



УДК 691.32



ШЕЙНІЧ Л.О.

Д-р технічних наук, проф., зав. відділу, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: schein@ndibk.gov.ua, тел./факс +38(044)248-88-73. ORCID: 0000-0002-7684-9495



ПРИЙМАЧЕНКО А.С.

Асп., Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: artem.pryymachenko@gmail.com, тел. +38(067) 406 07 94. ORCID: 0000-0003-4335-5752



ІГНАТОВА І.В.

Канд. технічних наук, ст. науковий співробітник, зав. лаб., Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: i.ignatova@ndibk.gov.ua, тел. +38(044)249-38-41. ORCID: 0000-0001-5331-5039

БЕТОНИ ДЛЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

АНОТАЦІЯ. Робота присвячена розробленню бетонів біогазових установок, в яких отримують біогаз в результаті мікробного розкладання біомаси. Біогаз є одним із перспективних видів альтернативних джерел енергії.

В роботі розглянуто умови експлуатації біогазових установок, зокрема ферментаторів. Оскільки бетонний корпус ферментатора зазнає дії агресивного середовища різного виду та ступеня, то при його проектуванні необхідно у кожному конкретному випадку проводити аналіз середовища, у якому буде експлуатуватися конструкція, з визначенням ступеня агресивності та встановленням відповідного виду його захисту.

У зв'язку із складними умовами експлуатації ферментаторів запропоновано умовний поділ його корпусу на зони контакту: з газовим середовищем, а також рідким та твердим середовищами. В роботі визначено ступені агресивності середовища у відповідних зонах та визначено основні вимоги до матеріалів для влаштування та захисту корпусу ферментатора (бетону та захисного покриття) залежно від зони контакту та визначеного ступеня агресивності середовища. Рекомендовано корозійностійкі матеріали для влаштування та захисту корпусу ферментатора залежно від зони контакту та визначеного ступеня агресивності середовища.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ферментатор, конструкції, бетон, вимоги, агресивне середовище

CONCRETES FOR BIOGAS PLANTS

SHEINICH L.

Dr, Prof., Dept. Head, State enterprise "State Scientific Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine, e-mail: schein@ndibk.gov.ua, tel./fax +38(044)248-88-73. ORCID: 0000-0002-7684-9495

PRYIMACHENKO A.

PG student, State enterprise "State Scientific Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine, e-mail: artem.pryymachenko@gmail.com, tel. +38(067) 406 07 94. ORCID: 0000-0003-4335-5752

IGNATOVA I.

PhD, senior scientist, Laboratory Head, State enterprise "State Scientific Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine, e-mail: i.ignatova@ndibk.gov.ua, tel. +38(044)249-38-41. ORCID: 0000-0001-5331-5039

ABSTRACT. Paper is devoted to development of the concretes for biogas plants for biogas production by means of microbial decomposition of biomass. Biogas is prospective type of alternative source of energy. The conditions for biogas plants operation, the fermenters in particular, is considered in paper.



Because of a fermenter concrete body is subjected to aggressive medium action with different kind and extent, therefore there is necessary to analyze that medium in every specific case of designing. In analysis process there is necessary to determine an extent of medium aggressiveness for structure under operation and to provide the measures for its protection.

Following to complex conditions for the fermenters operation there is proposed the conditional dividing of its body by contact zones with gas, liquid and solid medium. The extent of medium aggressiveness in relevant zones and the basic requirements to material for protection of fermenter body (concrete and protective cover) is determined in paper depends on contact zone and extent of medium aggressiveness. There are recommended the corrosion-resistant materials for arrangement of fermenter body depends of contact zone and extent of medium aggressiveness.

KEY WORDS: fermenter, structures, concrete, requirements, aggressive medium

ВСТУП

На сьогодні забезпечення розвитку альтернативної енергетики, диверсифікація джерел енергії, в т.ч. застосування енергії біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів та вторинних енергетичних ресурсів тощо є пріоритетним напрямком економіки багатьох країн світу.

Одним із найбільш перспективних шляхів отримання енергії є використання біогазу – газу, що отримують у біогазових установках в результаті мікробного розкладання біомаси.

