

возвратить их в народное хозяйство и значительно уменьшить вредное воздействие горных работ на окружающую среду.

1. Васильев В.И., Вололщук Е.А. Простые сооружения для очистки промстоков // Вестник УГТУ-УПИ. Строительство и образование: Сб. науч. трудов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ». – 2005. – Вып. 14. – С. 362-364.

2. Власов В.А., Ноговицын А.В. Опыт использования осадка сточных вод в качестве удобрения // Земледелие. – 2005. – №5. – С. 14-15.

3. Покровская Е.В., Сергеева Т.Н. Утилизация осадков сточных вод // Экология и промышленность России. – 2005. – Июнь. – С. 23-25.

4. Беляева С.Д., Гольдфарб Л.Л., Гюнтер Л.И. Сертификация осадков сточных вод и организация работ по их утилизации // Экология и промышленность России. – 2005. – Июнь. – С. 38-39.

Получено 28.01.2013

УДК 628.355

Л.І.РУЖИНСЬКА, канд. техн. наук, А.О.ФОМЕНКОВА, Є.В.МОРОЗОВА
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ АНАЕРОБНИХ БІОРЕАКТОРІВ

Розглядаються сучасні конструкції анаеробних біореакторів, які використовуються для переробки органічних відходів різного походження. Наводиться класифікація анаеробних біореакторів, аналізуються конструктивні особливості, які обумовлені видом та обсягами відходів, що переробляються. Наводяться характеристики основних типів сучасних анаеробних біореакторів.

Рассматриваются современные конструкции анаеробных биореакторов, которые используются для переработки органических отходов различного происхождения. Приводится классификация анаеробных биореакторов, анализируются конструктивные особенности, которые обусловлены видом и объемами перерабатываемых отходов. Приводятся характеристики основных типов современных анаеробных биореакторов.

In the proposed article the up-to-date constructions of anaerobic bioreactors that are used for conversion of different origin organic waste are considered. The anaerobic bioreactors classification is reduced, design philosophy, which is conditioned by mode and volumes of treated waste is analysed. The characteristics of main types of up-to-date anaerobic bioreactors are reduced.

Ключові слова: анаеробний біореактор, органічні відходи, класифікація, характеристики біореакторів, конструкції.

Основним технічним елементом (вузлом) установок для виробництва біогазу є біореактор. Конструктивні особливості анаеробних біореакторів обумовлені видом та обсягами відходів, що переробляються, необхідним ступенем деградації. Найбільш загальноприйнята класифікація анаеробних реакторів базується на формі макроструктур метаногенів біомаси в них. За цим принципом всі конструкції можна розділити на реактори з зважено-седиментованою біомасою (мулом) і прикріпленою біомасою (біоплівкою). Також [1-9] виділяють три покоління у розвитку

конструкцій анаеробних біореакторів. Перше покоління включає в себе апарати, в яких біомаса суспензована, найпримітивнішими з яких є септики, реактори типу Imhoff, анаеробні лагуни. У другому поколінні реакторів проводиться збереження біомаси всередині реактора без необхідності рециркуляції. Реактори третього покоління включають зрідження мікробного шару на синтетичному або природному носії.

Серед біореакторів першого покоління прикладом реактору із зв'язано-седиментованою біомасою є традиційний метантенк, анаеробна лагуна, контактний реактор, UASB – реактор з висхідним потоком рідини через шар анаеробного мулу, EGSB – реактор з розширеним шаром гранульованого мулу, перегородчастий реактор (ABR). Введення перемішування призвело до створення конструкцій реакторів з безперервним перемішуванням. Їх основне застосування полягає в обробці осаду, отриманого від станцій аеробного очищення активним мулом [9].

