

## ECONOMIC EFFICIENCY OF BIOCONVERSION OF PLANT RAW MATERIAL INTO BIOGAS

V. Havrysh

*Mykolaiv State Agrarian University*

V. Perebyinis

*Poltava University of Economics and Trade*

---

**Key words:**

*Bioconversion  
Plant raw material  
Biogas  
Biogas complex  
Economic efficiency*

---

**Article history:**

Received 19.09.2014  
Received in revised form  
13.10.2014  
Accepted 31.10.2014

---

**Corresponding author:**

V. Perebyinis

**E-mail:**

perebyinis@gmail.com

---

**ABSTRACT**

The aim of the article is to examine theoretical and methodological basis for determining feasibility of growing plant raw material for its subsequent bioconversion into energy resources and technological materials to maximize profits from business. The object of the study is the efficiency of conversion of plant raw material into biogas. Statistical, modeling and abstract logic methods have been used for the study. It has been shown that it is advisable to implement a strategy of diversification through the use of biogas systems for increasing economic viability of agricultural units. Uses of biogas have been considered. Economic and mathematical model to determine appropriateness for growing plant material for energy production by the criterion of gross profit has been worked out. It takes into account energy consumption for operation of biogas plants, need for motor fuels, electricity and heat as well as use of carbon dioxide. Simultaneous operation of power equipment that uses biogas is also taken into account. The algorithm of deciding on bioconversion of plant material into biogas has been proved.

---

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОКОНВЕРСІЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В БІОГАЗ

В.І. Гавриш

*Миколаївський національний аграрний університет*

В.І. Перебийніс

*Полтавський університет економіки і торгівлі*

У статті показано, що для підвищення економічної стійкості аграрних формувань доцільно здійснити стратегію диверсифікації шляхом використання біогазових комплексів. Розглянуто напрями використання біогазу. Розроблено економіко-математичну модель визначення доцільності вирощування рослинної сировини для енергетичних потреб за критерієм валового прибутку, яка враховує витрати енергетичних ресурсів для забезпечення роботи біогазової установки, потреби у моторному паливі, електричній і тепловій енергії, а також використання вуглекислого газу. Також враховується

одночасність роботи енергетичного обладнання, яке використовує біогаз. Обґрунтовано алгоритм прийняття рішення щодо біоконверсії рослинної сировини в біогаз.

**Ключові слова:** біоконверсія, рослинна сировина, біогаз, біогазовий комплекс, економічна ефективність.

**Постановка проблеми.** Біоконверсія, як спосіб перетворення рослинної сировини за допомогою живих організмів (бактерій і грибів) у біогаз набуває особливої актуальності для України, яка імпортує значну кількість природного газу за досить високою ціною. Як різновид біопалива одержаний у процесі мікробіологічного розкладання біомаси чи біовідходів біогаз після технологічної сепарації (з метою підвищення теплотворної здатності газу) може використовуватися на виробництві та житлово-комунальному господарстві. Біоконверсія органічних відходів (перетворення, наприклад, відходів тваринництва), біоконверсія продукції рослинництва передбачена державними програмами розвитку біотехнологій в низці країн світу.

Теоретичний і практичний інтерес мають дослідження економічної доцільності використання рослинної біосировини для виробництва біогазу.

**Огляд літератури.** У світі набутий значний досвід виробництва біогазу з рослинної сировини. Зокрема, в Австрії експлуатується понад 40 біогазових комплексів [6]. Дослідженнями, проведеними в країнах ЄС, встановлено, що найбільш ефективною сировиною для виробництва біогазу є силос кукурудзи [7]. Для виробництва біогазу сільськогосподарські культури можуть вирощуватись на деградованих землях [8].

Ґрунтовні наукові дослідження виробництва електричної енергії цим методом проведені у країнах ЄС [9—11]. Наукові праці вітчизняних вчених також присвячені забезпеченню сільського господарства енергетичними ресурсами, у тому числі біогазом [3]; ефективності та потенціалу виробництва біогазу [1, 2]; технічним та економічним аспектам його виробництва [4].

**Метою статті** є розгляд теоретико-методичних основ визначення доцільності вирощування рослинної сировини для подальшої її біоконверсії в енергетичні ресурси. Об'єктом дослідження є ефективність перетворення рослинної біосировини в біогаз. У процесі дослідження використовувались такі методи: статистичний, моделювання та абстрактно-логічний.