Перевагою біогазових установок є отримання електроенергії, тепла та палива (біогазу) завдяки переробці дешевої сировини – відходів. Крім того, використання відходів усуває ряд проблем щодо їх збирання, транспортування та зберігання.

Оскільки біогазові установки працюють, як правило, на відходах, вони є дієвими системами очищення навколишнього середовища. Переробка відходів дозволяє запобігти забрудненню ґрунту, поверхневих та підземних вод, а також знизити викиди метану в атмосферу, що є одним із способів запобігання глобальному потеплінню [1, 2].

Таким чином, біогазові установки дозволяють не лише отримувати енергію та паливо з дешевої сировини, а й запобігати забрудненню довкілля.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Біогазові установки – це об'єкт будівництва, який складається з герметичного ферментатора, оснащеного комплексом систем підготовки та подавання сировини, підігріву та перемішування біомаси, каналізаційної, газової та електричної мереж [3, 4].

Біогазові установки можуть працювати як на одній сировині, так і на сумішах [3, 4]. Основним компонентом біомаси, необхідним для роботи біогазо-

вих установок, є рідкий та твердий гній, комунальні відходи, солома, бурячкова гичка, відходи овочів, деревна зелень або інші органічні відходи [3, 4]. Крім того, для оптимізації процесу бродіння та активного виділення біогазу до зброджувальної біомаси додають спеціальні реагенти, зокрема – вапно, вуглекислий газ, луг тощо [3].

У ферментаторі відбувається контрольоване збродження біомаси в анаеробних (за відсутності кисню та світла) умовах при певному діапазоні температур за допомогою відповідних бактерій [3, 4].

У ферментаторах отримують біодобрива та біогаз, який складається з метану (CH_4) – 55-75 %, вуглекислого газу (CO_2) – 25-45 % і сірководню (H_2S) – менше 1 %, а також незначної кількості аміаку (N_2), водню (H_2) та інших сполук [3, 4].

Таким чином, корпус ферментатора безпосередньо контактує з агресивним газоподібним, рідким та твердим середовищами, як хімічного, так і біологічного походження. Крім того, конструкція ферментатора повинна витримувати відповідні навантаження від власної ваги, перекриття, зброженої біомаси, технологічного обладнання тощо та витримувати дію температур, тиску тощо. Корпус ферментатора повинен бути досить міцний, корозійностійкий та абсолютно герметичний [4].

Одним із найпоширеніших матеріалів для виготовлення корпусу ферментатора є бетон (залізобетон). Оскільки бетонний корпус ферментатора піддається агресивному впливу різного виду та ступеня, то при його проектуванні необхідно у кожному конкретному випадку проводити аналіз виду середовища, у якому буде експлуатуватися конструкція з визначенням відповідного ступеня агресивності та встановленням відповідного виду його захисту.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою представленої роботи є встановлення умов експлуатації ферментатора, основних вимог до матеріалу його корпусу у різних зонах контакту з різним ступенем агресивності та надання рекомендацій щодо призначення відповідного виду бетону та його захисту.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

У зоні контакту з газовим середовищем корпус ферментатора повинен мати високу тріщиностійкість, газо- та водонепроникність. Газове середовище містить окрім метану значну кількість вуглекислого газу, сірководню, аміаку, інших сполук, що спричиняють корозію бетону. Крім того, в газі присутня велика кількість водяних парів, які конденсуються на стінках ферментатора та вступають у реакцію з присутніми сполуками з утворенням агресивних для бетону та металевих елементів конструкцій середовищ, зокрема, сірководневих кислот [4]. За високих температур утворення кислот прискорюється.

Згідно з п.5.9 [5] дане середовище може бути віднесене до сильно агресивного, що потребує первин-



Таблиця 1. Вимоги до матеріалів залежно від виду та ступеня агресивності середовища