Слід відмітити, що серед метантенків виділяють наступні типи метаногенераторів: реактор-змішувач напівпроточного типу (CSTR), реактор витіснювач проточного типу (PFR). Також виділяють реактор-витіснювач для сухих субстратів (під сухими субстратами мають на увазі енергетичні рослини) та колонні реактори. Реактор-витіснювач для сухих субстратів рекомендується використовувати при щоденному періодичному постачанні субстрату, гомогенному складі суміші субстратів, за наявності площ для зберігання/силосування. Колонні реактори є доцільними для сухих та в'язких субстратів, за можливості переробки поліфракційних сумішей/твердих побутових відходів (ТПВ), при щоденній періодичній подачі субстрату. Перевагою колонних реакторів є те, що немає необхідності у використанні перемішувачів пристроїв.

Вживані протягом тривалого часу конструкції традиційних метантенків являють собою залізобетонні або сталеві вертикальні резервуари циліндричної форми з жорстким перекриттям і конічним або плоским днищем. Резервуари забезпечуються різними системами обігріву та перемішування, і системою відведення, збору і утилізації біогазу. Для запобігання утворення кірки застосовують резервуари з вузькою горловиною і невеликою площею поверхні збродженого осаду, що дозволяє підвищити інтенсивність газовиділення. Як варіанти циліндрових метантенків в різні роки розроблялися конструкції метантенків з рухомим куполом, наприклад, метантенки з плаваючим перекриттям і метантенки-газгольдери. Проте, ці споруди не отримали широкого поширення. Для поєднання процесів збродження і ущільнення в одній споруді розроблені спеціальні конструкції метантенків-ущільнювачів. Корпуси метантенків виконані із залізобетону із задалегідь напруженою арматурою. Найкращі показники досягнуті в метантенках яйцевидної форми,

що забезпечує мінімальні витрати залізобетону і мінімальні тепловтрати. Крім того, така форма метантенка перешкоджає накопиченню піску та утворенню кірки [10].

Реактор змішувач (рис. 1 [11]) доцільно використовувати, при гомогенному складі суміші субстратів для вологості суміші субстратів $W = 88-93\%$, при щоденній подачі субстрату. Реактор-змішувач є типовим реактором для середніх та великих біогазових установок (БГУ) в тваринництві, проте такий тип реактору потребує добре організованої системи перемішування.

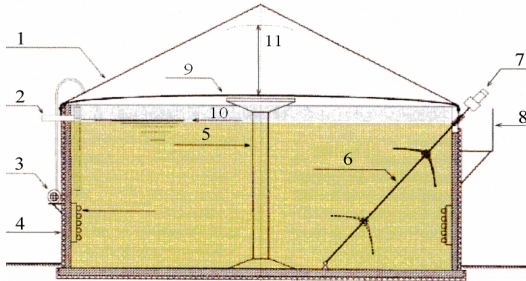


Рис. 1 – Метантенк, що працює за принципом реактора-змішувача, вертикального типу: 1 – перекриття; 2 – перелив субстрату; 3 – насос подачі повітря; 4 – теплоізоляція метантенка; 5 – центральна колона; 6 – мішалка; 7 – привід мішалки; 8 – майданчик обслуговування; 9 – мембранний газгольдер; 10 – рівень заповнення метантенка; 11 – висота підйому газгольдера; 12 – нагрівальні трубопроводи

Реактор-витіснявач проточного типу (рис. 2 [11]) є альтернативним рішенням для невеликих біогазових проектів. Такий тип реактору добре використовувати при високих вимогах до якості органічних добрив, вологості суміші субстратів $W = 88-95\%$, гомогенному складі суміші субстрату та безперервному надходженні субстрату.