**Виклад основного матеріалу.** Виробництво будь-якої продукції економічно доцільне, якщо валовий дохід від неї має більше значення порівняно з альтернативними варіантами. Це стосується і вирощування біосировини для виробництва біогазу. Отримане газоподібне біопаливо може бути використано для генерації електричної енергії, когенерації, заміщення природного газу та моторних палив, комерційного використання вуглекислого газу, отриманого при збагаченні біогазу. Ринкову вартість мають і біодобрива.

Для біоенергетичних потреб переважно використовують подрібнену масу кукурудзи та сорго, які мають урожайність до 250 та 1000 ц/га, що дозволяє отримати з одного гектара до 6,25 та 13,0 тис. м<sup>3</sup> біогазу відповідно.

Схему матеріальних та енергетичних потоків біогазового комплексу (БК) наведено на рис. 1.

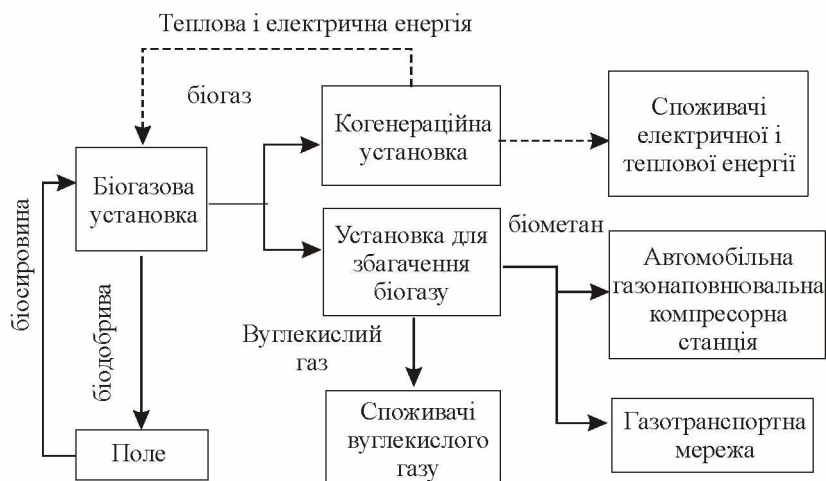


Рис. 1. Матеріальні і енергетичні потоки біогазового комплексу (БК)

Джерело: власна розробка

Максимальні значення валової вартості енергетичних ресурсів і додаткових продуктів, отриманих з одиниці площі у цінах грудня 2013 р., наведено на рис. 2. Для порівняння, у 2012 р. вартість рослинної продукції з одного гектара сягала 12—18 тис. грн, що менше за потенційний дохід від використання біогазу, отриманого з рослинної сировини.

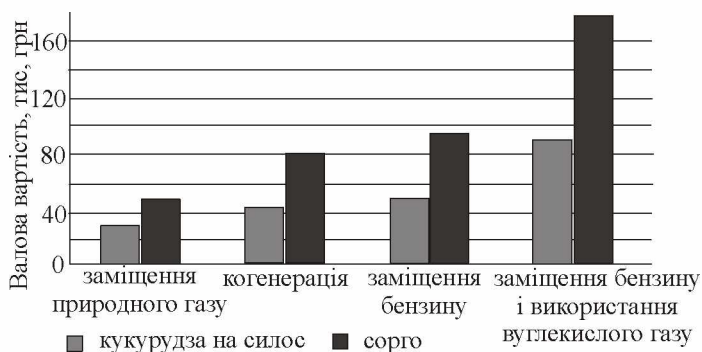


Рис. 2. Валовий дохід з одного гектара посівів від використання біогазу за варіантами використання біогазу

Джерело: власна розробка

Вирощування та використання в БК біосировини доцільно, якщо валовий прибуток від використання біогазу та побічних продуктів перевищує валовий прибуток від вирощування сільськогосподарських культур, тому як критерій визначення ефективності вирощування енергетичної біосировини пропонується використати відношення валових прибутків, від експлуатації БК та реалізації сільськогосподарських культур (К). Розглянемо цільову функцію запропонованого критерію у такому вигляді:

$$K = \frac{ВД-ВЕ}{ВПСГ} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де ВД — валовий дохід від використання біогазу та побічних продуктів, грн./га; ВЕ — витрати, пов'язані з експлуатацією БК, грн./га; ВПСГ — середній питомий валовий прибуток від вирощування сільськогосподарських культур, грн./га. Якщо  $K > 1$ , то вирощування біосировини для використання як субстрату є економічно доцільним.

