

Кущев Л. А., д-р. техн. наук, проф.,  
Суслов Д. Ю., канд. техн. наук, ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С БАРБОТАЖНЫМ РЕАКТОРОМ

suslov1687@mail.ru

Произведен экономический расчет эффективности от внедрения биогазовой установки, оснащенной биореактором барботажного типа объемом 13000 м<sup>3</sup>. Годовой экономический эффект обусловлен экономией средств на минеральные удобрения и природный газ за счет получаемых биоудобрений и биогазового топлива, а также снижением загрязнения атмосферного воздуха и водоемов. Итоговый экономический эффект с учетом годовых эксплуатационных затрат составил 7 364 436 рублей, а срок окупаемости - 3,4 года.

**Ключевые слова:** биогаз, биогазовая установка, органические отходы, экономический расчет.

На современном этапе развития РФ большое внимание уделяется развитию агропромышленного комплекса (АПК) страны, который производит основные продукты, необходимые для жизнедеятельности человека. Однако, в связи с развитием сельского хозяйства, довольно остро встали проблемы утилизации органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий [1].

Эффективным решением данной проблемы, практикуемым во многих развитых странах мира, является применение биогазовых технологий [2-5].

Основными мировыми рынками биогазовых технологий являются Германия, США, Великобритания, Япония, Франция и Китай (рисун-

ок 1). Мировым лидером по исследованию и практическому применению биогазовых установок является Федеративная республика Германии, количество действующих установок составляет более 8000 штук [4]. По относительным показателям ведущее место в производстве и использовании биогаза принадлежит Дании, в которой эксплуатируются более 20 биогазовых заводов, а энергия биогаза составляет 18% в общем энергетическом балансе страны [5].

Несмотря на это использование биогазовых установок в нашей стране весьма ограничено, в том числе из-за отсутствия данных об эффективности внедрения биогазовых установок на сельскохозяйственных предприятиях РФ.

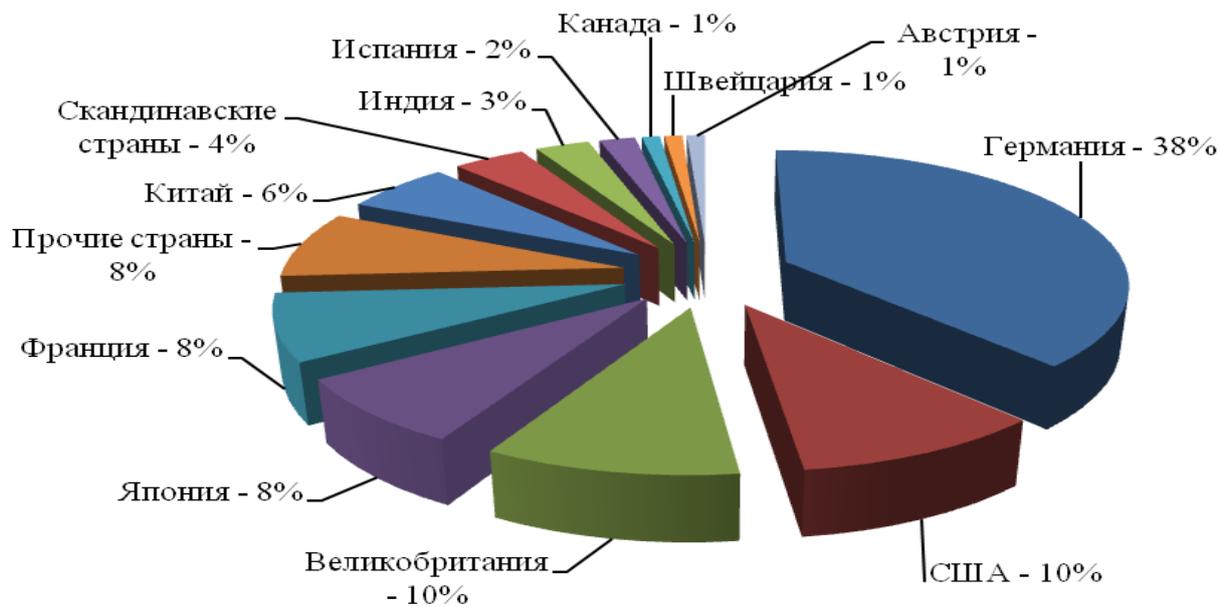


Рис. 1. Мировой рынок биогазовых установок

Рассчитаем экономический эффект от внедрения биогазовой установки на свиноводческом комплексе с поголовьем 14 000 голов, расположенном в Белгородской области.

Годовой экономический эффект от внедрения биогазовой установки определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 \quad (1)$$

$\mathcal{E}_1$  – годовой энергетический эффект, руб.;  $\mathcal{E}_2$  – годовой агробиохимический эффект, руб.;  $\mathcal{E}_3$  – годовой экологический эффект, руб.