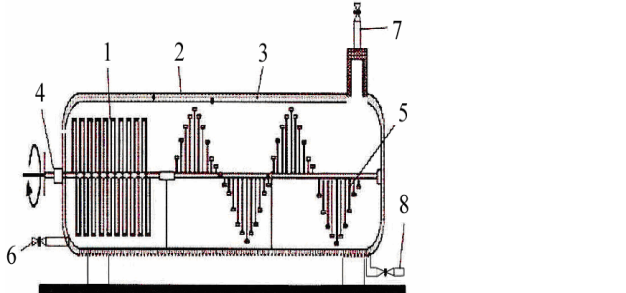


Рис. 2 – Метантенк, що працює за принципом реактора-витіснявача, горизонтального типу: 1 – нагрівач; 2 – сталевий каркас; 3 – теплоізоляція метантенка; 4 – привід мішалки; 5 – змішувальні лопатки; 6 – подача свіжих субстратів; 7 – відведення біогазу; 8 – випуск зброженої маси

Анаеробна лагуна (див. рисунок 3 [11]) (Anaerobic lagoon) – один з найпростіших анаеробних біореакторів, процес деструкції забруднень відбувається з порівняно низькою швидкістю, потік субстрату контактує із гранулами біомаси, що осідають на дні біореактора. Анаеробні лагуни придатні для переробки відходів із навантаженням від 0,1 до 2 кг_{ХСК}/(м³ доба). Конструкція відрізняється простотою і економічністю, придатністю до переробки різних видів відходів, в тому числі і висококонцентрованих. Завдяки великому об'єму біореактора незначні кількості інгібіторів розчиняються, не справляючи значного впливу на життєдіяльність мікрофлори. Разом з тим, значні обсяги біореактора потребують великих площ для розміщення, процес мало піддається контролю і не відрізняється інтенсивністю. Криті анаеробні лагуни використовуються при вологості субстратів $W > 93\%$, гомогенному складі суміші субстратів. Криті лагуни є альтернативним рішенням для знезараження гнойових стоків і їх краще використовувати в регіонах з теплим кліматом [12].

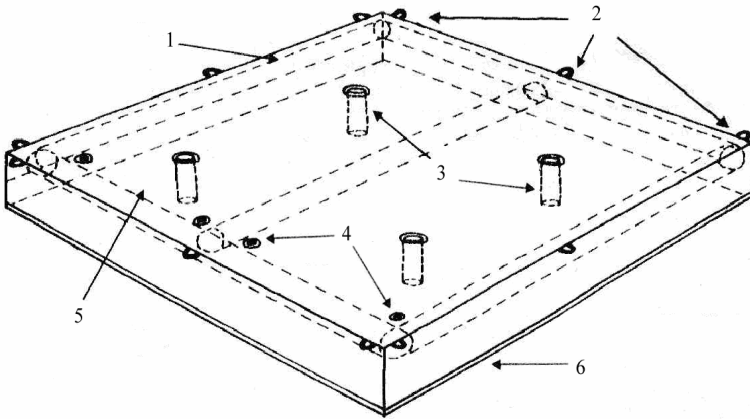


Рис. 3 – Крита лагуна. 1 – утримуючі понтони; 2 – закладні деталі кріплення; 3 – наскрізні отвори для відведення дощової води; 4 – точки відбори біогазу; 5 – перекриття; 6 – днище, перетягнуте канатом з чотирьох сторін

До другого типу, тобто до реакторів з прикріпленою біомасою, відносяться реактори з низхідним потоком (DSFF-реактор), реактор з псевдозрідженим шаром (AFB), біологічні фільтри, наприклад реактор-фільтр з нисхідним потоком (DFF), реактор-фільтр лагунного типу (BVF) тощо. Ряд конструкцій – анаеробний біофільтр з висхідним потоком (AF) та гібридні реактори (наприклад, AF+UASB) – поєднують у собі елементи обох типів реакторів [12]. Перше удосконалення подібних

реакторів полягало у введенні декантатора на виході з реактора, а також у рециркуляції біомаси. Час гідравлічного перебування складає від 5 до 10 днів. Застосування цієї технології особливо бажано, коли середовище для зброджування містить тверді частинки, які важко перетравлюються і легко осаджуються [10].

