

УДК 629.039.58

DOI: 10.30838/P.СММ.2415.250918.222.156

БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

ГАРМАШ С. М.^{1*}, к.с.-г.н., доц.
СЕМЕНОВ М. І.², магістр

¹Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Український державний Хіміко-технологічний університет», проспект Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2658-162X 2-2658-162X

²Державний вищий навчальний заклад «Український державний Хіміко-технологічний університет», проспект Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +380997658090, e-mail: nikita.semenov.1996@gmail.com

Мета. Метою роботи є аналіз типових нещасних випадків і аварій на біогазових установках країн Європи, сучасних засобів безпеки та вивчення високоєфективної програми BioGasAtex для впровадження на підприємствах України. **Методика.** Вивчення і аналіз світового досвіду по безпечній експлуатації біогазових установок у країнах Європи. **Результати.** Встановлено, що до основних аварій з вибухами на біогазових підприємствах відносяться аварії, пов'язані зі зберіганням біогазу, транспортуванням біогазу і з отриманням біогазу в процесі для анаеробного зброджування. Встановлено зони ризиків на біоенергетичних установках (Zone 0, Zone 1, Zone 2) та їх розташування. Показано основні способи зниження ризику: недопущення появи джерела загоряння і запобігання витокам метану і створення вибухонебезпечного середовища. Вивчена програма BioGasAtex, за допомогою якої можливо ідентифікувати всі критичні процеси, які можуть бути ризикованими і збільшувати ймовірність виникнення вибухонебезпечної атмосфери і розвитку вибуху. Програма створена в Microsoft Excel з використанням властивостей електронної таблиці і підключення їх операцій за допомогою програм, створених на мові Visual Basic, які можуть виконувати більш складні операції. **Наукова новизна.** Аналіз безпечної експлуатації біогазових установок країн Європи дозволяє застосувати багатий досвід їх безпечної експлуатації на підприємствах України. **Практична значимість.** Впровадження сучасних методів безаварійної роботи та високоєфективної програми BioGasAtex на біоенергетичних об'єктах України допоможе вирішити проблеми, пов'язані із запобіганням вибуху при виробництві біогазу.

Ключові слова: біогазові установки; безпечна експлуатація; зони ризику; небезпечні виробничі фактори; європейська програма BioGasAtex.

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

ГАРМАШ С. Н.^{1*}, к.с.-х.н., доц.
СЕМЕНОВ Н. И.², магистр

¹Кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», проспект Гагарина, 49005, Днепр, Украина, тел. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net ORCID ID: 0000-0002-2658-162X;

²Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», проспект Гагарина, 49005, Днепр, Украина, тел. +380997658090, e-mail: nikita.semenov.1996@gmail.com

Цель. Целью работы является анализ типичных несчастных случаев и аварий на биогазовых установках стран Европы, современных средств безопасности и изучения высокоэффективной программы BioGasAtex для внедрения на предприятиях Украины. **Методика.** Изучение и анализ мирового опыта по безопасной эксплуатации биогазовых установок в Европейских странах. **Результаты.** Установлено, что к основным авариям с взрывами на биогазовых предприятиях относятся аварии, связанные с хранением биогаза, транспортировкой биогаза и с получением биогаза в процессе для анаэробного сбраживания. Установлены зоны рисков на биоэнергетических установках (Zone 0, Zone 1, Zone 2) и их расположения. Показаны основные способы снижения риска: недопущение появления источника загорания и предотвращения выделения метана и создания взрывоопасной среды. Изучена программа BioGasAtex, с помощью которой возможно идентифицировать все критические процессы, которые могут быть рискованными и увеличивающими вероятность возникновения взрывоопасной атмосферы и развития взрыва. Программа создана в Microsoft Excel с использованием свойств электронной таблицы и подключения операций с помощью программ, созданных на языке Visual Basic, которые могут выполнять более сложные операции. **Научная новизна.** Анализ безопасной эксплуатации биогазовых установок стран Европы позволяет применить

богатый опыт их безопасной эксплуатации на предприятиях Украины. **Практическая значимость.** Внедрение современных методов безаварийной работы и высокоэффективной программы BioGasAtex на биоэнергетических объектах Украины поможет решить проблемы, связанные с предотвращением взрыва при производстве биогаза.

