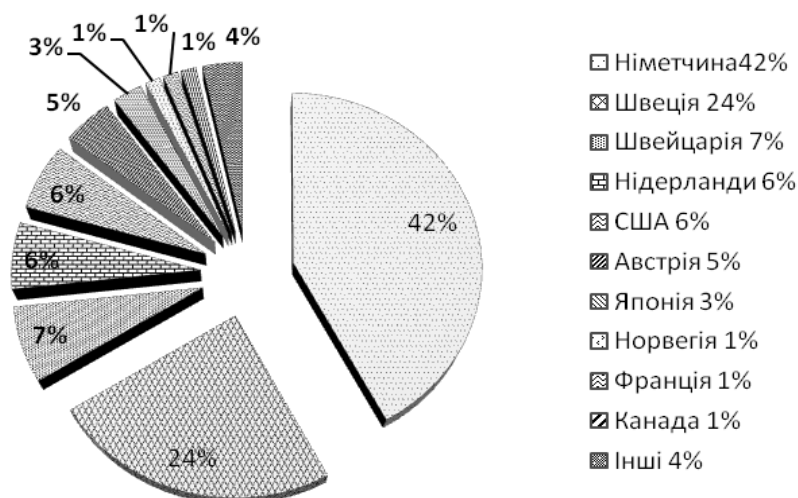


Рис. 1. Розвиток біоенергетики у світі

З точки зору базових умов, які обґрунтовуються в [4], Україна, в порівнянні, наприклад з світовим лідером в цій сфері – Німеччиною, має навіть кращі умови для розвитку біогазових технологій. При майже вдвічі меншому

населенні, територія України майже в два рази більше території Німеччини. При цьому Україна через меншу лісистість має майже в 3 рази більше орних земель, основний фонд яких формують чорноземи.

Таким чином, завдання розробки екологічно безпечної біотехнології утилізації відходів АПК з виробництвом біометану і утилізацією рідких стоків як низькотемпературних джерел тепла є актуальним завданням. При цьому залишається важливим процес автоматизації роботи біотехнологічних систем та оптимізації їх робочих параметрів, для чого необхідно подальше вдосконалення технологічних рішень і раціоналізація підбору апаратного оснащення.

Мета і завдання дослідження. Мета – аналіз сучасних біотехнологічних рішень рециклінгу відходів АПК та обґрунтування найбільш оптимального варіанту з утилізацією енергетичного потенціалу відходів і отримання високоякісного добрива або біошроту.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- аналіз різних типів установок біологічної обробки, які можуть бути застосовані для утилізації відходів АПК;
- пропозиції найбільш оптимальних варіантів реалізації комплексної технології рециклінгу органічних відходів.

Матеріали і результати дослідження. Порівняльна характеристика сучасних біотехнологічних рішень і їх апаратного оснащення для переробки органічних відходів. Для обробки стоків використовують три типи реакторів: анаеробний фільтр, біореактор з гранульованим активним мулом (USAB і EGSB-реакторів), біосорбер з псевдозрідженим шаром частинок сорбенту, при цьому матеріал сорбенту може бути різний (активоване вугілля та ін.). Розглянемо конструкційні особливості цих реакторів.

Найбільш простим в конструкційному вирішенні є анаеробний біофільтр. Це герметичний апарат, найчастіше циліндричної форми, в якому закріплена нерухома волокниста насадка. На цій насадці закріплена біоплівка з анаеробних мікроорганізмів, де відбувається процес перетворення важкоокислюючих речовин, в легко окислюючі [8].

З реакторів з прикріпленою біомасою можливість підвищення дози вдало реалізована в реакторах з псевдозрідженим шаром загрузки [6]. Конструкція EGSB-реактора представлена на рис. 2,б [13]. Вони почали активно завойовувати ринок і впроваджені в промислових масштабах в ряді європейських країн.

