

© 2017 г.

**Константин Павлов**

доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой  
Камского института гуманитарных и инженерных технологий, Россия  
(e-mail: kvp\_ruk@mail.ru)

**Валерий Гавриш**

доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой  
Николаевского национального аграрного университета (Украина)  
(e-mail: havryshvi@mnaeu.edu.ua)

**Виталий Ниценко**

доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры  
Одесского национального университета имени И. И. Мечникова (Украина)  
(e-mail: nicik11071981@yandex.ru)

## ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье рассмотрены направления повышения экономической устойчивости на основе использования биосырья для производства энергетических ресурсов. С точки зрения эффективного использования различных видов биотоплива (биоэтанол, рапсовое масло, метиловые эфиры растительных масел, биогаз или биометан) в расчете на единицу площади наиболее перспективным является биогаз и его производная – биометан. Производство газообразного биотоплива позволит замещать ископаемые невозобновляемые энергетические ресурсы и уменьшить себестоимость продукции аграрных предприятий. Предложен методический подход, позволяющий смоделировать биоэнергетический комплекс, функционирование которого позволит получить максимальный чистый приведенный доход.

**Ключевые слова:** биогазовые комплексы, биогаз, экономико-математическая оптимизационная модель, методический подход.

Одним из направлений повышения устойчивости экономики страны может стать выращивание биосырья для производства энергетических ресурсов. С точки зрения эффективного использования различных видов биотоплива (биоэтанол, рапсовое масло, метиловые эфиры растительных масел, биогаз или биометан) в расчете на единицу площади наиболее перспективным является биогаз и его производная – биометан [1]. Производство газообразного биотоплива позволит замещать ископаемые невозобновляемые энергетические ресурсы и уменьшить себестоимость продукции аграрных формирований. В биогазовых комплексах (БК) используются как отходы животноводства, так и растительное сырье.

С конца XX века использование биотоплива стало актуальным. Особое место среди его видов занимает биогаз. Больших успехов в его производстве и использовании достигли в Великобритании, ФРГ, Франции, Италии, Швеции, США, Китае. Нарращивание объемов использования

биогаза зависит от экономической целесообразности, которая достигается как за счет административных, так и экономических рычагов. В настоящее время в странах Евросоюза ежегодное производство биогаза достигает 4,97 млн тонн нефтяного эквивалента (тнэ). Для сравнения, общий объем производства других видов возобновляемого топлива составляет (в тнэ): биодизель – 2845,8; биоэтанол – 456,7 [17]. Страны СНГ имеют значительный потенциал производства биогаза. Он составляет для Беларуси 160 тысячах тонн условного топлива [9]; для Украины – 4022 [7]; для России – 14440 [19].

В настоящее время значительные объемы биогаза в мире производятся в интегрированных предприятиях, преимущественно в кооперативах [11; 17; 18]. Это объясняется преимуществами объединения, которые заключаются, прежде всего, в существенном уменьшении затрат на интегрированное производство и, как следствие, в повышении его конкурентоспособности.

Биогаз преимущественно используется для производства тепловой энергии, электрической энергии, а также как форма замещения природного газа и традиционных моторных топлив. Причем последнее направление в мире в целом имеет тенденцию к увеличению [1]. Производство и дальнейшее использование биогаза осуществляется в биогазовых комплексах (БК). Одно из определений гласит, что биогазовый комплекс – это комплекс оборудования, включающий в себя биогазовую установку (БГУ) и оборудование для дальнейшего преобразования биогаза и эфлюентамы в другие виды энергии, топлива и удобрений [8].

Для дальнейшего преобразования биогаза можно использовать следующие виды энергетического оборудования: когенерационную установку; газовый двигатель-генератор; котел; установку для обогащения биогаза для дальнейшего использования биометана. Опыт эксплуатации БК показывает, что часто проблемой децентрализованного производства электрической и тепловой энергии является полное использование энергетических ресурсов, в первую очередь, тепла. Так, в ФРГ менее 30% БК продают тепловую энергию потребителям, что отрицательно сказывается на экономических показателях их деятельности. Это является одной из причин увеличения использования биогаза в качестве моторного топлива [26]. По этой причине ряд биогазовых комплексов в России и в Украине не работают на полную мощность или большую часть времени простаивают.

Поэтому особое значение приобретает распределение биогаза для дальнейшего преобразования в различные виды энергии с целью достижения максимального экономического эффекта. Принятие обоснованного решения по оптимизации использования биогаза для достижения максимального экономического эффекта требует разработки соответствующей методики и экономико-математической модели.

Наиболее часто биогаз используют как топливо для когенерационных установок. Однако не всегда возможно или целесообразно использовать полученную электрическую и тепловую энергию. Обогащение биогаза может решить эту проблему. Полученный при этом биометан можно использовать на месте или продавать в существующую экономическую систему функционирования природного газа.