Ключевые слова: биогазовые установки; безопасная эксплуатация; зоны риска; опасные производственные факторы; европейская программа BioGasAtex.

SAFE EXPLOITATION OF BIOGAS EQUIPMENT ON UKRAINIAN ENTERPRISES

GARMASH S. N.^{1*}, Ph.D. (Agr.), Assoc. Prof.
SEMENOV N. I.², M.S (Tech.)

³Department of Labour Protection and Life Safety, State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Gagarin avenue, 8, 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net; ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Gagarin avenue, 8, 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +380997658090, e-mail: nikita.semenov.1996@gmail.com

Purpose. The aim of work is an analysis of typical accidents and accidents on the biogas options of European countries, modern facilities of safety and study of the high-efficiency program BioGasAtex for introduction on the enterprises of Ukraine. **Methodology.** Study and analysis of world experience on safe exploitation of biogas options in the European countries. **Findings.** It is set that to the basic accidents with explosions the accidents related to storage of biogas belong on biogas enterprises, transporting of biogas and with the receipt of biogas in a process for anaerobic fermentation. The zones of risks on bioenergetic options (Zone 0, Zone 1, Zone 2) and their location are set. The basic methods of decline of risk are shown: non-admission of appearance of source of spunking and prevention of sources of methane and creation of explosive environment. Studied program BioGasAtex, by means of that it maybe to identify all critical processes that can be risky and to increase probability of origin of explosive atmosphere and development of explosion. The program created in Microsoft Excel with the use of properties of spreadsheet and connection of their operations by means of the programs created in language of Visual Basic. It can execute difficult operations. **Originality.** The analysis of safe exploitation of biogas options of European countries allows to apply rich experience of their safe exploitation on the enterprises of Ukraine. **Practical value.** Introduction of modern methods of accident-free work and high-efficiency program BioGasAtex on the biopower objects of Ukraine will help to work out the problems related to prevention of explosion at the production of biogas.

Keywords: biogas options, safe exploitation, risk zones, dangerous productive factors, European program BioGasAtex.

Вступ

Важливим питанням енергетичної безпеки за зростаючих світових цін на енергоресурси є використання біоенергії. Євросоюз – лідер у виробництві біогазу у світі. Біогазові установки використовуються для отримання енергії з відновлюваних джерел та впровадження безвідходних технологій переробки біомаси з метою виробництва метану та зменшення викидів парникових газів при максимальному використанні сировини. Загальна кількість біогазових установок у Європі перевищує 12 тис., з яких більш 9 тис. в Німеччині.

В наступний час в Україні знаходяться в експлуатації або на стадії будівництва понад 15 біогазових установок (БГУ). Почато будівництво найбільшої в Європі біогазової станції у Ладжині. За день станція перероблятиме в біогаз 800 т курячого посліду і отримувати 26 МВт/годину. Біогаз – горюча газова суміш, яка складається з 50 ÷ 70% метану, що утворюється з органічних сполук протягом мікробіологічного анаеробного процесу. До складу біогазу входять 30 ÷ 40% вуглекислого газу і невеликі кількості сірководню, аміаку, водню та оксиду вуглецю.

Західна Європа має багатий досвід по безпечній експлуатації біогазових установок, а також по виявленню факторів, що сприяють аварійності та негативного впливу на навколишнє середовище [1]. До основних небезпечних факторів, що виникають при експлуатації біогазових установок відносяться: пожежі і вибухи, токсичні речовини, патогенні мікроорганізми, шум, ураження електричним струмом. Проблемою аналізу ризиків в Європі займається Національний інститут промислової середовища і ризиків (INERIS) і Бюро аналізу ризиків та промислового забруднення (BARPI) у Франції і аналітична компанія ZEMA в Німеччині

Мета

Метою роботи є аналіз типових нещасних випадків і аварій на біогазових установках країн Європи, які накопичили багатий досвід їх експлуатації, та вивчення високоефективної програми BioGasAtex, впровадження якої на підприємствах України допоможе вирішити проблеми, пов'язані із запобіганням вибуху при виробництві біогазу.

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідження, пов'язане з серйозними аваріями на біогазових установках, демонструє зростаючу тенденцію цих подій в Європі.

