

Павлов К.В.,

профессор, заведующий кафедрой экономики и управления, НОУ ВПО «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий», доктор экономических наук;

Гавриш В.И.,

профессор кафедры тракторов и сельскохозяйственных машин, эксплуатации и технического сервиса, Николаевский национальный аграрный университет, Украина, доктор экономических наук;

Ниценко В.С.,

доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита, Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Украина, доктор экономических наук

БИОГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ: АНАЛИЗ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ И СТРАНАХ МИРА

УДК 338.43:62.61

ПАВЛОВ К. В., ГАВРИШ В. И., НИЦЕНКО В. С. БИОГАЗ МАЖМУАЛАРИ: ТУРЛИ МИНТАҚАЛАРДА ВА МАМЛАКАТЛАРДА УЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ ТАҲЛИЛИ

Предмет. Мақолада энергетик ресурсларни ишлаб чиқариш учун био-хомашё етиштириш жараёнидан фойдаланиш асосида иқтисодий барқарорликни ошириш йўналишлари ўрганилган. Турли хил биоёқилғилардан (биоэтанол, рапс ёғи, ўсимлик ёғларининг метил эфирлари, биогаз ёки биометан) бир бирлик майдонга ҳисоблаб самарали фойдаланиш нуқтаи назаридан энг истиқболли биогаз ва ундан ишлаб чиқариладиган биометан ҳисобланади. Газсифат биоёқилғини ишлаб чиқариш қазиб олинadиган тикланмайдиган энергетик ресурсларни ўрнини босиш ва аграр бирлашмалар маҳсулотларининг таннархини пасайтириш имконини беради. Биогаз комплексларида чорвачилик чиқиндиларидан ва ўсимлик хомашёсидан фойдаланилади.

Мақсад. XX аср охирларидан биоёқилғидан фойдаланиш долзарб масала ҳисобланади. Унинг турлари ичида биогаз алоҳида ўрин эгаллайди. Уни ишлаб чиқариш ва ундан фойдаланишда ЕИ мамлакатларида, АҚШ ва Хитойда катта ютуқларга эришилган. Биогаздан фойдаланиш ҳажмларини ошириш маъмурий ва иқтисодий механизмлар эвазига эришиладиган иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқлигига боғлиқдир. Биогаз асосан иссиқлик энергияси, электр энергияси ишлаб чиқаришда, ҳамда табиий газ ва анъанавий мотор мойларининг ўрнини босишда фойдаланилади. Биогазни ишлаб чиқариш ва ундан фойдаланиш биогаз комплексларида амалга оширилади. Бунда биогазни кейинчалик энергиянинг бошқа турларига ўтказиш муҳим аҳамиятга эга. Яна шу нарса муҳимки,

асосланган қарор қилиниши тегишли методика ва иқтисодий-математик моделни ишлаб чиқишни талаб қилади. Шу сабабдан тадқиқотнинг муҳим вазифаси бўлиб максимал иқтисодий самарага эришиш учун биогаздан фойдаланиш жараёнини оптималлаштириш ҳисобланади.

Методология. Таҳлилнинг тизимли ва институционал турларидан, иқтисодий-статистик методдан, иқтисодиётнинг аграр соҳасида биогаздан фойдаланиш билан боғлиқ ишлаб чиқариш жараёнларини моделлаштиришнинг математик методларидан фойдаланилган.

Натижалар. Иқтисодий-математик оптимизацион модель ишлаб чиқилган бўлиб, унда мезон сифатида соф даромад кўрсаткичи намоён бўлади. Ундан биогазни турли энергия ресурсларига айлантириш мақсадида оптимал қайта тақсимотини моделлаштиришда фойдаланилади.

Хулоса. Биоэнергетик комплексни моделлаштириш имконини берувчи методик ёндашув таклиф қилинган бўлиб, унинг амал қилиши максимал даражада соф даромад олиш имконини беради. Энергетик ресурслардан, шу жумладан биогаздан ҳам, самарали фойдаланиш аграр соҳада ишлаб чиқаришнинг барқарор ривожланишида муҳим ҳисобланади.