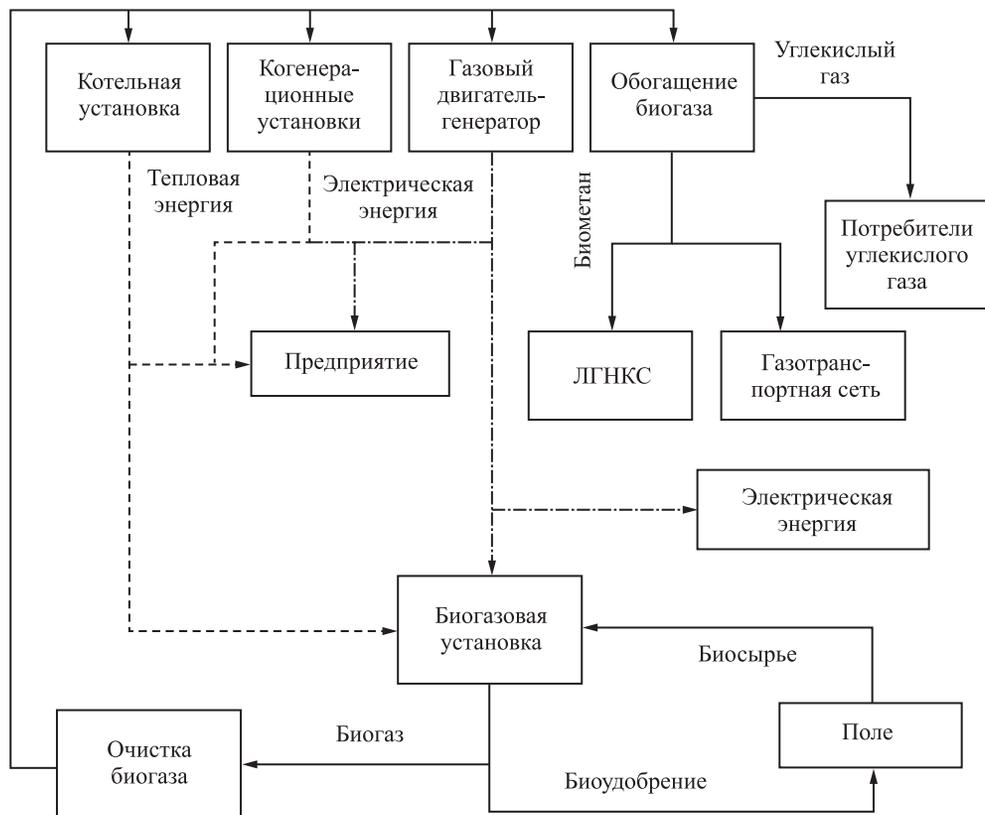
Будем использовать следующую физическую модель биогазового комплекса. Некоторое аграрное предприятие (или совокупность аграрных формирований определенного региона) может выработать достаточное количество субстрата. В процессе работы БК образуются биоудобрения и биогаз, который может быть преобразован в следующие виды энергетических ресурсов: электрическая энергия – за счет работы когенерационной установки и/или газового двигателя-генератора; тепловая энергия – за счет работы когенерационной установки и/или котла; биометан. Полученные энергетические ресурсы могут быть использованы для удовлетворения потребностей как самого предприятия, так и внешних потребителей.

Биогаз содержит до 45% углекислого газа, который в процессе обогащения отделяется. Его можно также использовать как товарную продукцию и соответственно получать дополнительный доход. Возможны следующие варианты использования углекислого газа: создание инертной газовой среды в хранилищах овощей и фруктов; в системе пожаротушения; для проведения сварочных работ и т.д. Схема энергетических и материальных потоков БК приведена на рисунке 1.

Исходя из вышеизложенного, существующее определение БК, с нашей точки зрения, следует дополнить и изложить в следующей редакции: биогазовый комплекс – это комплекс оборудования, включающий биогазовую установку и оборудование для последующего преобразования биогаза и эфлюентамы в другие виды энергии, топлива, удобрения и в технологические материалы.

Продажа избытка электроэнергии, которая производится с помощью биогаза, на энергорынке может оказаться экономически нецелесообразной из-за отсутствия «зеленого» тарифа [9]. Продажа тепловой энергии, полученной из биогаза, внешним потребителям тоже нецелесообразна из-за высоких затрат на ее транспортировку. Относительно обеспечения населения биогазом вместо природного газа следует заметить, что цена природного газа для населения ниже его себестоимости, поэтому использовать биогаз для этих целей не целесообразно.