Середній питомий валовий прибуток (в розрахунку на один гектар) від вирощування сільськогосподарських культур (ВПСГ) можна визначити за формулою:

$$ВПСГ = \frac{0,1 \cdot \sum_{i=1}^n [F_i \cdot U_i \cdot (Ц_i - C_i)]}{\sum_{i=1}^n F_i}, \text{ грн/га}, \quad (2)$$

де  $F_i$  — площа посівів  $i$ -ї сільськогосподарської культури, га;  $U_i$  — урожайність  $i$ -ї сільськогосподарської культури, ц/га;  $Ц_i$  — ринкова ціна  $i$ -ї сільськогосподарської культури, грн/т;  $C_i$  — собівартість вирощування  $i$ -ї сільськогосподарської культури, грн/т;  $n$  — кількість сільськогосподарських культур.

Обсяги біогазу з одиниці площі ( $V$ ) можна визначити за формулою:

$$V = \alpha \cdot U, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (3)$$

де  $\alpha$  — вихід біогазу з одного центнера енергетичної біосировини, м<sup>3</sup>/ц;  $U$  — урожайність енергетичної сільськогосподарської культури, ц/га.

Валовий прибуток від використання біосировини (ВД) в БК:

$$ВД = E_e + E_t + E_p + E_{vg} + E_{bd}, \quad (4)$$

де  $E_e$ ,  $E_t$ ,  $E_p$ ,  $E_{vg}$ ,  $E_{bd}$  — валовий дохід від виробництва електричної енергії, теплової енергії, заміщення моторного палива, використання вуглекислого газу та біодобрих, грн.

Розглянемо складові валового доходу від роботи БК. Валовий дохід від використання електричної енергії:

$$E_e = \begin{cases} \left( \frac{x_1 + x_2}{be_e} - We_o \right) \cdot Ce & \text{при } \frac{x_1 + x_2}{be_e} \leq We_o + We_f \\ We_f \cdot Ce + \left[ \frac{x_1 + x_2}{be_e} - We_o - We_f \right] \cdot Ce_o & \text{при } \frac{x_1 + x_2}{be_e} \geq We_o + We_f, \end{cases} \quad (5)$$

де  $be_e$  — питома витрата біогазу на виробництво електричної енергії, м<sup>3</sup>/(кВт·год);  $We_o$ ,  $We_f$  — річна потреба в електричній енергії біогазової установки (БГУ) та аграрного формування, кВт·год;  $Ce_o$  — оптова ціна на електричну енергію, грн/(кВт·год).

Валовий дохід від використання теплової енергії:

$$E_T = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{be_h} + \frac{x_3}{be_b} \leq Q_{e_o} \\ \left[ \left( \frac{x_1}{be_h} - Q_{e_o} \right) \cdot \frac{T_0}{365} - \frac{x_3}{be_b} \right] \cdot C_T & \text{при } Q_{e_o} \leq \frac{x_1}{be_h} + \frac{x_3}{be_b} < Q_{e_o} + Q_{e_f}, \end{cases} \quad (6)$$

де  $T_0$  — річна тривалість потреби підприємства в тепловій енергії, діб;  $be_h$ ,  $be_b$  — питома витрата біогазу на виробництво теплової енергії у когенераційній і котельній установці відповідно,  $\text{м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ ;  $Q_{e_o}$ ,  $Q_{e_f}$  — річна потреба в тепловій енергії БГУ й аграрного формування,  $\text{кВт}\cdot\text{год}$ ;  $C_T$  — ціна теплової енергії,  $\text{грн}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ .

Валовий дохід від заміщення дизельного палива біогазом (7):

$$E_P = \frac{x_4 \cdot Q_{\bar{o}}}{\rho \cdot Q_o} \cdot C_P, \quad (7)$$

де  $\rho$  — густина дизельного палива,  $\rho = 0,83 \text{ кг/л}$ ;  $Q_{\bar{o}}$ ,  $Q_o$  — нижча теплота згоряння біогазу та дизельного палива,  $\text{МДж}/\text{м}^3$  ( $\text{МДж}/\text{кг}$ );  $C_P$  — ціна дизельного палива,  $\text{грн}/\text{л}$ .