Энергетический эффект обусловлен экономией природного газа за счет использования получаемого биогаза.

$$\mathcal{E}_1 = V_{год} \frac{Q_{нб}^p}{Q_{нпг}^p} C_{пг} \quad (2)$$

$V_{год}$  – годовой объем производимого товарного биогаза, м<sup>3</sup>/год;  $Q_{нб}^p$  – низшая рабочая теплота

$$Q_{нпг}^p = 357,97CH_4 + 636,39C_2H_6 + 912,72C_3H_8 + 1189,05C_4H_{10} + 1465,38C_5H_{12} + 590,34C_2H_4 + 858,29C_3H_6 + 1134,62C_4H_8 + 108,02H_2 + 126,44CO + 234,46H_2S \quad (4)$$

где 357,97; 636,39; 912,72; 1189,05; 1465,38; 590,34; 858,29; 1134,62; 108,02; 126,44; 234,46 – низшая теплота сгорания 1% сухой части соответственно метана, этана, пропана, бутана, пентана, этилена, пропилена, бутилена, водорода, оксида углерода и сероводорода в процентах по объему.

Свиноводческий комплекс снабжается природным газом от магистрального газопровода

$$Q_{нб}^p = 357,97 \cdot CH_4 + 108,02 \cdot H_2 + 234,46 \cdot H_2S \quad (5)$$

где 357,97; 108,02; 234,46 – низшая теплота сгорания 1% сухой части соответственно метана, водорода и сероводорода в процентах по объему;  $CH_4$  – объемное содержание метана в 1 м<sup>3</sup> биогаза;  $H_2$  – объемное содержание водорода в 1 м<sup>3</sup> биогаза;  $H_2S$  – объемное содержание сероводорода в 1 м<sup>3</sup> биогаза.

Таблица 1

Состав получаемого биогаза

Компонент	Объемное содержание, %
Метан ( $CH_4$ )	65,4
Водород ( $H_2$ )	1,2
Сероводород ( $H_2S$ )	0,9
Углекислый газ ( $CO_2$ )	31,3

Агробиохимический эффект обусловлен экономией средств на минеральные удобрения за счет биоудобрений, получаемых на биогазовой установке. Кроме того, эффективность биоудобрений выше минеральных, а прирост урожая составляет 16%.

Годовой агробиохимический эффект можно определить по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = C_{yd} \cdot M_{yd} + C_{yp} \cdot \Delta y_{yp} \quad (6)$$

$C_{yd}$  – цена единицы замещающего вида минерального удобрения, руб/кг;  $M_{yd}$  – количество удобрений, замещаемых органическими био-

сгорания биогаза, КДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{нб}^p$  – низшая рабочая теплота сгорания замещающего природного газа, используемого на свиноводческом комплексе, КДж/м<sup>3</sup>;  $C_{пг}$  – ценовой тариф на природный газ,  $C_{пг}=3,8$  руб/м<sup>3</sup>.

$$V_{год} = V_{общ} \cdot 365 \quad (3)$$

$V_{общ}$  – суточный выход биогаза, м<sup>3</sup>/сут.

Низшую теплоту сгорания природного газа определяем в зависимости от состава газа, поступающего на свиноводческий комплекс:

Шебелинка-Брянск-Курск-Белгород через ГРС и ГРШ. Согласно Паспорту качества газа за апрель 2013 г. среднемесячный показатель низшей теплоты сгорания составляет:  $Q_{нпг}^p = 33800$  КДж/м<sup>3</sup> [6].

Низшая теплота сгорания биогаза определяется по формуле (4), с учетом состава получаемого биогаза (таблица 1) [7]:

удобрениями, полученными на биореакторной установке, кг;  $C_{yp}$  – закупочная цена единицы выращиваемого урожая, руб/кг;  $\Delta y_{yp}$  – прирост урожая за счет применения органических биоудобрений, кг.

Экологический эффект достигается снижением загрязнения атмосферного воздуха и за счет исключения ущерба от загрязнения водоемов.

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_{возд} + \mathcal{E}_{вод} \quad (7)$$

$\mathcal{E}_{возд}$  – эффект от предотвращения ущерба от загрязнения воздуха, руб/год;  $\mathcal{E}_{вод}$  – эффект от предотвращения загрязнения прилегающих водоемов, руб/год.