Цена природного газа значительно превышает себестоимость биогаза. Он используется сельскохозяйственными предприятиями преимущественно для получения тепловой энергии. Поэтому в математической модели будем его учитывать в связи со стоимостью тепловой энергии. Поставка биогаза другим потребителям существующими газопроводами требует



**Рис. 1. Энергетические и материальные потоки биогазового комплекса**  
(авторская разработка)

его обогащения до уровня биометана. Однако в настоящее время транспортировка биометана существующими газопроводами законодательно не урегулирована. Поэтому будем рассматривать использование биогаза собственного производства только для удовлетворения (полностью или частичного) потребностей самого аграрного предприятия в энергетических ресурсах и для продажи внешним потребителям возможного избытка электроэнергии, биометана (или биометана в качестве моторного топлива) и углекислого газа.

Основными показателями инновационно-инвестиционных проектов являются индекс чистого приведенного дохода (*NPV*), индекс доходности (*PI*) и срок окупаемости инвестиций (*PBP*). Были выполнены расчеты по определению указанных величин для одного из реальных проектов. За базу сравнения был принят стандартный вариант биогазового комплекса в составе биогазовой и когенерационной установок. Результаты расчетов (для биогазового комплекса с годовой производительностью биогаза 600 тыс. м<sup>3</sup>) показывают, что эффективность использования одного и того

Таблица 1

## Сравнение вариантов использования биогаза

Показатель	Базовый вариант (БГУ с когенерационной установкой)	Замещение моторного топлива		Замещение моторного топлива и продажа углекислого газа	
		бензин	дизельное топливо	бензин	дизельное топливо
Индекс инвестиций	1	1,15625	1,15625	1,19375	1,19375
Индекс чистого приведенного дохода	1	1,11515	0,64212	2,08568	1,61264
Индекс доходности	1	0,96564	0,78223	1,31036	1,13411
Простой срок окупаемости инвестиций	1	0,9947	1,22791	0,72725	0,84026

Источник: авторская разработка.

же объема биогаза существенно зависит от направления его дальнейшего преобразования (таблица 1). Наилучшие показатели достигаются при преобразовании биогаза в биометан для замещения бензина и продажи по рыночным ценам углекислого газа. Поэтому перед субъектом хозяйственной деятельности возникает вопрос о том, как оптимально использовать имеющийся энергетический ресурс возобновляемого топлива.

В экономико-математической модели в качестве критерия предлагается принять чистый приведенный доход. Он составляет (за срок существования проекта) разницу между стоимостью биоудобрений, энергетических ресурсов и технологических материалов (биометан, углекислый газ, электрическая и тепловая энергия), полученных с помощью биогаза, и расходами на приобретение и эксплуатацию соответствующего энергетического оборудования (когенерационная установка, теплогенерирующее оборудование, модуль по обогащению биогаза, автомобильная газонаполнительная компрессорная станция и т.д.). Целью математического моделирования является оптимальное распределение биогаза на преобразование в различные виды энергетических ресурсов с целью достижения максимального значения чистого приведенного дохода.

Целевая функция имеет следующий вид:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{ВД - C}{(1+g)^i} - \left( I_0 + \sum_j \frac{I_{0j}}{(1+g)^{T_j}} \right) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $ВД$  – валовой доход от эксплуатации биогазового комплекса (использование электрической энергии, тепловой энергии, биометана в качестве моторного топлива, углекислого газа, биоудобрений и биометана), руб.;

$C$  – расходы, связанные с эксплуатацией биогазового комплекса, руб.;  $g$  – ставка дисконтирования;  $n$  – срок существования проекта, в годах;  $I_0$  – величина первоначальных инвестиций, руб.;  $I_{dj}$  – величина дополнительных инвестиций, руб.;  $T_j$  – периоды осуществления дополнительных инвестиций, в годах.

Дополнительные инвестиции осуществляются для замены энергетического оборудования, которое имеет ресурс меньше полного ресурса биогазовой установки (БГУ).

Далее мы будем использовать такие индексы для направлений использования биогаза: 1 – когенерационная установка; 2 – газовый двигатель-генератор; 3 – газовый котел; 4 – установка по обогащению биогаза.

Валовой доход от эксплуатации биогазового комплекса определяется следующим образом:

$$ВД = Ээ + Эт + Эн + Еуг + Ебу, \quad (2)$$

где  $Ээ$ ,  $Эт$ ,  $Эн$ ,  $Еуг$ ,  $Ебу$  – валовой доход от производства соответственно электрической энергии, тепловой энергии, замены моторного топлива, использования углекислого газа и биоудобрений, руб.

Расходы, связанные с эксплуатацией биогазового комплекса, определяются по формуле:

$$C = W \cdot Цэ + Q \cdot Цэ + ЭР + СС + Д, \quad (3)$$

где  $Цэ$  – цена электрической энергии, покупаемой компанией, руб./кВт-час;  $W$ ,  $Q$  – дефицит соответственно электрической и тепловой энергии, необходимой для обеспечения работы биогазового комплекса, кВт в год;  $ЭР$  – эксплуатационные расходы, связанные с эксплуатацией оборудования, руб.;  $СС$  – стоимость субстрата, руб.;  $Д$  – другие расходы (зарплата с начислениями, налоговые обязательства).