Комбінований UASB-реактор (рис. 2,а) складається з декількох зон. У нижній зоні відбувається ущільнення активного мулу в процесі якого утворюються гранули, вони створюють велику концентрацію мулу. У верхній зоні знаходиться анаеробний біофільтр з волокнистою насадкою, де відбувається газомуловідділення. Він відрізняється тим, що не має завантаження. Активний мул утримується за допомогою того ж газомуловідділювача, що забезпечує в процесі експлуатації біореактора формування флокульованого і гранульованого мулу з високою седиментаційною здатністю.

Ряд експертів [14, 12] доводять, що UASB-реактори не поступаються за своїми технологічними параметрами і ефективністю роботи EGSB-технологіям. UASB-технологія має такі переваги [14, 15]:

- регламентований гідродинамічний режим і стійкий бактеріальний консорціум активного мулу забезпечують високу продуктивність UASB-реакторів;

- питома потужність анаеробного зброджування реактора (без ферментів) становить до 16 кг ХПК/м^3 на добу з тривалістю зброджування розчинених органічних забруднень протягом 6-8 годин;

- цей технологічний процес дозволяє видалити більше 95% маси органічного забруднення, з концентрацією їх по ХПК на виході з біореактора в межах $1,5-3,0 \text{ г/дм}^3$;

- реактор можливо поділити на три різні частини: мулову основу, муловий шар, трифазний відділювач;

- винайдення UASB-реактора з висхідним потоком через шар активного мулу істотно поліпшило анаеробну метанізацію рідкої фракції;

- низький приріст біомаси при анаеробній метанізації рідкої фракції пояснюється малим енергетичним виходом реакцій, здійснюваних метановим біоценозом. Лише 8% енергії витрачається на приріст біомаси, 3% складають теплові втрати і 89% переходить у метан.

На рис. 3 зображено біосорбер з псевдозрідженим шаром частинок сорбенту (найчастіше використовують порошкоподібне активоване вугілля). Вода, що очищається, циркулює через реакційну зону та утримує сорбент у підвішеному стані. Після чого на поверхні цього сорбенту утворюється біоплівка активного мулу, що сприяє більш глибокому окисленню забруднення [9].

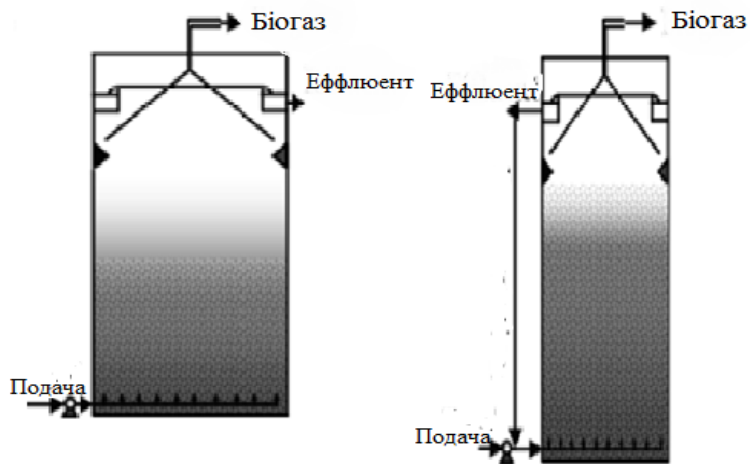


Рис. 2. Принципова схема UASB (а) та EGSB-реакторів (б) [13]

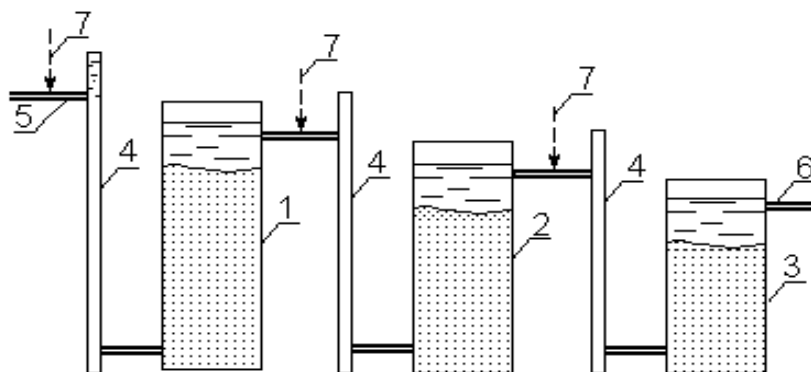


Рис. 3. Схема конструкційного рішення біосорбера:

1, 2, 3 – колони 1, 2, 3 ступенів; 4 – аераційні камери;

5 – подача води; 6 – очищена вода; 7 – повітря

Біосорбери ефективні при знебарвленні води, видаленні вуглеводнів нафти, домішок фенольної групи і іншої резистентних органічних домішок. З урахуванням місцевих умов і результатів розрахунків біосорбери виконуються одно- або багатоступінчастими.

З даних табл. 1 [8,13] видно, що при анаеробних умовах і малій швидкості потоку ступінь очищення стічної води досягає 98% за ХСК.

Високий ступінь очищення досягається при тривалості обробки в анаеробному біофільтрі 21 год. [8], в UASB і EGSB-реакторів 5-6 год. [13], в біосорбері з псевдозрідженим шаром сорбенту досягається ступінь очищення 90% при часі утримання 0,8 год. [8].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика різних типів установок біологічної обробки органічних відходів

Тип установки	Забрудненість стоків за ХСК, мг/дм ³	Концентрація зваженої маси мікроорганізмів в апараті, г/дм ³	Кількість видалених забруднень за ХСК, мг/дм ³	Ступінь очистки стоків за ХСК, %
Анаеробний біофільтр	3300	5-20	2420	73-81
UASB-реактор	3100	20-40	2530	86-98
EGSB-реактор	3100	20-35	2540	85-98
Біосорбер	1400	10-40	1165	81-90

У роботі [8] зазначено, що висока продуктивність біосорбера обумовлена сприятливими умовами для масообміну в псевдорозрідженому шарі і великою поверхнею частинок сорбенту з розвиненою біоплівкою. Однак недоліком роботи біосорбера є значні витрати енергії на аерацію.

Слід зазначити, що все більшого поширення набуває реалізація комплексних систем біологічної очищення, що включають як анаеробну так і аеробну стадії і забезпечують високу ступінь очищення від забруднюючих речовин. При цьому актуальним є впровадження систем утилізації низькопотенційного тепла відходів. Застосування теплових насосів для утилізації теплоти стічних вод дає ряд переваг не тільки економічного, але й екологічного характеру – за рахунок скорочення шкідливих викидів. Теплота, що отримується від теплонасосних установок, може бути використана як на власні потреби, так і реалізована споживачам [10].

У роботі [7] описане технологічне рішення, в якому оброблений в анаеробному біореакторі субстрат (ефлюент) направляється в накопичувач ефлюента і в безперервному режимі прокачується через теплообмінник-випарник теплового насоса (рис. 4).

Теплова енергія від ефлюента, через легко закипаючий теплоносій, після підвищення температурного потенціалу в компресорі передається через теплообмінник-конденсатор вихідному субстрату, що циркулює за схемою «біореактор–насос–теплообмінник–конденсатор–біореактор». Таким чином, теплова енергія нагрітого субстрату, що відводиться з біореактора, корисно використовується для нагріву інфлюента. При коефіцієнті перетворення теплового насоса на рівні 4-5, на кожні 3-4 кВт теплової потужності, що відводиться з біореактора з ефлюентом, може бути отримано 4-5 кВт теплової потужності, що підводиться до вихідного субстрату. При цьому витрачається ~ 1 кВт механічної потужності на приводі компресора. Недоліком цього технічного рішення є низька інтенсивність основних процесів, що визначають продуктивність технологічної лінії «приймальня ємність–біореактор–відстійник ефлюента»

У цілому використання теплонасосних установок дає можливість зменшити витрати потужності і покрити витрати на підігрів сировинної маси відходів.