Контактний реактор (Anaerobic Contact Reactor, ABR) встановлюють разом із відстійником, куди направляється відпрацьована біомаса. У реакторі встановлюють систему дегазації, яка видаляє утворені гази, попереджаючи винос ними флокул активного мулу. Контактні реактори відрізняються високою концентрацією активного мулу, і, відповідно, високою швидкістю переробки та коротким часом перебування маси у реакторі. Реактори контактного принципу дії призначені для переробки стічної води, яка має здатність до розшарування, концентрацією від 4 до 30 г/л. Перевагами такого типу реакторів є достатньо висока якість переробки, можливість успішного керування процесом. Недоліками можна вважати рівномірний розподіл інгібіторів по всьому об'єму реактора, порівняно невисоку концентрацію стічної води, придатної до переробки [12].

Конструкція перегородчастого реактора (Buffled Reactor) відрізняється простотою і широкими можливостями вдосконалення, найчастіше, це впровадження різного типу завантажувальних, теплообмінних пристроїв та елементів для виведення біогазу з усього об'єму апарата [3,12-15].

До перегородчастого біореактора постійно подається стічна вода, при чому кожна нова порція витісняє попередню. Потік поступово проходить крізь так звані мулові камери у строго ламінарному режимі, залишаючи шар активного мулу на дні, газ виводиться із верхніх газових секцій. Камера розташовується під певним невеликим кутом для забезпечення самовільного току.

У другому поколінні реакторів проводиться збереження біомаси всередині реактора без необхідності рециркуляції. Можна навести приклад біореактора у вигляді анаеробного фільтра, заповненого природним носієм (гравієм) або синтетичним (кілець ПВХ і т.п.), в якому завантаження може бути упорядкованим або ж насипним. Обмеження цих методів в основному пов'язано з наявністю зважених часток у стічній воді, що підлягає очистці, які викликають засмічення при завантаженні. З іншого боку, процеси із закріпленою біомасою загалом мають кращу резистивність до токсичних стоків, і вони швидко адаптуються до зміни складу харчування [3-8, 16,17].

Отже, сутністю анаеробного фільтра та головною відмінністю його від інших анаеробних біореакторів є наявність завантаження з інертного

носія, розміщеного у біореакторі без можливості виносу його потоком рідини. На носіїві утворюється біоплівка, з якою контактує субстрат. Анаеробні біофільтри класифікують за напрямом потоку субстрату, конструкцією завантаження та матеріалом носія. Організація руху рідини в анаеробному фільтрі визначає не тільки конструктивне оформлення установки, а і кількість та активність біомаси, якість та швидкість обробки, обсяги біогазу, що виділяється. Найчастіше застосовують анаеробні фільтри із низхідним та висхідним потоками.

В анаеробних фільтрах з низхідним потоком та нерухомо закріпленою біоплівкою DSFF (Downflow Stationary Fixed Film reactor) стічна вода подається в верхню частину реактора і, протікаючи крізь шар завантаження, видаляється знизу. До переваг даної конструкції можна віднести простоту, оскільки правильно розташований реактор не потребуватиме застосування насосного обладнання. Перемішуванню біомаси в реакторі сприятимуть два зустрічні потоки: потік стічної води згори донизу і бульбашки біогазу, що піднімається вгору. Характерною рисою таких фільтрів є присутність біомаси, переважно, у формі біоплівки, тому важливим аспектом проектування анаеробних фільтрів із низхідним потоком є вибір носія із потрібними поверхневими властивостями. Найчастіше застосовують м'які матеріали із високою внутрішньою пористістю не менше 200 м² на один кубічний метр об'єму завантаження. Слід зазначити, що вихід біогазу та його якість можуть бути дещо нижчими у порівнянні із іншими анаеробними біореакторами, оскільки виведення газу ускладнюється формою завантаження і зустрічним потоком рідини, а час перебування газу виявляється дещо тривалішим.