Таянч иборалар: минтақалар, биогаз мажмуалари, биогаз, биометан, иқтисодий-математик оптимизацион модель, методик ёндашув.

ПАВЛОВ К. В., ГАВРИШ В. И., НИЦЕНКО В. С. БИОГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ: АНАЛИЗ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ И СТРАНАХ МИРА

Предмет. В статье рассмотрены направления повышения экономической устойчивости на основе использования процесса выращивания 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 формирований. В биогазовых комплексах используются как отходы животноводства, так и растительное сырье.

Цель. С конца XX века использование биотоплива стало актуальным. Особое место среди его видов занимает биогаз. Больших успехов в его производстве и использовании достигли в странах ЕС, в США и в Китае. Нарастание объемов использования биогаза зависит от экономической целесообразности, которая достигается как за счет административных, так и экономических рычагов. 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. Производство и дальнейшее использование биогаза осуществляется в биогазовых комплексах. При этом особое значение приобретает распределение биогаза для дальнейшего преобразования в различные виды энергии. Важно также, что принятие обоснованного решения требует разработки соответствующей методики и экономико-математической модели. Поэтому важнейшей задачей исследования является оптимизация процесса использования биогаза для достижения максимального экономического эффекта.

Методология. Используются системный и институциональный виды анализа, экономико-статистические методы, а также математические методы моделирования производственных процессов, связанный с использованием биогаза в аграрной сфере экономики.

Результаты. Разработана экономико-математическая оптимизационная модель, в которой в качестве критерия используется показатель чистого приведенного дохода

да. Она используется для моделирования оптимального распределения биогаза в целях преобразования его в различные виды энергетических ресурсов для достижения максимального значения чистого приведенного дохода.

Выводы. Предложен методический подход, позволяющий смоделировать биоэнергетический комплекс, функционирование которого позволит получить максимальный чистый приведенный доход. Эффективность использования энергетических ресурсов, в том числе биогаза, является ключевым направлением для устойчивого развития аграрной сферы производства во многих регионах различных государств мира.

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

PAVLOV K. V., GAVRISH V. I., NITSENKO V. S. BIOGAS COMPLEXES: ANALIS OF IMPLEMENTATION IN VARIOUS REGIONS AND THE COUNTRIES OF THE WORLD

Subject. In article the directions of economic stability on the basis of bioraw materials implementation in the process of cultivation for production of energy resources are considered. From the point of view of effective utilization of different types of biofuel (bioethanol, rape oil, methyl air of vegetable oils, biogas or biomethane) per unit of area the most perspective is biogas and its derivative – bio-methane. Production of gaseous biofuel will allow to replace fossil non-renewable energy resources and to reduce cost of products of agrarian formations. In biogas complexes are used both animal husbandry waste, and vegetable raw materials.

Purpose. Since the end of the XX century implementation of biofuel becomes actual. The special place among its types is taken by biogas. Great success in its production and implementation was reached in EU countries, in the USA and in China. Accumulation of volumes of biogas implementation depends on economic feasibility which is reached as the expense of administrative and economic leverages. Biogas is mainly used for production of thermal energy, electric energy, and also as a form of replacement of natural gas and traditional motor fuels. And the last direction in the world in general trends to increase. Production and further implementation of biogas is carried out in biogas complexes. Thus distribution of biogas for further transformation to different types of energy is of particular importance. It is important also that adoption of the reasonable decision demands development of the corresponding technique and economic-mathematical model. Therefore the major research problem is optimization of biogas implementation to achievement of the maximum economic effect.

Methodology. There are implemented systemic and institutional types of the analysis, economical and statistical methods and also mathematical methods of modeling of productions in the research.

The results. The economic-mathematical optimizing model, in which as criterion of the indicator of the net provided income is used. To optimum of biogas distribution in its transformation to different types of energy resources for achievement of the maximum value of the net provided income model is developed.

The conclusions. The methodical approach allowing to simulate a biopower complex which functioning will allow to gain the maximum net provided income is offered. Efficiency of energy resources utilization, including biogas, is the key direction for a sustainable development of the agrarian sphere of production in many regions of various states of the world.