Дефіцит електричної й теплової енергії на забезпечення роботи БГУ визначається за формулами:

$$W = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{be} + \frac{x_2}{be} \geq Ne_o \\ We_o - \left( \frac{x_1}{be} + \frac{x_2}{be} \right) & \text{при } \frac{x_1}{be} + \frac{x_2}{be} < Ne_o, \end{cases} \quad (8)$$

$$Q = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{be_h} + \frac{x_3}{be_b} \geq Q_{e_o} \\ Q_{e_o} - \left( \frac{x_1}{be_h} + \frac{x_3}{be_b} \right) & \text{при } \frac{x_1}{be_h} + \frac{x_3}{be_b} < Q_{e_o}. \end{cases} \quad (9)$$

Якщо біогаз збагачується (для використання як моторного палива), то додатково можна отримати та використати вуглекислий газ. Валовий дохід від його використання:

$$E_{Vg} = \phi \cdot x_4 \cdot C_{Vg}, \quad (10)$$

де  $\phi$  — вміст вуглекислого газу в біогазі;  $C_{Vg}$  — ціна вуглекислого газу,  $\text{грн}/\text{м}^3$ .

Розглянемо обмеження параметрів цільової функції. Обмеження по річному обсягу використання біогазу (11):

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq V, \quad (11)$$

де  $V$  — річне виробництво біогазу,  $\text{м}^3$ .

Обсяги теплової енергії, що може бути вироблена, обмежується двома складовими. Перша — обмеження щодо її використання для потреб самої біогазової установки й аграрного формування:

$$\left( \frac{x_1 \cdot T_0}{365 \cdot be_h} + \frac{x_2}{be_b} \right) \leq Qe_0 + Qe_f. \quad (12)$$

Друге обмеження: добове використання біогазу не повинне перевищувати продуктивність БГУ:

$$V \geq x_1 + x_2 + x_3 \cdot \frac{365}{T_0}. \quad (13)$$

У даному випадку не враховано одночасність використання біогазу на забезпечення аграрного формування у тепловій енергії та заміщення біогазом дизельного палива, тому що вони не збігаються в часі.

Обмеження щодо заміщення дизельного палива, яке використовує аграрне формування, також має дві складові. Перша — це максимальна потреба в газоподібному паливі:

$$x_4 \leq (1 - \lambda) \cdot M_d \cdot \frac{Q_b}{Q_d}, \quad (14)$$

де  $\lambda$  — частка запальної дози дизельного палива при роботі дизеля в газодизельному циклі;  $M_d$  — річна потреба аграрного формування в дизельному паливі, кг.

Друга складова враховує тривалість та одночасність роботи технічних засобів з іншими споживачами біогазу й обмежується добовою продуктивністю БГУ:

$$V \geq x_1 + x_2 + x_4 \cdot \frac{365}{T_{\text{мп}}}, \quad (15)$$

де  $T_{\text{мп}}$  — річна тривалість використання технічних засобів, діб.

Питомі витрати (на один гектар) БК на вирощування біоенергетичної сировини та експлуатацію БК:

$$BE = U \cdot Ce + \frac{U}{M} \cdot \left\{ 3П + W \cdot Ц_e + Q \cdot Ц_t + Д + 0,01 \cdot \sum_{j=1}^m (a_j + a_{pj}) \cdot K_j \right\}, \quad (16)$$

де  $Ce$  — собівартість вирощування енергетичної біосировини, грн/ц;  $M$  — річна витрата субстрату БГУ, ц;  $a_j, a_{pj}$  — відрахування на реновацію, поточний і капітальний ремонт  $j$ -го виду обладнання;  $K_j$  — вартість  $j$ -го виду обладнання, грн;  $Ц_e, Ц_t$  — ціна електричної й теплової енергії, яку купує аграрне формування, грн/(кВт·год);  $3П$  — зарплата з нарахуваннями, грн.;  $Д$  — інші витрати (податкові зобов'язання тощо), грн.