Обговорення результатів аналізу біотехнологічних рішень переробки відходів та обґрунтування комплексної біотехнології рециклінгу органічних відходів АПК. Проаналізувавши існуючі варіанти реалізації біотехнологій переробки відходів ми прийшли до висновку про високу ефективність комбінації аеробних і анаеробних методів. Комплексне біотехнологічне рішення рециклінгу відходів АПК, на наш погляд, слід реалізувати у двох стадійній формі:

I – попередня аеробна підготовка (біотермічна конверсія) з утилізацією низькопотенційного тепла відходів за допомогою теплових насосів;

II – анаеробна ферментація з виробництвом біошрота.

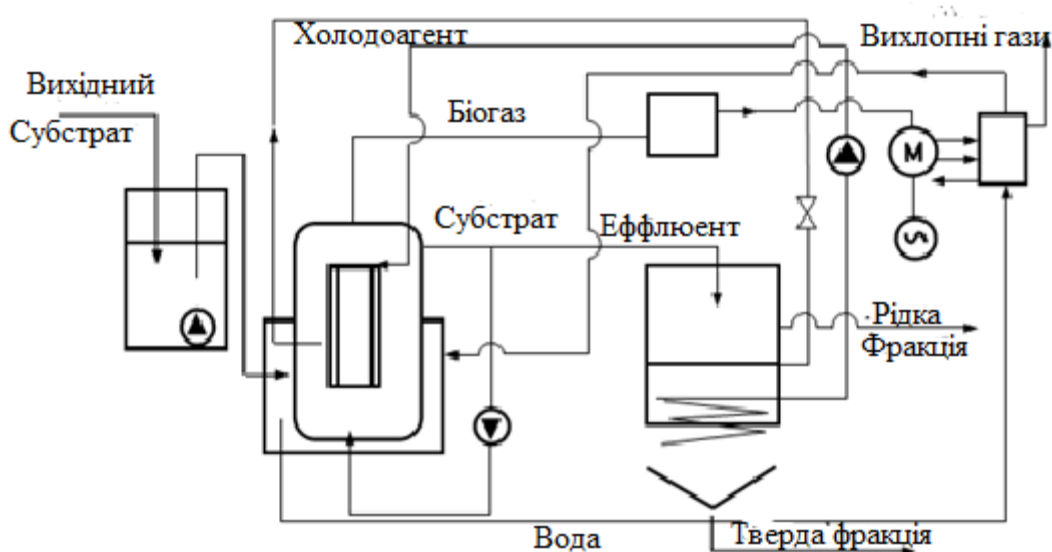


Рис. 4. Використання низькопотенційної теплоти ефлюента за допомогою теплового насоса

На першому етапі відбувається біотермічна конверсія, що дозволяє істотно скоротити витрати на знезараження органічних відходів і поліпшити їх санітарно-гігієнічні показники (внаслідок загибелі хвороботворних мікроорганізмів, яєць гельмінтів і личинок мух). У процесі життєдіяльності аеробних мікроорганізмів відбувається споживання і витрата органічних речовин, тому біотермічний процес найбільш ефективний при біоконверсії сирих незброджених органічних відходів АПК.

Доцільно застосувати процес біотермічної обробки в поєднанні з анаеробним зброджуванням відходів. При цьому низькопотенційне тепло відходів можна утилізувати за допомогою теплового насоса і використовувати для підтримки постійного температурного режиму в анаеробному біореакторі.

На другому етапі в процесі анаеробної ферментації відбувається утворення біогазу, який надходить на доочищення для отримання біометану, а маса зброджуваної суміші органічних відходів АПК піддається центрифугуванню. При цьому частина утвореного концентрату повертається в анаеробний біореактор як інокулят. Надлишок зброджуваної маси направляють на сушку для отримання сухого біошрота або добрива (в залежності від компонентного вихідного складу органовмісних відходів).

У подальших дослідженнях було б доцільним провести проектування технічного оснащення для реалізації запропонованої комплексної біотехнології, здійснити математичну формалізацію енерго-речовинного балансу системи і зробити розрахунок оптимальних співвідношень потоку сировини до потоку біомаси, яку повертатимуть в якості закваски в процесі анаеробної ферментації.

Висновки. Аналіз сучасних розробок в області конструкційних рішень біореакторів свідчить про високу ефективність використання UASB-реакторів з висхідним потоком через шар активного мулу, що істотно покращує анаеробну метанізацію рідкої фракції і досягає ступеня очищення стоків до 98% за ХПК.