Рассмотрим составляющие валового дохода аграрного предприятия от замещения энергетических ресурсов в результате работы БК. Валовой доход от использования электрической энергии:

$$Ээ = \begin{cases} \left( \frac{x_1 + x_2}{b_{э_3}} - W_{э_0} \right) \cdot Цэ & \text{при } \frac{x_1 + x_2}{b_{э_3}} \leq W_{э_0} + W_{э_f} \\ W_{э_f} \cdot Цэ + \left[ \frac{x_1 + x_2}{b_{э_3}} - W_{э_0} - W_{э_f} \right] \cdot Цэ_0 & \text{при } \frac{x_1 + x_2}{b_{э_3}} \geq W_{э_0} + W_{э_f}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $b_{э_3}$  – удельный расход биогаза на производство электрической энергии, м<sup>3</sup>/кВт-час;  $W_{э_0}$ ,  $W_{э_f}$  – годовая потребность в электрической энергии соответственно биогазовой установки и аграрного предприятия, кВт в год;  $Цэ_0$  – оптовая цена на электрическую энергию.

Валовой доход от использования тепловой энергии:

$$\Delta m = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{b_{\Delta h}} + \frac{x_3}{b_{\Delta b}} \leq Q_{\Delta o} \\ \left[ \left( \frac{x_1}{b_{\Delta h}} - Q_{\Delta o} \right) \cdot \frac{T_0}{365} - \frac{x_3}{b_{\Delta b}} \right] \cdot C_{\Delta m} & \text{при } Q_{\Delta o} \leq \frac{x_1}{b_{\Delta h}} + \frac{x_3}{b_{\Delta b}} < Q_{\Delta o} + Q_{\Delta f}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $T_0$  – годовая продолжительность потребности предприятия в тепловой энергии, в сутках;  $b_{\Delta h}$ ,  $b_{\Delta b}$  – удельный расход биогаза на производство тепловой энергии соответственно в когенерационной и котельной установках, м<sup>3</sup>/(кВт в час);  $Q_{\Delta o}$ ,  $Q_{\Delta f}$  – годовая потребность в тепловой энергии соответственно БГУ и аграрного предприятия, кВт в час;  $C_{\Delta m}$  – цена тепловой энергии, руб./(кВт в час).

Валовой доход от замещения дизельного топлива биогазом составляет:

$$E_n = \frac{x_4 \cdot Q_{\Delta o}}{\rho \cdot Q_{\Delta d}} \cdot C_{\Delta n}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность дизельного топлива,  $\rho = 0,83$  кг/л;  $Q_{\Delta o}$ ,  $Q_{\Delta d}$  – низшая теплота сгорания соответственно биогаза и дизельного топлива, МДж/м<sup>3</sup> (МДж/кг);  $C_{\Delta d}$  – цена дизельного топлива, руб./л.

Дефицит электрической и тепловой энергии для обеспечения работы БГУ определяем по формулам:

$$W = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{b_{\Delta}} + \frac{x_2}{b_{\Delta}} \geq N_{\Delta o} \\ W_{\Delta o} - \left( \frac{x_1}{b_{\Delta}} + \frac{x_2}{b_{\Delta}} \right) & \text{при } \frac{x_1}{b_{\Delta}} + \frac{x_2}{b_{\Delta}} < N_{\Delta o}, \end{cases} \quad (7)$$

и

$$Q = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{b_{\Delta h}} + \frac{x_3}{b_{\Delta b}} \geq Q_{\Delta o} \\ Q_{\Delta o} - \left( \frac{x_1}{b_{\Delta h}} + \frac{x_3}{b_{\Delta b}} \right) & \text{при } \frac{x_1}{b_{\Delta h}} + \frac{x_3}{b_{\Delta b}} < Q_{\Delta o}. \end{cases} \quad (8)$$

Рассмотрим ограничения параметров целевой функции. Ограничения по годовому объему использования биогаза:

$$\sum_{i=1}^n x_{i_0} \leq V, \quad (9)$$

где  $V$  – годовое производство биогаза, м<sup>3</sup>.

Объем тепловой энергии, которая может быть произведена, ограничивается двумя составляющими. Первая – ограничение по ее использованию для нужд самой биогазовой установки и аграрного предприятия:

$$\left( \frac{x_1 \cdot T_0}{365 \cdot b_{\text{э}_h}} + \frac{x_2}{b_{\text{э}_b}} \right) \leq Q_{\text{э}_o} + Q_{\text{э}_f}. \quad (10)$$

Второе ограничение обусловлено тем, что суточное использование биогаза теплогенерирующими мощностями не должно превышать производительность БГУ. Это условие математически можно выразить следующим образом:

$$V \geq x_1 + x_2 + x_3 \cdot \frac{365}{T_0}. \quad (11)$$

Здесь мы не учитываем одновременность использования биогаза для обеспечения аграрного предприятия в тепловой энергии и для замещения биогаза дизельным топливом, так как они не совпадают во времени.