Пожаро- і вибухобезпечність біогазових установок – одно з найважливіших напрямів в захисті людей і довкілля зважаючи на тяжкі наслідки цих чинників для людини. Метан, що становить від 50% до 75% біогазу, утворює вибухонебезпечні суміші в повітрі, і представляє небезпеку для вибуху. Нижня вибухова межа метану 4,4 об.%, а верхня - 16,5 об.%. [3]. За межами цього інтервалу метан не може загорітися при нормальних умовах довкілля. Незважаючи на захисні заходи, відомі випадки вибухів на установках. Найбільш тяжкі наслідки мала аварія біогазового резервуару в Туреччині в 1992 р., в результаті якого загинуло 32 і постраждали 64 людини. Затверджено Директиви ЄС для управління вибухонебезпечними середовищами (ATEX): Директиви 99/92/ ЄС («ATEX 137») про мінімальні вимоги по поліпшенню здоров'я і безпеки працівників при потенційній небезпеці вибухів; Директиви 94/9/ЄС («ATEX 95») про апроксимацію законів держав-членів ЄС відносно устаткування і захисних систем, призначених для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах [4].

Простори з ризиком вибуху класифікуються зонами відповідно до вірогідності виникнення вибухонебезпечної концентрації. Зона «0» включає простори з постійною, довгостроковою або великою частиною часу вибухонебезпечним середовищем, яке складається з суміші повітря і газів. Зона «1» охоплює простори, де можливе досягнення вибухонебезпечної концентрації. В умовах хорошої вентиляції, зона «1» розташовується на відстані 1 м від установки. Зона «2» - місця, де виникнення вибухонебезпечної концентрації маловірогідне, але якщо це відбувається, то тільки на короткий час. Зона «2» знаходиться в області 1-3 м від установки [5].

За роки експлуатації біогазових установок в Європі були аварійні ситуації: витік з резервуару для зберігання відходів; витік газу з місць зберігання і розподілу; аварійний викид сірководня; забруднення водних джерел в результаті аварійного скидання стічних вод; вихід з ладу устаткування пожежогасінні внаслідок переповнювання резервуарів із-за сильних злив; наявність в сировині для виробництва біогазу небезпечних речовин. У Німеччині більшість аварій сталися на майданчиках зберігання субстратів. Наслідками пожеж за межами біогазових установок стало утворення димових шлейфів від горіння відходів.

Безпека при створенні і експлуатації біогазових установок представлена ГОСТ Р 53790-2010 «Загальних технічних вимог до біогазових установок».[3]. Розділ «Вимоги безпеки» містить положення про захист персоналу від поразки електричним струмом, вимоги по пожежній безпеці, вимоги до комунікацій, до проведення робіт на установках, а також методи перевірки устаткування і необхідні засоби захисту,

які повинні знаходитися на установці. Розділ «Вимоги охорони довкілля і здоров'я персоналу» складається з чотирьох пунктів, де описані вимоги до складування відходів просто неба. В роботі достатньо освітлені причини зараження патогенами і їх токсична дія.

Результати

Аналіз аварій з вибухами дозволяє виділити наступні групи: аварії, пов'язані зі зберіганням біогазу, пов'язані з транспортуванням біогазу та пов'язані з отриманням біогазу в процесі для анаеробного зброджування. Основні способи зниження ризику – це недопущення появи джерела загоряння і запобігання витокам метану і створення вибухонебезпечного середовища.

Встановлено і узагальнені аварійні ситуації на біогазових установках: аварійний скид фільтрату; забруднення навколишнього середовища вихідним сировиною або продуктами; переповнення реактора; зупинка реакторів; переповнення піною; випуск метану (без займання); займання метану (в резервуарі); накопичення метану і займання в будівлі; виникнення пожежі в безпосередній близькості від установки; задуха або отруєння газами; викид сірководню; пожежа в секторі заводу; ураження електричним струмом; травмування рухомими частинами механізмів; падіння з висоти; опіки; зараження патогенними мікроорганізмами; аварійний скид субстрату; вплив на навколишнє середовище при утилізації забрудненого матеріалу.