Зони контакту (вид об'єкта)	Ступінь агресивного середовища	Вимоги до матеріалів
1	2	3
Зона контакту з газовим середовищем (ферментатор, силосні траншеї, резервуари для зберігання рідких добрив)	сильно агресивне середовище ХА3	Бетон: <ul style="list-style-type: none"> - сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; - з мінімальним класом за міцністю – С35/45; - з мінімальною витратою цементу – 360 кг/м³; - з максимальним водоцементним відношенням – 0,45; - водонепроникністю не нижче W8; - без тріщин (у деяких випадках гранично-допустима ширина розкриття тріщин до 0,10 мм). Захисне покриття: <ul style="list-style-type: none"> - з гранично-допустимою шириною розкриття тріщин до 0,1 мм - стійке до впливу середовища з рН нижче 2
Зона контакту з рідким та твердим середовищем (ферментатор)	сильно агресивне середовище ХА3	Бетон: <ul style="list-style-type: none"> - сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; - з мінімальним класом за міцністю – С35/45; - з мінімальною витратою цементу – 360 кг/м³; - з максимальним водоцементним відношенням – 0,45; - водонепроникністю не нижче W8; - з гранично-допустимою шириною розкриття тріщин до 0,05 мм. Захисне покриття: <ul style="list-style-type: none"> - з гранично-допустимою шириною розкриття тріщин до 0,05 мм - стійке до впливу середовища з рН нижче 5,5
Зона контакту з рідким та твердим середовищем (силосні траншеї та резервуари для зберігання рідких добрив)	слабо агресивне середовище ХА1	Бетон: <ul style="list-style-type: none"> - сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; - з мінімальним класом за міцністю – С30/35; - з мінімальною витратою цементу – 300 кг/м³; - з максимальним водоцементним відношенням – 0,55; - водонепроникністю не нижче W4
Примітка - можлива відсутність захисних покриттів у випадку наявності результатів спеціальних досліджень, що відповідним чином підтверджують обґрунтованість такого рішення		

ного і вторинного захисту та нанесення захисного покриття, яке виключатиме вільний доступ агресивного середовища до бетону. Відповідно до [5] ширина розкриття тріщин бетону конструкції не повинна перевищувати 0,1 мм, а експозиційний клас агресивного середовища становитиме ХА3.

Бетони в зоні контакту з газовим середовищем повинні бути сульфатостійкими, ма-ти марку за водонепроникністю не меншу ніж W8, водоцементне відношення В/Ц більше ніж 0,45 та бути стійкими до луж-

ної корозії.

Оскільки ферментатори можуть працювати на різноманітній сировині, то в зоні контакту з рідким та твердим середовищем водневий показник біомаси може змінюватися від нейтрального до кислого (рН ≤ 5,5). Згідно з таблицею А.2 [5] середовище відносять до ХА2. Враховуючи, що корпус ферментатора піддається при перемішуванні ерозії та має місце дія підвищених температур, то згідно з п.5.7 [5] ступінь агресивного середовища підвищують на одну сту-



піль до ХА3. Згідно з п.5.9 [5] вплив агресивного середовища відносять до сильно агресивного середовища, що передбачає первинний і вторинний захист і потребує нанесення покриття, що виключає доступ агресивного середовища до бетону.

Бетони в зоні контакту з рідким та твердим середовищем повинні бути сульфатостійкими, стійкими до лужної корозії, мати марку за водонепроникністю не менше ніж W8.

Корпус ферментатора потребує підвищення щільності (водонепроникності) та тріщиностійкості бетонів. Ширину розкриття тріщин у зоні контакту бетону з рідиною, відповідно до таблиці Г5 [5], обмежують до 0,05 мм.

При перевищенні ширини розкриття тріщин бетону, їх потрібно герметизувати ін'єктуванням еластомерною полімерною смолою.

Таким чином, бетон для корпусу ферментатора повинен бути міцним, щільним, тріщиностійким, витримувати температуру експлуатації до 70 °С (температур існування метаногенних бактерій) та корозійностійким.

Узагальнені вимоги до захисту корпусу ферментатора залежно від ступеня агресивності середовища експлуатації з урахуванням вимог [5, 6] наведені в табл. 1.

При визначенні складу бетону для ферментаторів необхідно керуватися вимогами [5, 7].

Бетон для виготовлення залізобетонних конструкцій ферментаторів повинен бути сульфатостійким. Для його отримання застосовують сульфатостійкий цемент. Як альтернатива можливе використання портландцементу марки ПЦП/А-Ш-400 згідно з [8] (СЕМ П/А-S) із додаванням активних мінеральних добавок. Кількість та співвідношення активних мінеральних добавок визначають експериментально за вимогами [9]. Можливість використання портландцементу марки ПЦП/А-Ш-400 згідно з [8] із сумішшю активних мінеральних добавок підтверджена дослідженнями [10, 11].