Ограничения по замещению дизельного топлива, которые использует аграрное предприятие, имеют тоже две составляющие. Первая – это максимальная потребность в газообразном топливе:

$$x_4 \leq M_{\text{д}} \cdot \frac{Q_{\text{б}}}{Q_{\text{д}}}, \quad (12)$$

где  $M_{\text{д}}$  – часть годовой потребности предприятия в моторном топливе, которое можно заменить биогазом (биометаном), кг.

Вторая учитывает продолжительность и одновременность работы мобильных энергетических средств с другими потребителями биогаза и ограничивается суточной производительностью БГУ:

$$V \geq x_1 + x_2 + x_4 \cdot \frac{365}{T_{\text{мтн}}}, \quad (13)$$

где  $T_{\text{мтн}}$  – годовая продолжительность использования сельскохозяйственной техники, в сутках.

Ограничение по объему использования углекислого газа:

$$V_{\text{уг}} \geq 0,01 \cdot \Psi \cdot x_4, \quad (14)$$

где  $\Psi$  – содержание углекислого газа в биогазе, в %;

$V_{\text{уг}}$  – рыночный потенциал потребления углекислого газа.

Стоимость углекислого газа, который может быть продан:

$$E_{\text{уг}} = \begin{cases} 0 & \text{при } V_{\text{уг}} = 0 \\ 0,01 \cdot \Psi \cdot x_4 \cdot C_{\text{уг}} & \text{при } V_{\text{уг}} \geq 0,01 \cdot \Psi \cdot x_4, \end{cases} \quad (15)$$

где  $C_{\text{уг}}$  – цена углекислого газа, руб./м<sup>3</sup>.

Таким образом, нами сформулирована целевая функция (1) и ограничения по использованию и преобразованию биогаза на различные виды энергии. Для решения данной задачи была разработана программа в системе Excel с использованием встроенной функции “Поиск решения”. Применение предложенной методики позволяет смоделировать биоэнергетический комплекс, функционирование которого позволит получить максимальный чистый приведенный доход.

Эффективность использования энергетических ресурсов является ключевым направлением для устойчивого развития аграрной сферы производства. Поэтому как теоретический, так и практический интерес представляет исследование экономической целесообразности использования растительного биосырья для производства возобновляемых источников энергии.

Мировой опыт показывает, что значительные объемы биогаза производятся из растительного сырья. Так, например, в Австрии эксплуатируется более 40 таких биогазовых комплексов. Они используют от 0,8 до 58,0 т субстрата в сутки (в среднем 43,2 т) [20]. Согласно исследованиям, проведенным в странах ЕС, наиболее эффективным сырьем для производства биогаза является силос кукурузы (выход до 18500 м<sup>3</sup>/га). Эта культура обладает и наибольшим коэффициентом энергетической эффективности – до 5,1 [12]. Более того, сельскохозяйственные культуры для производства биогаза могут выращиваться на деградированных землях [23].

Специалистами исследовалась эффективность производства электрической энергии из биогаза в зависимости от себестоимости силоса кукурузы и удельных инвестиций в биогазовый комплекс с газовым двигателем-генератором [26]. Основательные научные работы по этому направлению проведены в Германии и в ряде других стран ЕС. Они посвящены исследованиям эффективности производства электрической энергии биогазовыми комплексами с учетом «зеленого» тарифа [16]; мультикритериальному моделированию энергетических культур для производства биогаза [22; 25]; материальному, энергетическому и стоимостному балансу [14; 21; 24].

Однако остается недостаточно исследованным вопрос о методологических основах определения экономической эффективности энергетических сельскохозяйственных культур для использования их в биогазовых комплексах с учетом таких факторов, как использование побочных продуктов производства биогаза и биометана, а также выбор направления дальнейшей трансформации возобновляемого газообразного топлива по сравнению с возможными выгодами от выращивания других сельскохозяйственных культур. Поэтому актуальна разработка методических основ определения экономической эффективности выращивания

аграрными предприятиями биоэнергетического растительного сырья для производства биогаза с учетом его дальнейшей трансформации.

Производство любой продукции экономически целесообразно, если валовой доход от этого имеет большее значение по сравнению с альтернативными вариантами. Это касается и выращивания биосырья для производства биогаза с целью его дальнейших преобразований.