До можливих зон ризику біогазових установок відносяться: ревізійний отвір в реакторі для мішалки; незворушне оглядове вікно; запобіжник гранично високого тиску; місце виведення повітря з газгольдера; місце подачі повітря в газгольдер.

Показано конкретні зони ризику на біоенергетичних установках. До зони «0» належать газгольдер, система подачі повітря до двигуна, камера згоряння і сам біореактор. Небезпечний стан біореактора створюється, коли повітря надходить всередину. При нормальних умовах експлуатації, невелике позитивне тиск перешкоджає проникненню повітря. У в повітряному збірнику двигуна внутрішнього згоряння, або в камері газового пальника вибухонебезпечна суміш існує постійно. Двигун і пальник повинні бути відокремлені від решти газової системи пламегасительним пристроєм в якості запобіжної системи.

В умовах хорошої вентиляції, зона «1» розташовується на відстані 1 м від частин установки, устаткування, з'єднань, оглядового скла, прокладок і отворів для обслуговування в біореакторі, але тільки за умови, що витіки метану технічно неможливі. До зони «1» відноситься простір навколо кінців вихлопних труб і газових факелів. Закриті простори або ями, в яких міститься сировина для біореактора, також належать до зони «1». Для закритих просторів, радіус небезпечної зони визначається по колу 4,5 м.

Відкриті ями, замкнуті простори, що не мають вентиляції, де встановлені труби для передачі газу, відносяться до зони «2». У кожній зоні необхідно провести заходи щодо маркування, профілактиці та забезпечення безпеки.

Для зменшення ризику пожежі, елементи біогазової установки повинні бути розділені на сектори протипожежного захисту. Відстані, які необхідно дотримуватися між секторами, залежать від обсягу резервуара і вибору матеріалу стін конструкцій. Пожежебезпечна відстань від наземних газгольдерів до інших елементів установки може змінюватися від 3 до 20 м [2]. Потенційними джерелами займання можуть стати електричні і механічні іскри, відкрите полум'я, гарячі поверхні і статична електрика.

Велику небезпеку для здоров'я людини і навколишнього середовища представляють токсичні речовини, що містяться в біогазі, в першу чергу сірководень і аміак. Небезпека сірководню полягає також у тому, що в певній концентрації він викликає параліч нюхових нервів, що може перешкодити його визначенням в повітрі і привести до смерті. Для зниження ризику отруєння сірководнем і аміаком необхідна вентиляційна установка і засоби контролю стану повітря. Також працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту. Крім того, виникає небезпека задухи в закритих мул заглиблених приміщеннях внаслідок витіснення кисню біогазом.

Хоча сам біогаз має відносно щільність близько $1,2 \text{ кг/м}^3$ і легший за повітря, він схильний до розширення. При цьому більш важкий вуглекислий газ збирається в приземному шарі, а легкий метан - піднімається вгору. З цієї причини в закритих приміщеннях завжди повинна бути забезпечена достатня вентиляція. При роботах в потенційно небезпечних зонах (реактори, шахти техобслуговування) необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

Для створення оптимальних та безпечних умов праці необхідно здійснення:

- моніторингу атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони та надавання отриманих результатів до Департаменту агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів;
- моніторингу стану ґрунтів в межах санітарно-захисної зони;
- системи моніторингових спостережень за складом підземних вод по периметру майданчика з врахуванням потоку підземних вод;
- замірів шуму на території санітарно-захисної зони.

Заслуговує уваги розроблена вченими Німеччини програма BioGasAtex, за допомогою якої можливо ідентифікувати всі критичні процеси, які можуть бути ризикованими і збільшувати ймовірність виникнення вибухонебезпечної атмосфери і розвитку вибуху. Програма створена в Microsoft Excel з використанням властивостей електронної таблиці і підключення їх операцій за допомогою програм, створе-

них на мові Visual Basic, які можуть виконувати більш складні операції [6].

Спочатку BioGasAtex запитує у користувача вхідні дані щодо біогазової установки, такі як: специфічні характеристики і джерело викидів (SE). Він автоматично розраховує і визначає обсяг вибухонебезпечних середовищ в районі (Vz), відстань ризику (dz), сталість вибухонебезпечних середовищ (t) і класифікацію областей ризику на заводі або об'єкті (Zone 0, Zone 1, Zone 2).