Анаеробні фільтри з висхідним потоком AF (Anaerobic Filter) багато в чому схожі на фільтри з прикріпленою мікрофлорою та фільтри з нисхідним потоком, за виключенням напрямку потоку. Стічна вода поступає в нижню частину реактора і піднімається вгору, біогаз виводиться з верхньої частини реактора. Фільтри такої конструкції відрізняються повнотою використання поверхні носія. Крім того, біомаса присутня не тільки у вигляді біоплівки, а і у флокулах та гранулах [18]. Циркуляція рідини за рахунок висхідних потоків забезпечує рівномірність розподілу біомаси і не допускає виникнення застійних зон або областей із підвищеним вмістом кислот. Потік також перешкоджає заростанню кіркою дна анаеробного фільтра та його засміченню [12,16-18].

Для запобігання накопиченню мулу всередині реактора Ван Ден Бергом і Ленцем був розроблений трубчастий реактор із закріпленою плівкою, який представляє собою біофільтр із площиним завантаженням. Реактор може бути з висхідним або з низхідним потоком. Носій, який може бути використаний, являє собою труби або пластини, розта-

шовані таким чином, щоб створювати вертикальні канали. Застосовуване навантаження складає до $30 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{ доба})$. Така форма завантаження, до того ж, сприятиме більш повному виведенню біогазу з об'єму анаеробного фільтра [3, 16-18].

Використання анаеробних біофільтрів особливо ефективно при очищенні стічної води, що містить ліпофільні речовини (жири), такі біореактори підходять для роботи з різкими коливаннями концентрації забруднюючих речовин у стічній воді та найчастіше використовуються при очищенні стічної води молочної, текстильної, м'ясопереробної промисловостей [19].

Інший реактор другого покоління, розроблений групою голландців під керівництвом Леттінга, принцип роботи якого базується на самоімобілізації біомаси у вигляді гранул (гранульований мул) з хорошими декантаційними характеристиками і високою метаногенною активністю. [3,9]. Це апарати "UASB" (Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor) – реактор із висхідним потоком рідини крізь шар активного анаеробного мулу.

Оскільки реактор не вимагає внутрішнього заповнення для закріплення біомаси, це економічно привабливо, але характеристики його роботи залежать від грануляції біомаси. Крім того, UASB-реактор має у своїй верхній частині систему розділу газ-рідина-тверде тіло, яка запобігає або обмежує винесення зважених часток і сприяє виведенню газу і декантації мулу. Розділення газу, очищеної води та гранульованої біомаси здійснюється за допомогою спеціального муло-газо-відділяючого пристрою. Утримання гранульованої біомаси здійснюється також завдяки її високій седиментаційній здатності. UASB-реактори виявляють значну чутливість до складу стічної води, особливо наявності в ній твердих речовин та інгібіторів, проте, є порівняно компактними та простими, забезпечують хороші умови перемішування, високу якість переробки. Завдяки зазначеним перевагам UASB-реактори є найбільш поширеними. Характерною особливістю цієї конструкції реактора є наявність щільного шару мулу внизу реактора та зони з розрідженими концентраціями біомаси [18]. Застосовувані органічні навантаження можуть досягати значення до $40 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{ доба})$, для часу гідравлічного перебування порядку декількох годин залежно від характеру стоків, що підлягають очищенню. Так само, як анаеробні фільтри, UASB-реактори отримали широке поширення в промисловості на рівні очищення агро-харчових стоків [3-9]. Такі біореактори показують високу продуктивність при вмісті у воді речовин, що добре розкладаються біологічним шляхом, окрім ліпофільних речовин, та застосовуються при обробці стоків індустрії напоїв, целюлозно-паперової промисловості тощо [19].