Эффект от предотвращения загрязнения атмосферного воздуха определяется по выплатам за выбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные предельно-допустимые нормативы [8]:

$$\mathcal{E}_{возд} = \sum_{i=1}^n P_{ni} \quad (8)$$

$P_{ni}$  – плата за выбросы i-го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно-допустимые нормативы, руб;  $i$  – индекс загрязняющего вещества или группы загрязняющих

веществ;  $n$  – количество учитываемых групп загрязнений.

$$P_{ni} = C_{ni} \cdot M^i \quad (9)$$

$C_{ni}$  – ставка платы за выброс 1 тонны  $i$ -го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов, руб.;  $M_j^i$  – мощность выделения  $i$ -го загрязняющего вещества, т.

$$C_{ni} = H_{\text{бн}i} \cdot K_{\text{э}}^{\text{атм}} \cdot K_{\text{инд}} \quad (10)$$

$H_{\text{бн}i}$  – базовый норматив платы за выброс 1 тонны  $i$ -го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно-допустимые нормативы, руб.;  $K_{\text{э}}^{\text{атм}}$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в данном регионе. Белгородская область относится к экономическому Центрально-Черноземному району РФ,  $K_{\text{э}}^{\text{атм}} = 1,5$ ;  $K_{\text{инд}}$  – коэффициент индексации платы за негативное воздействие на окружающую среду. Устанавливается ежегодно законом о бюджете РФ,  $K = 1,93$  [9].

При расчетах мощности выделения загрязняющих веществ свиноводческих комплексов учитываются три основных вещества: аммиак, меркаптаны (по метилмеркаптану), сероводород [9].

Мощность выделения загрязняющих веществ от мест переработки и хранения навоза складывается из мощностей выделений за каждый период года:

$$M_{\text{наз}}^i = \sum_{j=1}^j M_j^i \quad (11)$$

Мощность выделения  $M_j^i$ , г/с, рассчитывается по формуле:

$$M_j^i = Y_j^i \cdot N \cdot q \quad (12)$$

или

$$M_j^i = K \cdot C_n \cdot Y_j^i \cdot N \cdot q, \quad (13)$$

где  $i$  – условное обозначение загрязняющего вещества;  $j$  – период года (теплый – Т, переходный – П, холодный – Х);  $K$  – коэффициент перехода от размерности (г/с) к (т/год), в формуле (13),  $K = 8,64 \times 10^{-2}$ ;  $C_n$  – количество суток в расчетном периоде;  $Y_j^i$  – величина удельного  $i$ -го загрязняющего вещества, установленная для мест переработки и хранения навоза животноводческого комплекса соответствующей мощности и периода года  $j$ ;  $N$  – количество животных, содержащихся на комплексе;  $q$  – средняя масса (в центнерах) животного на комплексе.

Эффект от предотвращения загрязнения прилегающих водоемов получают за счет того,

что в сброженном навозе содержание БПК<sub>5</sub> составляет 2,28 кг/м<sup>3</sup>, а в необработанном – 4,8 кг/м<sup>3</sup> [10].

$$\mathcal{E}_{\text{вод}} = 365 \cdot N \cdot q_n \cdot \beta \cdot M_{\text{БПК}} \cdot C_{\text{БПК}} \quad (14)$$

$N$  – количество животных, содержащихся на комплексе;  $q_n$  – суточный выход навоза от одного животного, т;  $\beta$  – коэффициент выноса загрязняющих веществ поверхностными стоками, 0,25;  $M_{\text{БПК}}$  – масса годового сброса БПК<sub>5</sub> в прилегающие водоемы, кг/т;  $C_{\text{БПК}}$  – ставка платы за выброс в поверхностные и подземные воды 1 тонны БПК в пределах допустимых нормативов, руб.;

$$C_{\text{БПК}} = H_{\text{бн}}^{\text{БПК}} \cdot K_{\text{э}}^{\text{вод}} \cdot K_{\text{инд}} \quad (15)$$

$H_{\text{бн}}^{\text{БПК}}$  – базовый норматив платы за выброс 1 тонны БПК в размерах, не превышающих предельно-допустимые нормативы,  $H_{\text{бн}}^{\text{БПК}} = 91$  руб.;  $K_{\text{э}}^{\text{вод}}$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости водных объектов в данном регионе, для Белгородской области  $K_{\text{э}}^{\text{вод}} = 1,15$  [11].

Капиталовложения ( $K_{\text{затр}}$ ) при внедрении биогазовой установки для переработки свиного навоза определяются:

$$K_{\text{затр}} = K_{\text{стр}} + K_{\text{пр}}, \quad (16)$$

$K_{\text{стр}}$  – капитальные вложения на строительство биогазовой установки, руб;  $K_{\text{пр}}$  – прочие единовременные затраты, руб.