Keywords: regions, biogas complexes, biogas, biomethane, economic-mathematical optimizing model, methodical approach.

Одним из направлений повышения экономической устойчивости может стать процесс выращивания 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 – биометан¹. 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. наращивание 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 миллионов тонн нефтяного эквивалента (тнэ). Для сравнения, общий объем производства других видов возобновляемого топлива составляет (в тнэ): биодизель – 2845,8; биоэтанол – 456,7². Страны СНГ имеют значительный потенциал производства биогаза. Для некоторых государств он составляет в тысячах тонн условного топлива следующие значения:

для Беларуси – 160³; для Украины – 4022⁴; для России – 14440⁵.

В настоящее время значительные объемы биогаза в мире производятся в интегрированных предприятиях, преимущественно, в кооперативах⁶. 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 за-

³ Риден Л. Производство биогаза в Республике Беларусь и Швеции. – Baltic University Press, 2012. –С. 39.

⁴ Новітні технології біоконверсії: Монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорук та ін.]. – К.: Аграр Медія Груп, 2010. –С. 326.

⁵ Калужный С. Энергетический потенциал анаэробного вываривания отходов, произведенных в России через биогаз и микробные технологии топливного элемента / «Прикладные исследования», 2008, изд-е 80, № 10. –С. 215-224.

⁶ Bramley, Julia. Agricultural biogas in the United States. A Market Assessment / Julia Bramley, Jeff Cheng-Hao Shih, Lum Fobi, Axum Teferra, Cammy Peterson, Rose Yuan Wang, Lydia Rainville. – Tufts University Urban & Environmental Policy & Planning. – Field Project Team #6. – Spring 2011. –192 p.; 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. –С. 137; Холм-Нильсен И.Б. Датские централизованные заводы биогаза / Отдел биоэнергии, университет Южной Дании, май 2000. –С. 28.

¹ Boltunov V.V. Modernization of agro-industrial complex as one of conditions of social and economic development of the region / Regional economy: theory and practice. 2015. No. 9. P. 25-32.

² Eriksson, Philip. The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe – A Technological Innovation Systems Analysis of the Emerging Bio-Methane Technology. Report # 2007:6, ISSN: 1404-8167 / Philip Eriksson, Martin Olsson. – Göteborg, Sweden, 2007. –137 p.

мещения природного газа и традиционных моторных топлив. Причем последнее направление в мире в целом имеет тенденцию к увеличению¹. 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 эфлюенты в другие виды энергии, топлива и удобрий².

Научная проблема эффективного производства и использования биогаза исследовалась как зарубежными, так и отечественными учеными. Научные работы посвящены самообеспечению сельского хозяйства энергетическими ресурсами, в том числе биогазом³; эффективности и потенциала производства биогаза⁴; техническим и экономическим аспектам производства биогаза⁵.

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 топлива⁶. 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 для достижения максимального экономического эффекта. Принятие обоснованного решения требует разработки соответствующей методики и экономико-математической модели. Предметом исследования является оптимизация использования биогаза для достижения максимального экономического эффекта. Теоретической и методической основой являются труды отечественных и зарубежных ученых по проблемам эффективного использования возобновляемых энергетических ресурсов.

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.

⁶ 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. P. 17.

¹ Eriksson, Philip. The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe – A Technological Innovation Systems Analysis of the Emerging Bio-Methane Technology. Report # 2007:6, ISSN: 1404-8167 / Philip Eriksson, Martin Olsson. – Göteborg, Sweden, 2007. –137 p.

