

УДК 536.24:620.92

**ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ РИЗИКІВ  
В РЕЗУЛЬТАТІ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ БІОГАЗОМ**

С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева

**СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО  
ГАЗА БИГАЗОМ**

С. И. Ткаченко, Н. В. Пишенина, Т. Ю. Румянцева

**THE DECREASE OF ANTHROPOGENIC RISK HAS BEEN ESTIMATED BY REPLACING  
THE NATURAL GAS TO BIOGAS**

S. Tkachenko, N. Pishenina, T. Rummyantseva

*Запропоновано залежність для визначення відносного зниження техногенних ризиків в процесі експлуатування біотехнологічної системи виробництва енергоносіїв із органічних відходів на прикладі біогазової установки. Проведено числові дослідження, в результаті яких оцінено зниження техногенних ризиків за рахунок заміщення природного газу біогазом. Для цього сформовані початкові дані на базі інформації про реальні конструктивні параметри основного теплотехнологічного обладнання і показники продуктивності роботи біогазових установок, споруджених та діючих у різних країнах світу. Показано як впливає збільшення потужності БГУ на величину відносного зниження техногенного ризику.*

**Ключові слова:** *зниження техногенних ризиків, біогазова установка, конструктивні параметри, продуктивність роботи біогазових установок.*

*Предложена зависимость для определения относительного снижения техногенных рисков в процессе эксплуатации биотехнологической системы получения энергоносителей из органических отходов на примере биогазовой установки. Проведено численные исследования, в результате которых выполнена оценка снижения техногенных рисков за счет замещения природного газа биогазом. Для этого сформированы начальные данные на базе реальной информации о конструктивных параметрах основного теплотехнологического оборудования систем и показателях продуктивности работы биогазовых установок, построенных и действующих в разных странах. Показано, как уменьшается величина техногенного риска с увеличением мощности БГУ.*

**Ключевые слова:** *снижение техногенных рисков, биогазовая установка, конструктивные параметры, производительность биогазовых установок.*

*The dependence for determining the relative decrease the anthropogenic risk in the process of exploiting biotechnological system of production of energy from organic waste has been proposed by the example of a biogas plant. As a result of the numeric research which has been conducted the decrease of anthropogenic risk has been estimated by replacing the natural gas to biogas. For this the initial data has been generated which are based on the information about the actual design parameters of the basic heat and technological equipment and indicators the productivity of biogas plants which are constructed and operating in different countries of the world. It has been shown how does the increasing of the power of biogas plant has an impact on the relative decrease of the anthropogenic risk.*

**Keywords:** *reduction of man-made risks, biogas plant design parameters, performance of biogas plants.*

**Вступ, постановка задачі**

Перспективним методом утилізації органічних відходів є анаеробна біоконверсія. Результатом утилізації є отримання екологічно чистих добрив, а також, виробництво енергоносіїв — біогазу та теплової і електричної енергії [1].

Розвиток біогазових технологій в Україні створює комбінований позитивний ефект, що включає як енергетичний, так і економічний та соціальний аспекти, а також сприяє відродженню родючості земель за рахунок використання екологічно чистих добрив, що утворюються у процесі анаеробної переробки органічних відходів. Енергетичний аспект полягає у тому, що біотехнологічна система виробництва енергоносіїв із органічних відходів – це стабільне джерело електричної та теплової енергії на місці утворення біогазу і на будь-якому об'єкті, що підключений до мережі природного газу, якщо подавати очищений біогаз у мережу. Відомо, що у випадку отримання біогазу з енергетичних гібридів кукурудзи, виробництво енергії нетто на 1 га орних земель вище від 2 (ТЕС на біогазі) до 4 (ТЕЦ на біогазі) разів в порівнянні з виробництвом біоетанолу чи біодизелю [2].

Екологічний ефект є у контрольованому процесі анаеробного бродіння, який усуває викиди метану та інших супутніх шкідливих речовин (аміак, сірководень та ін.) в навколишнє середовище. Цим самим ліквідуються сміттєзвалища, відстійники і звільнюються площі земель, які після необхідного очищення стануть придатними для сільськогосподарського чи іншого використання. Соціальний аспект полягає у створенні нових робочих місць за рахунок утворення ринкового ланцюга від постачальника біомаси до персоналу, що експлуатує енергетичні об'єкти [3].

Важливим фактором при виробництві та споживанні біогазу є те, що біомаса є  $\text{CO}_2$ -нейтральним паливом, оскільки при її спалюванні виділяється така ж кількість діоксиду вуглецю, яка була поглинута відповідною рослиною в процесі її росту. Таким чином, застосування біомаси для виробництва енергії не робить додаткового внеску до глобального парникового ефекту [4].