Прямые годовые эксплуатационные затраты на работу биогазовой установки определяются:

$$\mathcal{E}_{\text{затр}} = \mathcal{Z}_{\text{ам}} + \mathcal{Z}_{\text{р}} + \mathcal{Z}_{\text{эл}} + \mathcal{Z}_{\text{зн}}, \quad (17)$$

$\mathcal{Z}_{\text{ам}}$  – амортизационные отчисления (0,15 от  $K$ ), руб;  $\mathcal{Z}_{\text{р}}$  – отчисления в ремонтный фонд (0,08 от  $K$ ), руб;  $\mathcal{Z}_{\text{эл}}$  – затраты на электроэнергию, руб/год;  $\mathcal{Z}_{\text{зн}}$  – затраты на заработную плату обслуживающему персоналу, руб/год.

Итоговый экономический эффект от внедрения разработанной биогазовой установки для газоснабжения свиноводческого комплекса определяем с учетом годовых эксплуатационных расходов:

$$\Gamma_{\text{эф}} = \mathcal{E}_{\text{с}} - \mathcal{E}_{\text{затр}}, \quad (18)$$

А срок окупаемости составит:

$$C_{\text{ок}} = K_{\text{затр}} / \Gamma_{\text{эф}} \quad (19)$$

Результаты расчета эффективности внедрения биогазовой установки с объемом биореактора 1300 м<sup>3</sup> приведены в таблице 2. Годовой экономический эффект составил 7 364 436 рублей, а срок окупаемости – 3,4 года.

Таблица 2

## Технико-экономические показатели

№ п/п	Наименование показателей	Условные обозначения	Значение
<b>1</b>	<b>Капитальные затраты</b>	$K_{затр}$	<b>25 075 000</b>
1.1	Капитальные вложения на строительство, руб	$K_{стр}$	25 000 000
1.2	Прочие единовременные затраты, руб	$K_{пр}$	75 000
<b>2</b>	<b>Эксплуатационные затраты</b>	$\mathcal{E}_{затр}$	<b>6 174 123</b>
2.1	Амортизационные отчисления (0,15 от К), руб	$\mathcal{E}_{ам}$	3 761 250
2.2	Отчисления в ремонтный фонд (0,08 от К), руб	$\mathcal{E}_р$	2 006 000
2.3	Затраты на электроэнергию, руб/год	$\mathcal{E}_{эл}$	118 873
2.4	Затраты на заработную плату обслуживающему персоналу, руб/год	$\mathcal{E}_{зн}$	288 000
<b>3</b>	<b>Энергетический эффект</b>	$\mathcal{E}_1$	<b>1 620 607</b>
<b>4</b>	<b>Агробихимический эффект</b>	$\mathcal{E}_2$	<b>11 792 200</b>
<b>5</b>	<b>Экологический эффект</b>	$\mathcal{E}_3$	<b>125 752</b>
<b>6</b>	<b>Годовой экономический эффект</b>	$\mathcal{E}_э$	<b>13 538 559</b>
<b>7</b>	<b>Итоговый эффект</b>	$\Gamma_{эф}$	<b>7 364 436</b>
<b>8</b>	<b>Срок окупаемости</b>	$C_{ок}$	<b>3,4</b>

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Suslov D.Yu., Kushchev L.A. Biogas technology – a contemporary method for processing organic wastes // Chemical and Petroleum Engineering. 2010. Т. 46. № 5. С. 308-311.
- Евстюничев М.А., Ильина Т.Н. Особенности сырьевой базы Белгородской области для производства биогаза // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 170-173.
- Шаптала В.Г., Шаптала В.В., Сулов Д.Ю. Вопросы моделирования и расчета барботажных реакторов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №5. С. 189-192.
- de Graaf D., Fendler R. Biogas production in German. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.spin-project.eu/downloads/SPIN-Saksabiogaasitaustapaberveebuar2011.pdf> (дата обращения: 28.04.2014.)
- Eriksson P., Olsson M. The potential of biogas as Vehicle Fuel in Europe – A technological innovation systems analysis of the emerging biomethane technology [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/43365.pdf> (дата обращения: 28.04.2014.)
- Паспорт качества газа магистрального газопровода Шебелинка-Брянск-Курск-Белгород, апрель 2011 г.
- Сулов Д.Ю. Экспериментальные исследования процесса получения биогаза в барботажных биореакторах // Концепт. 2013. Т. 4. № 34. С. 1471-1475.
- Афанасьев В.Н., Суханов П.А., Афанасьев А.В., Максимов Д.А., Перцович А.Ю. Практическое руководство для сельскохозяйственных предприятий по охране окружающей среды. Под ред. В.Н. Афанасьева. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2005. 272 с.
- Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу от животноводческих комплексов и звероферм. Санкт-Петербург. 1997.
- Чернышов А. А. Совершенствование биогазовых установок для производства удобрений из навоза КРС: дисс... канд. техн. наук. М. 2004. 118 с.
- Постановление Правительства Российской Федерации. О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления: утвержден постановлением Правительства от 12 июля 2003 г. №344.