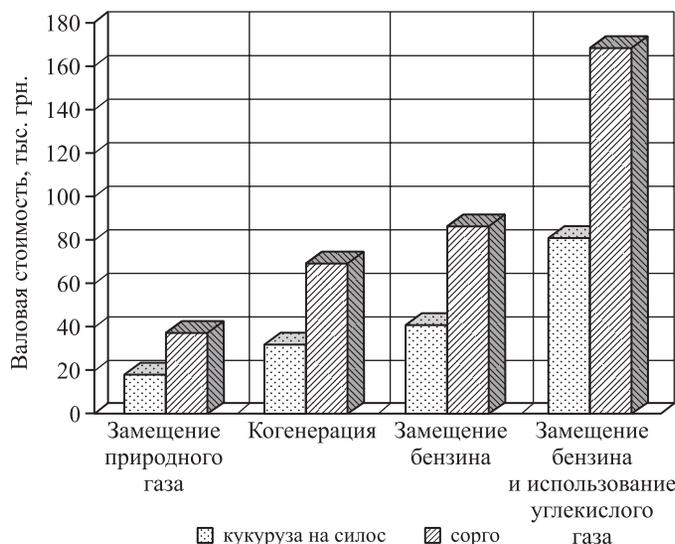
Далее проведем оценку получения возможного валового дохода от использования биогаза. Для удовлетворения биоэнергетических потребностей используют преимущественно силос кукурузы и сорго. Они имеют урожайность до 250 и 1000 ц/га, что позволяет получить с одного гектара до 6,25 и 13,0 тыс. м<sup>3</sup> биогаза соответственно. Полученное газообразное биотопливо может быть использовано для генерации электрической энергии, когенерации, замещения природного газа и моторного топлива (бензина и дизельного топлива), производства биометана и коммерческого использования углекислого газа, полученного при обогащении биогаза. Рыночную стоимость имеют и биоудобрения. Схема материальных и энергетических потоков приведена на рисунке 2.

Следует отметить, что за период с 2010 по 2012 г.г. растениеводство Украины было высокорентабельным. Однако в 2013 году произошел обвал цен на сельскохозяйственную продукцию. Так, например, цена кукурузы упала с 2200 до 1200 грн/т [3, с. 10]. Это негативно повлияло на уровень рентабельности аграрных предприятий. Поэтому рыночные условия требуют изменения подхода к стратегии диверсификации в сельскохозяйственном производстве.

Максимальные значения стоимости энергетических ресурсов и дополнительных продуктов, полученных с единицы площади в ценах декабря 2013 года, приведены на рисунке 2. В расчетах использовались следующие параметры: содержание углекислого газа в биометане – 40%; плотность дизельного топлива (среднее значение по ГОСТ 4840: 2007) – 832 кг/м<sup>3</sup>; плотность бензина повышенного качества (среднее значение по ГОСТ 4830: 2007) – 747 кг/м<sup>3</sup>.

Для сравнения, в 2012 году стоимость растительной продукции с одного гектара достигала 12–18 тыс. грн., что меньше потенциального дохода от использования биогаза, полученного из растительного сырья. При определении экономической эффективности технологии производства товарной продукции следует руководствоваться теорией предельной полезности и в качестве критерия использовать прибыль [5]. Поэтому выращивание и использование в БК биосырья целесообразно, если валовой доход от использования биогаза и побочных продуктов превышает валовой доход от выращивания сельскохозяйственных культур.

В качестве критерия определения эффективности выращивания энергетического биосырья предлагается использовать отношение валовых доходов соответственно от эксплуатации БК и реализации



**Рис. 2. Валовой доход с одного гектара от использования биогаза в зависимости от выбранного варианта его использования на Украине**

*Источник:* авторская разработка.

сельскохозяйственных культур. Учитывая возможность нескольких вариантов использования биогаза и дополнительных продуктов вследствие работы БК и обогащения биогаза целесообразно рассмотреть целевую функцию предложенного критерия в следующем виде:

$$K = \frac{ВД - PЭ}{ВПСХ} \rightarrow \max, \quad (16)$$

где  $ВД$  – валовой доход от использования биогаза и побочных продуктов, руб./га;  $PЭ$  – расходы, связанные с эксплуатацией БК, руб./га;  $ВПСХ$  – средняя удельная валовая прибыль от выращивания сельскохозяйственных культур в аграрном формировании, руб./га.

Если  $K > 1$ , то выращивание биосырья для использования в качестве субстрата экономически целесообразно.

Среднюю удельную валовую прибыль (в расчете на один гектар) от выращивания сельскохозяйственных культур аграрным предприятием можно определить по формуле:

$$ВПСХ = \frac{0,1 \cdot \sum_{i=1}^n [F_i \cdot U_i \cdot (C_i - C_i)]}{\sum_{i=1}^n F_i}, \text{ руб./га}, \quad (17)$$

где  $F_i$  – площадь посевов  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры, га;  $U_i$  – урожайность  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры, ц/га;  $Ц_i$  – рыночная цена  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры, руб./т;  $C_i$  – себестоимость выращивания  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры, руб./т;  $n$  – количество сельскохозяйственных культур.