Отже, анаеробна технологія покращує екологічну ситуацію за рахунок утилізації відходів. Але будь-яке обладнання, і на етапі його створення і на етапі експлуатації потребує витрат матеріалів і енергії. За критерій енергоекологічної якості біотехнологічної системи виробництва енергоносіїв із органічних відходів (БСВЕ) пропонується приймати техногенне навантаження ( $T_n$ ) або зменшення техногенного навантаження ( $\Delta T_n$ ) на навколишнє середовище протягом життєвого циклу LC, яке визначає ступінь впливу техногенних факторів на довкілля (шкідливі викиди, скиди)

$$T_n(K_1 \cup K_2 \cup K_3); \quad \Delta T_n(\Delta K_1 \cup \Delta K_2 \cup \Delta K_3), \quad (1)$$

де  $K_1$  – вплив на людське здоров'я;  $K_2$  – вплив на якість екосистеми;  $K_3$  – вичерпання запасів мінералів і викопних палив. Життєвий цикл (ЖЦ) – період часу від заготівлі матеріалів для створення БСВЕ, до знищення системи після закінчення її експлуатації, етапи: I – видобуток копалин; II – виготовлення елементів та монтаж системи; III – експлуатація і ремонт системи; IV – утилізація обладнання [5]. Раніше було розглянуто оцінювання енергоефективності біогазових установок (БГУ), де за функцію якості системи приймалось  $T_n$  ЖЦ [6]. Числовими експериментами за величиною  $T_n$  або  $\Delta T_n$  встановлювалась доцільність теплоутилізації в системі БГУ [7] та ефективність застосування багатостадійних біореакторів у БГУ [8, 9].

Оцінити енергоекологічну ефективність об'єкта можна, застосувавши поняття екологічного (техногенного) ризику. Величину потенційного екологічного ризику можна визначити за формулою [10]

$$E = T/C + H, \quad (2)$$

де  $T$  – техногенне навантаження на природне середовище;  $C$  – потенціал стійкості природного середовища до техногенного навантаження;  $H$  – ступінь ураженості території несприятливими природно-антропогенними процесами. Але надійні (доступні) методи оцінювання величин  $C$  та  $H$  нам не відомі, тому використання залежності (2) потребує додаткової інформації щодо впливів на навколишнє середовище об'єктів та ступенів ураженості території несприятливими природно-антропогенними процесами, яка також обмежена.

Техногенні ризики, що пов'язані із використанням енергетичних та матеріальних природних ресурсів, викидами та іншими забрудненнями, визначаються в залежності від вибраного обладнання, робочих процесів, які відбуваються у обладнанні. Отже, **метою роботи** є оцінювання зниження техногенних ризиків у результаті заміщення природного газу біогазом.

**Основні дослідження**

Розглянемо біотехнологічну систему виробництва енергоносіїв із органічних відходів на прикладі біогазової установки. Аналіз [1, 11] показав, що метантенки діючих біогазових установок, споруджених у різних країнах світу, складаються із одного, двох та більше металевих резервуарів (табл. 1). Є можливість використовувати уже готові резервуари, але велика матеріаломісткість таких реакторів перешкоджає широкому впровадженню БГУ [8].

Фактичні показники виходу біогазу з одиниці об'єму метантенка за добу (табл. 1)  $q, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ добу})$ , свідчать про те, що застосування метантенків з двох і більше резервуарів приводить до збільшення  $q$  у 1,3...2 рази (табл. 1). При цьому матеріало- та металомісткість БГУ збільшується, що зумовлює збільшення ТН ЖЦ установки.

Утилізація відходів у БГУ дозволяє природний газ замінити біогазом. Але процес спорудження БГУ, його метало- та матеріаломісткість зумовлює ТН. Оскільки залежність (2) складно використати для оцінювання енергоекологічної ефективності БГУ, нами запропоновано визначати відносне зниження техногенного ризику за такою формулою

$$\Delta RT_H = \frac{\Delta T_H - T_{HБГУ}}{T_{HГ}}, \quad (3)$$

де  $\Delta T_H = T_{HГ} - T_{HБГ}$  – зниження техногенного навантаження за рахунок заміщення природного газу біогазом;  $T_{HГ}, T_{HБГ}$  – техногенне навантаження від спалювання природного газу і біогазу у котлі, відповідно;  $T_{HБГУ}$  – техногенне навантаження, пов'язане із виготовленням БГУ. В основу ідеї оцінювання відносного зниження техногенного ризику покладено те, що отриманий в процесі переробки біомаси біогаз є  $\text{CO}_2$ -нейтральним паливом. Тобто спалювання саме біогазу не несе шкідливого впливу на навколишнє середовище, а ТН на навколишнє середовище від БГУ в основному зумовлюється тільки її метало- та матеріаломісткістю.