Також розроблені гібридні конструкції, які об'єднують, наприклад, відповідні переваги UASB-реактора і анаеробного фільтра: реактор UBF (Upflow Bed-Filter) [3]. Нижня частина складається з гранульованого шару мулу і верхня частина містить твердий носій. Така конструкція дозволяє більш раціонально використовувати обсяг реактора, досягти високої концентрації біомаси, хороших умов перемішування, високу продуктивність, компактність та простоту конструкції. Верхня частина реактора, зазвичай, 25%-30 % об'єму, заповнена інертним носієм, закріпленим, або таким, що плаває. Таким чином вдається уникнути, характерного для анаеробного фільтра, засмічення нижніх шарів носія та зменшити його кількість.

Реактори третього покоління включають зрідження мікробного шару на синтетичному або природному носії. Реактор з псевдозрідженим шаром характеризується ступенем псевдозрідження більше 50%, а реактори з розширеним шаром мулу – ступенем псевдозрідження близько 20%. Площа контакту носія дуже велика (більше $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$), при проведенні процесу відбувається активне перемішування, що усуває проблеми підведення субстрату. Час гідравлічного перебування становить менше 12 годин. Однак, ці реактори споживають більше енергії і технічно перевершують попереднє покоління, тобто мають більш складну конструкцію. Застосовувані органічні навантаження можуть перевищувати $40 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{ доба})$ [9].

В біореакторі із розвинутим зваженим шаром активного мулу (Expanded G Sludge Bed Reactor, EGSB) принципово відмінністю від UASB-реактора є більша швидкість висхідного потоку рідини за рахунок рециркуляції для інтенсифікації масообміну між гранулами мулу та стічної водою. За поширенням ця високо-інтенсивна конструкція поступається лише UASB-реакторам. Такі реактори придатні для переробки низько-концентрованих стоків у широкому діапазоні температур [12].

Біореактор із псевдозрідженою біомасою (Fluidized Bed Reactor) – один із найбільш продуктивних біореакторів із закріпленою мікрофлорою за рахунок більш повного контакту забруднень із біомасою. Псевдозрідження відбувається за рахунок висхідного потоку рідини та бульбашок біогазу, що виділяється. При цьому значно збільшується поверхня контакту між активною біомасою та необробленими відходами. В таких біореакторах обробляють низькоконцентровані стоки із розчинними або дрібнодисперсними забрудненнями. Однак, підтримка псевдозрідженого шару потребує значних енерговитрат [18].

Різноманітність складу та властивостей стічної води не дозволяють однозначно якісно та кількісно порівняти різні конструкції анаеробних біореакторів. Залежно від характеристик стоку та місцевих кліматичних

та соціально-економічних умов оптимальною може стати будь-яка конструкція з вищеописаних систем [18]. Основні характеристики анаеробних біореакторів представлено у таблиці.

Характеристики основних типів анаеробних біореакторів

Покоління	Назва біореактора	Умовне позначення	Продуктивність по ХСК, кг _{ХСК} / (м ³ сут)	Навантаження по ХСК, кг _{ХСК} /м ³	Час гідравлічного перебування	Ефективність очищення за ХСК, %	Джерело
I	Анаеробна лагуна		0,1-1		10-60 діб		[20]
	Метантенк	-	0,5-5	>10	>192-240 год		[12]
	Контактний анаеробний реактор	ACR	3-8	>2	>24 год		[12]
			3-12		7 діб		[5]
			1-5,5		5-10 діб		[20]
			0,5-9	2-10			[21]
			1-6		24-120 год	70-95	[22]
	Перегородчастий анаеробний реактор	ABR	9-15		48-72 год		[20]
			3-35		9-32 год	75-95	[22]
	Анаеробний біофільтр з низхідним потоком	DSFF	10-12	>1-2	24 год		[12]
			<40	1-20	10-50 год		[3], [5]
			4-8	9-15	53-91 год	65-85%	[17]
			5-15		24-120 год		[20]
			1-15			80-90	[21]
		Анаеробний біофільтр з висхідним потоком	AF	10-15	>0,3	>8-12	
<40				1-20	10-50 год		[3], [5]
0,1-15				2,5-24	12-48 год	75-90%	[17]
5-15					24-120 год		[20]
1-15						80-90	[21]
Анаеробний біореактор з висхідним потоком рідини зі зваженим шаром мулу	UASB	10-25	>0,3	>2-3 год		[12]	
		<20	<40	>6 год		[3]	
		5-20		12-48 год		[20]	
		1-15	7-20			[21]	
Анаеробний біореактор з розширеним шаром активного мулу	ESGB	30-40	>0,3	>1-2 год		[12]	
		1-18			80-90	[21]	
		2-50		0,5-24	70-80	[22]	
	Анаеробний біореактор з псевдозрідженим шаром активного мулу	FBR	30-40	>0,3	>0,5 год		[12]
			2-70 (120*)		2-24 год		[3]
			20-40	30-40	12-24 год		[20]
			2-50		1-4 год	80-90	[22]