Алгоритм прийняття рішення щодо будівництва біогазового комплексу на рослинній сировині має такий вигляд:

Крок 1. Визначення вихідних даних: площа сільськогосподарських угідь; структура посівів; динаміка урожайності сільськогосподарських культур та їх собівартості, ринкових цін; потреба аграрного формування в енергетичних ресурсах; потенційний ринок енергетичних ресурсів і побічних продуктів виробництва біогазу та його подальших трансформацій.

Крок 2. Визначення максимально припустимої площі земель під біоенергетичну культуру з урахуванням потреби аграрного формування в енергетичних ресурсах, ринкового потенціалу й агротехнологічних вимог.

Крок 3. Вибір БК, визначення оптимальних напрямів трансформації біогазу, підбір відповідного обладнання та визначення техніко-економічних показників.

Крок 4. Визначення значення критерію доцільності використання біоенергетичної культури для виробництва біогазу.

### Висновки

Дослідження показали, що вирощування енергетичної біосировини для виробництва біогазу може дати значно більший валовий дохід порівняно з вирощуванням традиційних сільськогосподарських культур для подальшої реалізації за ринковими цінами. Запропоновано методичні підходи визначення економічної доцільності зазначеного напрямку, якій полягає у порівнянні валових прибутків з урахуванням усіх видів додаткової продукції та напрямів використання біогазу як енергетичного ресурсу.

### Література

1. *Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні*. Ч. 2. Енергетичні культури, рідкі біопалива, біогаз / Г.Г. Гелетука, Т.А. Железна, М.М. Жовмір, [та ін.] // Пром. теплотехніка. — 2011. — Т. 33, № 1. — С. 57—64.

2. *Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні* / П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев, Т.В. Ходаківська [та ін.] // Пром. теплотехніка. — 2013. — Т. 35, № 1. — С. 107—113.

3. *Месель-Веселяк В.Я.* Формування самозабезпечуючих енергетичних систем у сільському господарстві / В.Я. Месель-Веселяк // Економіка АПК. — 2010. — № 12. — С. 31—37.

4. *Новітні технології біоконверсії: Монографія* / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетука, І.П. Григоруку, В.О. Дубровін та ін.]. — К.: АграрМедіяГруп, 2010. — 326 с.

5. *Delzeit R.* An Economic Assessment of Biogas Production and Land Use under the German Renewable Energy Source Act 2012 / Ruth Delzeit, Wolfgang Britz, and Peter Kreins. — No. 1767. — April 2012, update November 2012. — 26 p.

6. *Laaber M.* Development of an evaluation system for biogas plants / M. Laaber, R. Kirchmayr, R. Madler, R. Braun. 4th Int. Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, Denmark. 2005.

7. *Braun R.* Biogas from Energy Crop Digestion / Rudolf Braun, Peter Weiland, Arthur Wellinger. — IEA Bioenergy, 2010. — p. 19.

8. *Tilman D.* Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment / Tilman D.; R. Eich, P. and K. Nops, J. 2006. — Nature 441, P. 629—632.

9. *Vindiš P.* Evaluation of Energy Crops for Biogas Production with a Combination of Simulation Modeling and Dex-i Multicriteria Method / Peter Vindiš,

Denis Stajanko, Peter Berk, Miran Lakota // Pol. J. Environ. Stud. Vol. 21, No. 3 (2012), P. 763—770.

10. Weiland P. Impact of competition claims for food and energy on German biogas production / P. Weiland // Paper presented at the IEA Bio-energy Seminar, Ludlow, UK, April 17th, 2008.

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В БИОГАЗ**

**В.И. Гавриш**

*Николаевский национальный аграрный университет*

**В.И. Перебийнос**

*Полтавский университет экономики и торговли*

*В статье показано, что для повышения экономической устойчивости аграрных формирований целесообразно осуществлять стратегию диверсификации путем использования биогазовых комплексов. Рассмотрены направления использования биогаза. Разработана экономико-математическая модель определения целесообразности выращивания растительного сырья по критерию валовой прибыли, которая учитывает расходы энергетических ресурсов для обеспечения работы биогазовой установки, потребности в моторном топливе, электрической и тепловой энергии, а также использования углекислого газа. Также учитывается одновременность работы энергетического оборудования, которое использует биогаз. Обоснован алгоритм принятия решения по биоконверсии растительного сырья в биогаз.*

**Ключевые слова:** биоконверсия, растительное сырье, биогаз, биогазовый комплекс, экономическая эффективность.