У результаті порівняльного аналізу існуючих варіантів реалізації біотехнологій переробки відходів було обґрунтовано доцільність розробки комплексної біотехнології рециклінгу відходів АПК при комбінації аеробних і анаеробних методів з утилізацією низькопотенційного тепла відходів і виробництвом біошроту або добрива.

Література

1 Водяников В.Т. Научно-технический прогресс и энергетика в АПК: экономика и тенденции развития / В. Т. Водяников, А. В. Шахов; под ред. В. Т. Водяникова. – Липецк: Издат. дом «Липецкая газета», 2010. – 288 с.

2 Гелету́ха Г. Г. Перспективы производства и использования биометана в Украине / Г. Г. Гелету́ха, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев // Аналитическая записка БАУ. – 2014. – №11. – 44 с.

3 Гелету́ха Г. Г. Перспективы производства и использования биогаза в Украине / Г. Г. Гелету́ха, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев // Аналитическая записка БАУ. – 2013. – №4. – С.15 – 20.

4 Гелету́ха

Г.

Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспективы

[Електронний ресурс] / г. Гелету́ха, П. Кучерук, Ю. Матвеев. – Киев: НТЦ «Биомасса», 2013. – Режим доступа: <http://biomass.kiev.ua/activities/our-articles/981-biogas-booklet>.

5 Кривых Л. И. Утилизация отходов с животноводческих комплексов и ферм / Л. И. Кривых. – Барнаул: РИО АИПКРС АПК, 2005. – 40 с.

6 Калюжный С. В. Биотехнология защиты окружающей среды: единство биокаталитических и инженерных подходов / С. В. Калюжный // Известия академии наук. Серия химическая. – 2001. – №10. – С. 1735-1742.

7 Ковалев А. А. Возможные пути повышения энергетической эффективности биогазовой установки / Ковалев А. А., Ковалев Д. А. // Вестник ВНИИМЖ. ежеквартальный научный журнал. Серия: механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве. – 2012. – №4(8) – С. 36–41.

8 Ровенская И. А. Моделирование процесса очистки сточной воды молокоперерабатывающего производства в анаэробных биореакторах различных типов / И. А. Ровенская, Н. С. Ручай, О. Ю. Фролова, Т. П. Сергеева // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2008. – № 4, том 1.– С. 239–242.

9 Семенов М. Ю. Биологическая очистка поверхностных сточных вод от органических загрязнений и соединений азота: автореф. дисс. на соискание степени к.т.н. 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – М., 2007. – 23 с.

10 Слесаренко В. В. Перспективы применения тепловых насосов при утилизации теплоты стоков / В. В. Слесаренко, В. В. Князев, В. В. Вагнер. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2012. – №3 (77). – С.28–33.

11 Шалимов Ю. Н. Энергетический комплекс утилизации отходов промышленного и сельскохозяйственного производства [Электронный ресурс] / Ю. Н. Шалимов, Е. Л. Савельева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2008. – №2. – Режим доступа: <http://www.v-itc.ru/electrotech/2008/02/pdf/2008-02-21.pdf>.

12 Brito A. G. A simplified analysis of reaction and mass transfer in UASB reactors / A. G. Brito, L. F. Melo // Environmental technology. – 1997. – Vol. 18. – P. 35– 44.

13 Samer M. Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes [Electronic resource] / M. Samer // In Tech Europe. – 2015. – Режим доступа: <http://www.intechopen.com/subjects/engineering>.

14 Seung J. Lim Comparisons Between the UASB and the EGSB Reactor. [Electronic resource] / J. Lim Seung // Energy. – 2010. – Режим доступа: <http://www.public.iastate.edu/~tge/courses/ce521/seungjoo.pdf>.

15 Tera V. UASB Technology – expectation and reality [Electronic resource] / V. Tera, A. Nema // United Nation Asian and Pacific Centre for Agricultural Engineering and Machinery. – 2010. – Режим доступа: <http://www.sswm.info/library/336>.