Определим валовой доход от использования биоэнергетического сырья в биогазовом комплексе. Его величина зависит от объемов производства биогаза, количество которого можно определить по формуле:

$$V = \alpha \cdot U, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (18)$$

где  $\alpha$  – выход биогаза с одного центнера энергетического биосырья, м<sup>3</sup>/ц;  $U$  – урожайность энергетической сельскохозяйственной культуры, ц/га.

Валовой доход от эксплуатации БК определяется по формуле (2).

Рассмотрим удельные затраты на обеспечение работы БК. Расходы, связанные с эксплуатацией БК, состоят из расходов на обеспечение работы биогазовой установки (тепловая и электрическая энергия, стоимость субстрата, расходы на текущий и капитальный ремонт и т.п.). Удельные затраты (на гектар) БК для выращивания биоэнергетического сырья и эксплуатацию БК составляют:

$$PЭ = U \cdot Cэ + \frac{U}{M} \cdot \left\{ 3П + W \cdot Цэ + Q \cdot Цт + D + 0,01 \cdot \sum_{j=1}^m (a_j + a_{pj}) \cdot K_j \right\}, \quad (19)$$

где  $Cэ$  – себестоимость выращивания энергетической биосырья, руб./ц;  $M$  – годовой расход субстрата БГУ, в ц;  $a_j, a_{pj}$  – отчисления соответственно на реновацию, текущий и капитальный ремонт  $j$ -го вида оборудования;  $K_j$  – стоимость  $j$ -го вида оборудования, руб.;  $Цэ, Цт$  – цена соответственно электрической и тепловой энергии, покупаемой аграрным предприятием, руб./кВт в час;  $3П$  – зарплата с начислениями, руб.;  $D$  – другие расходы (налоговые обязательства и т.п.), руб.

Можно предложить следующий алгоритм принятия решения по строительству биогазового комплекса на растительном биосырье.

**Шаг 1.** Определение следующих исходных данных: площадь сельскохозяйственных угодий; структура посевов; динамика урожайности сельскохозяйственных культур и их себестоимости, рыночных цен; потребность аграрного предприятия в энергетических ресурсах; потенциальный рынок энергетических ресурсов и побочных продуктов вследствие производства биогаза и его дальнейших трансформаций.

**Шаг 2.** Определение максимально допустимой площади земель под биоэнергетическую культуру (в зависимости от ее вида и урожайности) с учетом потребности аграрного предприятия в энергетических ресурсах, рыночного потенциала (см. Шаг 1) и агротехнологических требований.

Шаг 3. Выбор биогазовой установки, определение выхода биогаза и биоудобрений, а также выбор технико-экономических показателей.

Шаг 4. Определение оптимальных направлений трансформации биогаза, подбор соответствующего оборудования и определение технико-экономических показателей.

Шаг 5. Определение значения критерия целесообразности использования конкретной биоэнергетической культуры для производства биогаза с целью его дальнейшей трансформации.

Общий вывод.

Ввод в эксплуатацию аграрным предприятием БК позволяет изменить индекс вертикальной интеграции. Он измеряется пропорцией денежных (материальных) потоков между структурными подразделениями фирмы к общему потоку [10; 13; 15]. Индекс вертикальной интеграции изменяется от 0 до 1.

В случае эксплуатации собственного БК аграрное предприятие полностью или частично может обеспечить собственные потребности в моторном топливе, электрической энергии, тепловой энергии, биоудобрениях. Это позволит уменьшить использование внешних потоков материальных ресурсов. Тогда значение индекса вертикальной интеграции можно определить по следующей формуле:

$$FVI = \frac{Ee + Em + En + E\delta d}{BMP}, \quad (20)$$

где  $BMP$  – стоимость материальных ресурсов, необходимых для обеспечения работы аграрного предприятия (горюче-смазочные материалы, электрическая и тепловая энергия, минеральные и органические удобрения, семенной материал, средства защиты растений и т.п.).

В условиях Украины использование БК позволяет нередко достичь значения индекса вертикальной интеграции, приблизительно равного 0,25. Это соответствует показателю доли энергетических ресурсов в себестоимости продукции растениеводства.

Таким образом, проведенные авторами исследования показали, что **выращивание энергетического биосырья для производства биогаза может дать значительно больший валовой доход по сравнению с выращиванием традиционных сельскохозяйственных культур для дальнейшей их реализации по рыночным ценам.** Предложенный нами методический подход к определению экономической целесообразности выращивания энергетического биосырья для производства биогаза на основе сравнения валовых прибылей с учетом всех видов дополнительной продукции и направлений использования биогаза в качестве энергетического ресурса может быть использован в различных регионах и странах мира.