* значення отримане при експериментальному дослідженні

1. Alcaraz Gonzalez, Victor. Estimation et commande robuste non-lineaires des procedes biologiques de depollution des eaux usees: application a la digestion anaerobie: дис. док. техн. наук/ Victor Alcaraz Gonzalez. – Universite de Perpignan, 2001. – 270 с.
2. Carlos Hernandez, Salvador. Strategie de commande integree intelligente de procedes de traitement des eaux usees parla digestion anaerobie: дис.... д-ра техн. наук / Salvador Carlos Hernandez. – Laboratoire d'Automatique de Grenoble, 2005. – 158 с.
3. Cresson Romain. Etude du demarrage de procedésintensifs de méthanisation. Impact des conditions hydrodynamiques et de la strategie de montée encharge sur la formation et l'activité du biofilm: дис. док. техн. наук/ Romain Cresson. – Montpellier II, 2006. – 272 с.
4. Habouzit Frédéric. Rôle des matériaux-supports sur la mise en place du biofilm : Application au démarrage d'un procédé de méthanisation: дис.... д-ра техн. наук / Frédéric Habouzit. Montpellier II, 2010. – 241 с.
5. Michaud M. Sébastien. Etude hydrodynamique et biologique d'un procede de methanisation a biofilm : le reacteur a lit turbule inverse: дис.... д-ра техн. наук / M. Sébastien Michaud. L'Institut National Des Sciences Appliquees De Toulouse, 2001. – 174 с.
6. Augustin Jean-Christophe. Modelisation de la croissance microbienne et gestion de la sécurité sanitaire des aliments: дис.... д-ра техн. наук / Jean-Christophe Augustin. – Paris XII Val de Marne, 2005. – 189 с.
7. Lardon Laurent. Modélisation des biofilms de digestion anaérobie par système multi-agents: Mémoire de DAA / Laurent Lardon. – *Montpellier: AgroTIC*, 2001. – 79с.
8. Marchaim Uri. Les procédés de production de biogaz pour le développement de technologies. Bulletin des services agricoles de la FAO,95. – Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. – 1994. – 223 с.
9. Guyot Jean-Pierre. Etude de quelques interactions microbiennes lors de la digestion anaerobie de la matiere organique par des cultures mixtes definies ou naturelles: дис.... д-ра биол. наук / Jean-Pierre Guyot. – Aix-Marceille, 1990. – 123 с.
10. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов / Яковлев С.В., Воронов Ю.В. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 704 с.
11. Кучерук П. Биогазовые установки в сельском хозяйстве и на станциях очистки сточных вод [Электронный ресурс]: Учебный курс «От природного газа к биомассе», 22-26 марта 2009 года Украина, Киев / Институт технической теплофизики НАН Украины, Научно-технический центр «БИОМАССА». Режим доступа: \www/ URL: <http://biomass.kiev.ua> – Загл. с экрана.
12. Калюжный С.В. Высокоинтенсивные анаэробные технологии очистки промышленных сточных вод / С.В. Калюжный // Катализ в промышленности. – 2004. – № 6. – С. 42-50.
13. A bioconversion reactor: пат. 0213691 B1.USA: МПК С 02 F3/28/ Perry L. McCarty, Andre Bechmann: заявитель и патентообладатель The board of trustees of the Leland Stanford junior University. – №86304054.9 ; заявл. 28.05.86; опубл. 11.03.87, Бюл. № 92/30. – 13 с.
14. Rongrong Liu. The developments of anaerobic baffled reactor for wastewater treatment: A review/ Rongrong Liu, Qing Tian and Jihua Chen // African Journal of Biotechnology. – 2011. – Vol. 9. – P. 1535-1542.
15. Fernanda M. Ferraz. Performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) in treatment of cassava wastewater / Fernanda M. Ferraz*; Aline T. Bruni; Vanildo L. Del Bianchi // Brazilian Journal of Microbiology. – 2009. – №40. – P. 48-53.
16. A. Balla Etude des effets d'une surcharge organique sur le fonctionnement d'un réacteur anaérobie à biomasses fixées / A. Balla, M. M. Adamou // Sud sciences & technologies. – 2009. – №°14. – С. 13-19.
17. Young J.C. Design considerations for full-scale anaerobic filters / James C. Young, Byung S. Yang // Journal WPCF. – 1987. – V. 61, №9. – P. 1576-1587.