Для отримання високорухомих бетонних сумішей з низьким водоцементним відношенням можна використовувати суперпластифікатори на основі полікарбоксилатів.

Також можна використовувати високоміцний сульфатостійкий бетон із комплексною активною мінеральною добавкою, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор та суміш алюмосилікатних добавок в оптимальному співвідношенні [10, 11]. Такий сульфатостійкий бетон, за рахунок введення в оптимальній кількості комплексної активної мінеральної добавки, дозволяє економити до 10-18 % цементу без погіршення його фізико-технічних властивостей з одночасним підвищенням корозійної стійкості бетону в сульфатному середовищі [10, 11].

Бетон витримує високі механічні та термічні навантаження, проте, як лужний матеріал, не стійкий до дії кислот з рівнем рН < 4, в тому числі і до дії сульфатної кислоти (біогенна сульфатнокисла корозія).

Тому ділянки, які піддаються підвищеному хімічному впливу, повинні бути захищені наднепроникним покриттям, щоб унеможливити проникнення кисло-го середовища та як наслідок – пошкодження бетону. Для цього потрібна достатня товщина шару системи захисту поверхні з регламентованою шириною розкриття тріщин та стійкістю до дії кислот.

Рекомендації щодо виготовлення та захисту бетону ферментаторів зведені в [12].

ВИСНОВКИ

Для влаштування корпусу ферментаторів, а також інших сільськогосподарських споруд у зоні контакту з сильно агресивним газовим середовищем (ХА3 згідно з [5]) необхідно використовувати:

- бетон: сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; з мінімальним класом за міцністю – С35/45; з мінімальною витратою цементу – 360 кг/м³; з максимальним водоцементним відношенням – 0,45; водонепроникністю не нижче W8; без тріщин (у деяких випадках гранично-допустима ширина розкриття тріщин до 0,10 мм);
- захисне покриття: з гранично-допустимою шириною розкриття тріщин до 0,1 мм; стійке до впливу середовища з рН нижче 2.

Для влаштування корпусу ферментаторів, а також інших сільськогосподарських споруд у зоні контакту з сильно агресивним рідким та твердим середовищем (ХА3 згідно з [5]) необхідно використовувати:

- бетон: сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; з мінімальним класом за міцністю – С35/45; з мінімальною витратою цементу – 360 кг/м³; з максимальним водоцементним відношенням – 0,45; водонепроникністю не нижче W8; з гранично-допустимою шириною розкриття тріщин до 0,05 мм;
- захисне покриття: з гранично-допустимою шириною розкриття тріщин до 0,05 мм; стійке до впливу середовища з рН нижче 5,5.

Для влаштування сільськогосподарських споруд у зоні контакту зі слабо агресивним рідким та твердим середовищами (ХА1 згідно з [5]) необхідно використовувати бетон із такими характеристиками: сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; з мінімальним класом за міцністю – С30/35; з мінімальною витратою цементу – 300 кг/м³; з максимальним водоцементним відношенням – 0,55; водонепроникністю не нижче W4.

Рекомендації щодо виготовлення та захисту бетону ферментаторів зведені в [12].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Біогазова установка для українського споживача [Електронний ресурс] // <http://chz.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/Біогазова-установка-для-українського-споживача.pdf> (дата звернення: 14.03.2017).
2. Биогазовые установки [Электронный ре-