Виконано числові дослідження з використанням реальних даних про БГУ (табл. 1). Складові залежності (3) розраховувались за методом “Eco-indicator 99” [5], який реалізований у програмному продукті SimaPro 7.3.3 [12]. Визначаючи  $T_{HБГУ}$ , у початкових даних для роботи SimaPro 7.3.3 враховано тільки види матеріалів для виготовлення основного теплотехнологічного обладнання БГУ та їх маси. Під обладнанням для обслуговування резервуарів розуміється додаткові площадки, сходи, дахи, навіси тощо (табл. 1). Масу допоміжного обладнання БГУ (табл. 1) (насоси, трубопроводи, запірна арматура та ін.), відповідно до попередніх досліджень [13], прийнята у розмірі 15 % від загальної маси резервуарів.

Таблиця 1

**Початкові дані для оцінювання ТН БГУ за методом “Eco-indicator 99” у програмному продукті SimaPro 7.3.3**

Загальний об'єм метантенку [1, 11], $\text{м}^3$	Компонування метантенку; об'єм одного резервуару [1, 11], $\text{м}^3$	Маса металу, кг			Вихід біогазу $q$ [1, 11], $\text{м}^3/(\text{м}^3 \text{ добу})$	Теплова потужність, що виробляється з біогазу, кВт
		одного резервуару [1, 11]	обладнання для обслуговування резервуару [1, 11]	допоміжного обладнання БГУ		
10	10	1350	350	203	1	2
25	25	2608	876	391	1,6	9
100	100	7187	3504	1078	1	23
170	170	9178	5957	1377	1,2	47
310	310	13102	4271	1965	1,2	86
10	5+5	885	175	266	4	9
120	60+60	4458	3504	1337	1,8	50
150	100+50	7187+5000	5256	1828	1,8	63
100	50+50	5000	3504	1500	4	93
200	100+100	7187	7008	2156	2	93
250	125+125	7898	8760	2369	2	116
150	50+50+25+25	50000+2608	5256	2282	3	104

Ресурс роботи БГУ від спорудження до утилізації обладнання становить у середньому 15 років [1, 5, 10]. Результати досліджень показали, що техногенне навантаження від спалювання природного газу  $T_{Нг}$  за цей період перевищує  $T_{НБГУ}$  у 2,5...8 разів (рис. 1). Також визначено вплив збільшення потужності БГУ на величину зниження відносного техногенного ризику (рис. 2).

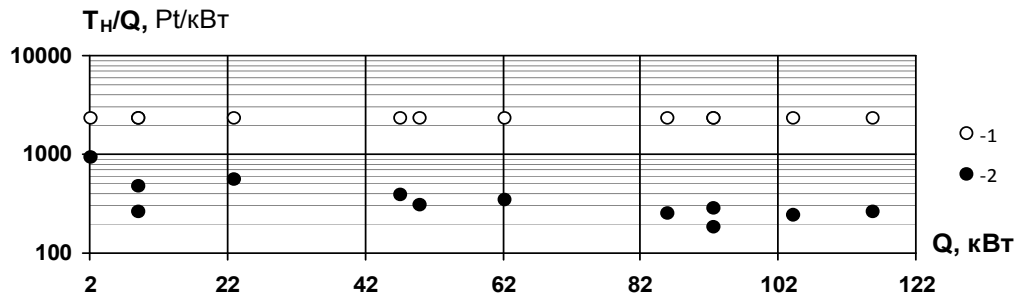


Рис. 1. Порівняння питомого ТН в процесі отримання теплової енергії використанням природного газу та біогазу :  
1 – ТН від спалювання природного газу у котлі; 2 – ТН маси металу БГУ

Позитивний екологічний ефект, що виникає за рахунок заміщення природного газу біогазом переважає техногенне навантаження, яке пов'язане із метало- і матеріаломісткістю БГУ (рис. 2). Так, для БГУ, тепловою потужністю від 80 кВт величина техногенних ризиків зменшується на 90 % (рис. 2).