## Литература

1. Болтунов В. В. Модернизация агропромышленного комплекса как одно из условий социально-экономического развития региона / Региональная экономика: теория и практика. 2015. № 9. С. 25–32.
2. Болохонов М. А. Продовольственный рынок и сельское хозяйство: проблемы взаимодействия и перспективы развития / Саратов: Саратовский источник, 2011.
3. Дрокин В. В., Журавлев А. С., Чистяков Ю. Ф. Влияние мирового агропродовольственного рынка на саморазвитие региональных аграрных систем / Экономика региона. 2011. № 4. С. 158–164.
4. Кучерук П. П. Перспективы виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні / Промышленная теплотехника. 2013. Т. 35. № 1. С. 107–113.
5. Мазнев Г. Є. Економічна ефективність інноваційних техніко-технологічних рішень в аграрному виробництві / Економіка АПК. 2010. № 6. С. 118–127.
6. Месель-Веселяк В. Я. Формування самозабезпечуючих енергетичних систем у сільському господарстві / Економіка АПК. 2010. № 12. С. 31–37.
7. Новітні технології біоконверсії: Монографія / [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха, І. П. Григорук та ін.]. К.: Аграр Медія Груп, 2010.
8. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов. Технический кодекс установившейся практики. ТКП 17.02–05–2011 (02120). Издание официальное. Минприроды Республики Беларусь. – Минск. 2011.
9. Риден Л. Производство биогаза в Республике Беларусь и Швеции / Baltic University Press, 2012.
10. Бхуйан С. Действительно ли Вертикальная интеграция производит Рыночную власть? / Журнал сельскохозяйственной и прикладной экономики. 2005. № 4. С. 263–276.
11. Брэмли Д. Сельскохозяйственный биогаз в Соединенных Штатах. Оценка Рынка / Университет Тафтса: Городская и экологическая политика, а также планирование. 2011. № 6.
12. Браун Р. Биогаз от энергетического вываривания урожая / Биоэнергия, 2010.
13. Пещеры Р. Е. Детерминанты вертикальной интеграции / Журнал экономического поведения и организации. 1988. № 9. С. 265–279.
14. Дэлгэрд Т. Модель для использования энергии ископаемых ресурсов в датском сельском хозяйстве / Экосистемы сельского хозяйства и окружающая среда. 2001. № 87 (1). С. 51–65.
15. Дэвис С. В. Новый индекс вертикальной интеграции: некоторые оценки для британского производства / Международный журнал промышленной организации. 1995. № 13. С. 151–177.
16. Делзейт Р. Экономическая оценка производства биогаза и землепользования в соответствии с немецким законом от 2012 года о возобновляемом источнике энергии / № 1767. Апрель 2012.
17. Эрикссон Ф. Потенциал биогаза как горючего в Европе: технологический и инновационный анализ систем получения биометана / Отчет 2007:6, ISSN: 1404–816. г. Гетеборг, Швеция, 2007.
18. Холм-Нильсен Й. Б. Датские централизованные заводы биогаза / Отдел биоэнергии, университет Южной Дании, май 2000.
19. Калюжный С. Энергетический потенциал анаэробного вываривания отходов, произведенных в России через биогаз и микробные технологии топливного элемента / Прикладные исследования. 2008. Издание 80. № 10. С. 215–224.
20. Лаабер М. Развитие системы оценки для заводов биогаза / 4-й Международный симпозиум «Анаэробное вываривание твердых отходов». Копенгаген, Дания. 2005.
21. Моллер Х. Б. Мэньюр и энергетические зерновые культуры для производства биогаза. Статус и барьеры. [Электронный ресурс] / Принят в качестве отчета для публикации скандинавскому совету министров. 2008. Режим доступа: [www.norden.org/mjs](http://www.norden.org/mjs).
22. Нэвикас К. Биогаз для сельского хозяйства: энергетическое преобразование и охрана окружающей среды. Международный симпозиум «Биогаз, технология и окружающая среда» / Университет Марибора, факультет сельского хозяйства, 2007. С. 25–29.
23. Тилмен Д. Биоразнообразие и стабильность экосистемы / Природа, 2006. С. 629–632.
24. Венендаал Р. Европейские энергетические зерновые культуры: синтез / Биомасса и биоэнергия. 1997. № 13 (3). С. 147–185.
25. Виндес П. Оценка энергетических зерновых культур для производства биогаза на основе моделирования. / Политик Дж. Энвайрон. Гвоздик. 2012. Издание 21. № 3. С. 763–770.
26. Вейлэнд Р. Результаты производства биогаза в Германии как источника энергии / Доклад, сделанный на Семинаре по проблемам использования биоэнергии. Ладлоу, Великобритания, 17-го апреля 2008 г.