- сурс] // <http://aenergy.com.ua/drugie-reshenija/biogazovye-ustanovki.html> (дата звернення: 14.03.2017).
3. Біогазові технології в Україні. Встановлення та робота біогазових установок [Електронний ресурс] // http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_eksp_Biogas_2011.pdf (дата звернення: 14.03.2017).
 4. Б. Эдер. Биогазовые установки. Практическое пособие / Б. Эдер, Х. Шульц. – 268 с. [Электронный ресурс] // http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf (дата звернення: 14.03.2017).
 5. Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384:2008, NEQ): ДСТУ Б В.2.6-145:2010. – [Чинний від 2010-10-26]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 52 с. – (Національний стандарт України).
 6. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ): ДСТУ Б В.2.7-176:2008 – [Чинний від 2009-09-30]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 64 с. – (Національний стандарт України).
 7. Настанова щодо визначення складу важкого бетону: ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. – [Чинний від 2013-11-26]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2014. – 87 с. – (Національний стандарт України).
 8. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-46:2010. – [Чинний від 2010-12-14]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 14 с. – (Національний стандарт України).
 9. Захист від корозії у будівництві. Бетони. Загальні вимоги до проведення випробувань (ГОСТ 27677-88, IDT): ДСТУ Б ГОСТ 27677:2011 – [Чинний від 2011-12-30]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2012. – 8 с. – (Національний стандарт України).
 10. Приймаченко А.С. Вплив комплексної активної мінеральної добавки різного складу на міцність бетону / А.С. Приймаченко, К.К. Пушкарєва, Л.О. Шейніч, С.І. Гедулян // Ресурсо-економні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2013. – Вип. 26. – Рівне – С. 364-373.
 11. Приймаченко А.С. Дослідження сумісності роботи мінеральних добавок в складі високоміцних сульфатостійких бетонів / А.С. Приймаченко, Л.О. Шейніч, К.К. Пушкарєва, С.І. Гедулян // Наука та будівництво. – 2015. – №2. – С. 4-8.
 12. Рекомендації щодо виготовлення та захисту бетону біогазових установок з використанням матеріалів MC-BAUCHEMIE: рекомендації / ДП НДІБК; керівник Шейніч Л.О.; виконавці: Приймаченко А.С. [і ін.]. – Київ, 2017. – 42 с.

REFERENCES

1. Biogas plant for Ukrainian consumer// <http://chz.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/biogas-plant-forUkrainian-consumer.pdf>.
2. Biogas plants // <http://aenergy.com.ua/drugie-reshenija/biogazovye-ustanovki.html>.
3. Biogas technologies in Ukraine. Installation and operation of the biogas plants// http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_eksp_Biogas_2011.pdf.
4. B. Eder. Biogas plants. Practical instruction. / B. Eder, H. Shults. – 268 p. // http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf.
5. Buildings and facilities structures. Protection for concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical provisions (GOST 31384:2008, NEQ): DSTU B V.2.6-145:2010. – [Valid from 2010-10-26]. – Kyiv: SE «Ukrarkhbudinform», 2010. – 52 p. – (National standard of Ukraine).
6. Construction materials. Concrete mixes and concrete. General technical specification (EN 206-1:2000, NEQ): DSTU B V.2.7-176:2008 – [Valid from 2009-09-30]. – Kyiv: SE «Ukrarkhbudinform», 2010. – 64 p. – (National standard of Ukraine).
7. Instruction on determination of heavy concrete mix: DSTU-N B V.2.7-299:2013. – [Valid from 2013-11-26]. – Kyiv: SE «Ukrarkhbudinform», 2014. – 87 p. – (National standard of Ukraine).
8. Construction materials. General-construction purpose. Technical specification: DSTU B V.2.7-46:2010. – [Valid from 2010-12-14]. – Kyiv: SE «Ukrarkhbudinform», 2011. – 14 p. – (National standard of Ukraine).
9. Protection against corrosion in construction engineering. Concretes. General requirements for tests (GOST 27677-88, IDT): DSTU B GOST 27677:2011 – [Valid from 2011-12-30]. – Kyiv: SE «Ukrarkhbudinform», 2012. – 8 p. – (National standard of Ukraine).
10. Pryymachenko A.S. Influence of complex active mineral admixture with different mix on concrete strength / A.S. Pryymachenko, K.K. Pushkareva, L.O. Scheinich, S.I. Gedulyan // Resource-saving materials, structures, buildings and facilities. – 2013. – Iss. 26. – Rivne – P. 364-373.
11. Pryymachenko A.S. Research of joint work of the mineral admixtures in structure of high-performance sulphate-resistant concretes / A.S. Pryymachenko, L.O. Scheinich, K.K. Pushkareva, S.I. Gedulyan // Science and construction. – 2015. – №2. – P. 4-8.
12. Recommendations for production and protection of the concrete for biogas plants with using of materials MC-BAUCHEMIE]: Recommendations / SE NIISK; manager - Scheinich L.O.; executors: Pryymachenko A.S. and etc. – Kyiv, 2017. – 42 p.