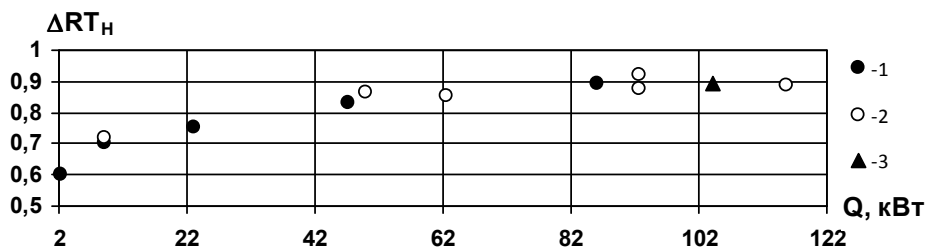


Рис. 2. Зміна відносного зниження техногенного ризику в залежності від потужності БГУ: компонування метантенків БГУ:  
1 – із одного, 2 – двох, 3 – чотирьох резервуарів

Таким чином, застосування запропонованої залежності (3) та інформації про реальні конструктивні параметри основного теплотехнологічного обладнання і показники продуктивності роботи біогазових установок, споруджених та діючих у різних країнах світу дозволили визначити рівень екологічного ефекту від заміщення природного газу біогазом.

### Висновки

- Використання запропонованої залежності для оцінювання техногенних ризиків біотехнологічної системи виробництва енергоносіїв із органічних відходів на прикладі біогазової установки дозволяє встановити енергоекологічну доцільність спорудження таких систем.
- Дослідження показали, що заміщення природного газу біогазом приводить до зменшення відносного значення техногенних ризиків. Встановлено, що ефект зменшення техногенних ризиків збільшується у 1,5 раза при зміні потужності біогазової установки від 2 до 120 кВт.

### Використана література

1. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: монографія / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця: Універсум – Вінниця, 2004. – 132 с.
2. State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy, Universitat Hohenheim. Germany, 2009.
3. Гелетуша Г. Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспективы // Г. Гелетуша, П. Кучерук, Матвеев Ю. Режим доступу: <http://www.uabio.org>
4. Гелетуша Г. Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні

- / Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Дроздова О. І. // Частина 2. Деревина Пром. Теплотехніка. – 2013. – № 4. – Т. 35. – С. 56-62.
5. Зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище енергозберігаючих систем утилізації органічних відходів: Звіт про НДР 82-Д-312 (заключний) / Вінницький національний технічний університет. – № ДР 0108U000667; Інв. № 0211U001040. – Вінниця, 2010. – 150 с.
  6. Ткаченко С. Й. Математичне моделювання робочих процесів в біогазовій установці / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 3. – С. 41-47. – ISSN 1997-9266.
  7. Степанов Д. В. Утилізація теплоти в схемі системи переробки органічних відходів / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар, Н. В. Пішеніна // Енергетика та електрифікація. – 2011. – № 4. – С. 68–71. – ISSN: 0424-9879.
  8. Ткаченко С. Й. Наземні біогазові установки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – Вінниця : Універсум–Вінниця, 2010. – № 2. – С. 147-152.
  9. Ткаченко С. Й. Аналіз техногенного навантаження біогазової установки на навколишнє середовище / С. Й. Ткаченко, Т. Ю. Румянцева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С. 131–135. – ISSN 1997-9266.10. Наукові основи мінімізації техногенних ризиків в системах виробництва енергоносіїв з органічних відходів : Звіт про НДР 82-Д-334 (проміжний) / Вінницький національний технічний університет. – № ДР 0111U001107; Інв. № 0211U001040. – Вінниця, 2011. – 108 с
  10. Ткаченко С. Й. Аналіз факторів зниження матеріаломісткості та підвищення енергоефективності біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 6. – С. 36–42. – ISSN 1997-9266.
  11. Програмне забезпечення SimaPro7. Режим доступу:  
[http://www.pre.nl/simapro/download\\_simapro.htm](http://www.pre.nl/simapro/download_simapro.htm).
  12. Ткаченко С. Й. Синтез природо- і енергозбережних систем вироблення енергоносіїв із органічних відходів / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Н. В. Пішеніна, А. О. Юзюк, С. В. Дишлюк // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – № 7. – С. 123-130.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Пішеніна Надія Володимирівна** – к.т.н., старший викладач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Румянцева Тетяна Юрївна** – аспірант кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Ткаченко Станіслав Йосифович** – д.т.н., професор, заведуючий кафедрою теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Пішеніна Надежда Владимировна** – к.т.н., старший преподаватель кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Румянцева Татьяна Юрьевна** – аспірант кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Tkachenko Stanislav** – Doctor of technical Sciences, Professor, Ukraine, Vinnitsa, Vinnitsa State Technical University, Department of power engineering.

**Pishenina Nadiya** – Ukraine, Vinnitsa, Vinnitsa State Technical University, Department of power engineering, senior Lecturer.

**Rumyantseva Tetyana** – Ukraine, Vinnitsa, Vinnitsa State Technical University of power engineering, aspirant.