18. Колесников В.П., Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях; под ред. Ак. ЖКХ РФ В.К. Гордеева-Гаврикова. – Ростов-на-Дону: Юг, 2005. – 212 с.

19. Вейсер Т. Практический опыт использования биологических методов очистки сточных вод, образующихся в индустрии напитков / Т. Вейсер, В. Хельманн, М. Чеботаева // официальный сайт фирмы «Энви́ро-Хеми Вассер унд Абвассертехник ГмбХ». Режим доступа : \www/ URL: <http://www.enviro-chemie.ru> – 10.12.2004 г. – Загл. с экрана.

20. Moletta R. Technologies du traitement des effluents par méthanisation / R. Moletta. – Режим доступа: \www/ URL: <http://moletta-methanisation.fr/textes/technologies%20de%20la%20methanisation%20des%20effluents.pdf> – 2002. – Загл. з екрану.

21. Хенце М. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Ясен, Э. Арван. – М.: Мир, 2009. – 480 с.

22. Матеріали з офіційного сайту «MEBiG» (Marmara environmental Biotechnology Group) <http://mebig.marmara.edu.tr/Enve424/Chapter7.pdf> – Загл. с экрана.

Отримано 26.12.2012

УДК 652.24

А.А.АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук, А.В.БОБЛОВСКИЙ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Получены уравнения для определения удельной безразмерной тепловой производительности нагревательной установки, выполненной из двух теплообменных аппаратов. Разработана методика определения основных параметров установки и температуры сред в характерных точках схемы.

Отримано рівняння для визначення питомої безрозмірної теплової продуктивності нагрівальної установки, яка складається з двох теплообмінних апаратів. Розроблено методику визначення основних параметрів установки та температури середовищ у характерних точках схеми.

The equations for determining the specific heat capacity of the dimensionless heating device made from two heat exchangers. The method for determining the main parameters of installation and temperature environments at characteristic points of the circuit.

Ключевые слова: система горячего водоснабжения, водонагревательная установка, теплообменный аппарат, удельная тепловая производительность.

В практике проектирования нагревательных установок, выполненных на основе теплообменных аппаратов, при невозможности осуществить подбор аппарата с необходимой стандартной поверхностью теплообмена часто устанавливают, как правило, два теплообменника с одинаковой площадью поверхности (рис.1). Наличие двух теплообменников усложняет расчеты, особенно при нахождении параметров нагревательной установки в целом для отличных от расчетных условий. В научной литературе [1-3] определение показателей работы отдельного теплооб-