На основі статистичних даних встановлено можливі зони ризику: ревізійний отвір в реакторі для мішалки; незворушне оглядове вікно; запобіжник гранично високого тиску; виведення повітря з газгольдера; подача повітря в газгольдер.

Крім того, на деяких БГУ недовершена система пневмозадвіжок на барботажній станції, на яких є система зливу конденсату. Вона закрита "на батерфляй". В процесі експлуатації ущільнювачі можуть перестати виконувати свої функції і в разі відсутності конденсату в накопичувальній трубі біогаз може надходити в приміщення станції.

Також перспективно розробити систему керування охороною праці на біогазових установках згідно з міжнародним стандартом [7].

Наукова новизна і практична значимість

Проведено аналіз типових аварійних ситуацій на біогазових установках країн Європи і вивчений великий досвід щодо безпечної їх експлуатації. Показано переваги впровадження в Україні програми BioGasAtex, за допомогою якої можливо ідентифікувати всі критичні процеси, які можуть бути ризикованими і збільшувати ймовірність виникнення вибухонебезпечної атмосфери і розвитку вибуху.

Висновки

1. До основних аварій з вибухами на біогазових підприємствах відносяться аварії, пов'язані зі зберіганням біогазу, транспортуванням біогазу і з отриманням біогазу в процесі для анаеробного зброджування.
2. Встановлено зони ризику на біоенергетичних установках (Zone 0, Zone 1, Zone 2) та їх розташування.
3. Основні способи зниження ризику – це недопущення появи джерела загоряння і запобігання витокам метану і створення вибухонебезпечного середовища.
4. Використання програми BioGasAtex допоможе вирішити проблеми, пов'язані із запобіганням вибуху при виробництві біогазу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гармаш С.Н. Анаэробная биоконверсия органических отходов в биогаз // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 5. – С. 35-38.
2. ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – 50 с.
3. ГОСТ 53790 – 2010 Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам. – М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
4. Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні. Використання біомаси у муніципальному секторі. Практичний посібник. – Київ, 2016. – 168 с.
5. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие. – 2011. – 170 с.
6. BiogasAgriAteX, New Methods of Risk Assessment Explosion on Biogas Plants // Applied Mathematical Sciences - Vol. 8. – 2014. – no. 132. – P. 6599 – 6619.
7. OHSAS 18001:2007 «Occupational health and safety management systems – Requirements». – Міжнародний стандарт системи менеджменту гігієни і безпеки праці.

REFERENCES

1. Garmash S.N. (2013). *Anaerobnaya biokonversiya organicheskix otkodov v biogaz* [Anaerobic bioconversion of organic waste into biogas] in *Questions of chemistry and chemical technology, Dnipro, no. 5*, pp. 35-38.
2. . GOST 12.1.004-91. *Mezhhgosudarstvennyj standart. sistema standartov bezopasnosti truda. pozharnaya bezopasnost. obshhie trebovaniya* [Interstate standard. Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements].
3. GOST 53790–2010 *Energetika biootxodov. obshhie texnicheskie trebovaniya k biogazovym ustanovkam* [Energy waste. General technical requirements for biogas plants], Moscow, 2011, 16 s.
4. *Rozvitok ta komercializaciya bioenergetichnix texnologij u municipalnomu sektori v ukraini. vikoristannya biomasi u municipalnomu sektori. praktichnij posibnik* [Development and commercialization of bioenergy technologies in the municipal sector in Ukraine. Use of biomass in the municipal sector. Practical guide], Kiiv, 2016, 168 s.
5. Eder B., Shulc X. (2011). *Biogazovye ustanovki. prakticheskoe posobie* [Biogas plants. Practical guide], 170 p.
6. . BiogasAgriAteX, New Methods of Risk Assessment Explosion on Biogas Plants in *Applied Mathematical Sciences*, 2014, issue 132, vol. 8, pp. 6599-6619.
7. OHSAS 18001:2007. *Mizhnarodnij standart sistemi menezhmentu gigieni i bezpeki praci* [Occupational health and safety management systems – requirements].

Надійшла до редколегії 07.10.2018 р.