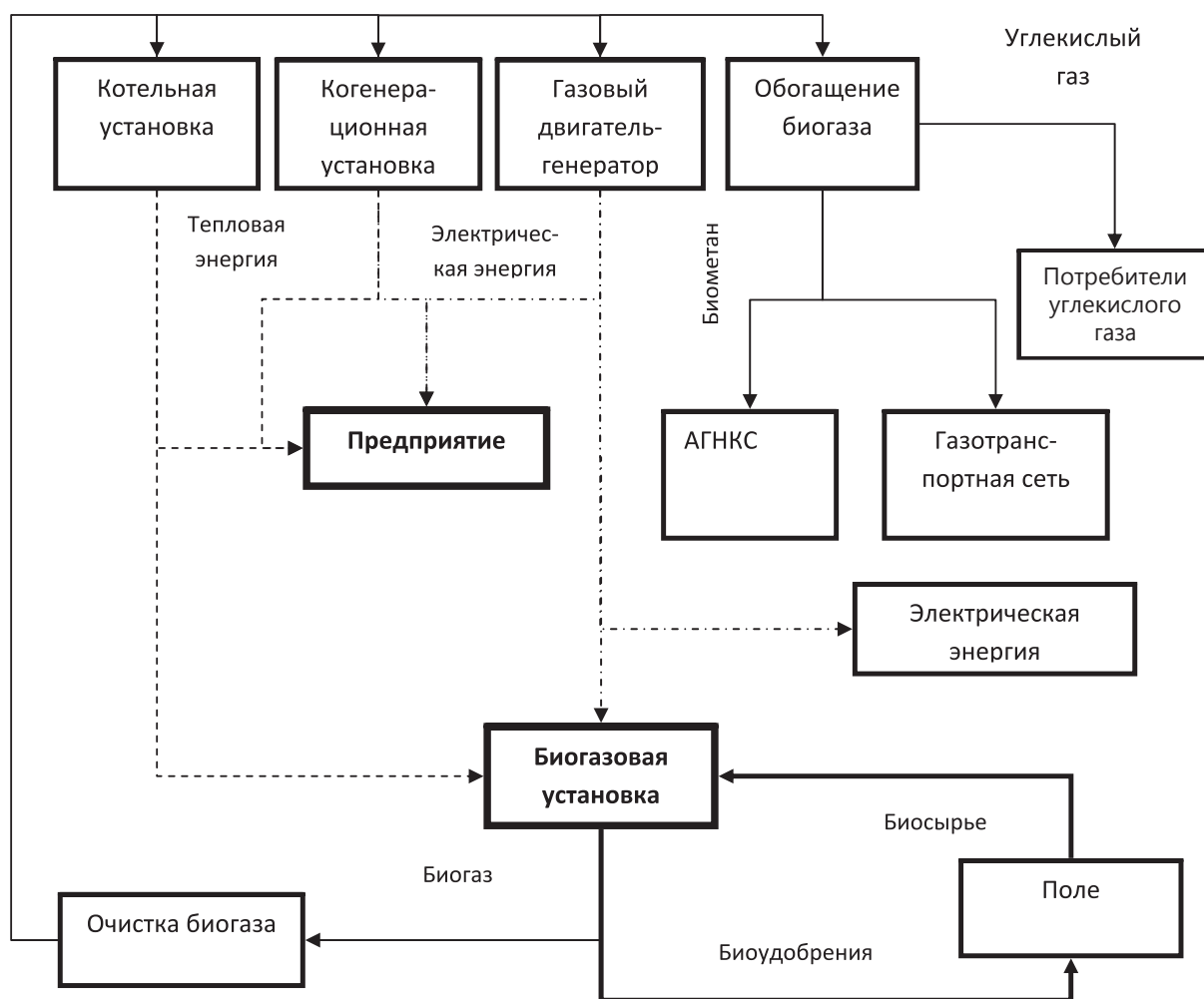
² Procedure of payments of economic efficiency of biogas complexes. The technical code of the established practice. ТКР 17.02-05-2011 (02120). Official publication. Ministry for Protection of the Environment and Natural Resources of Republic of Belarus. – Minsk. 2011. –26 p.

³ Mesel-Veselyak V. Ya. Formuvannya the samoza-bezpechuyuchikh the energetic of systems at selsky gospodarstva / Ekonomika of agrarian and industrial complex, 2010, № 12. –P. 31-37.

⁴ Болохонов М.А. Продовольственный рынок и сельское хозяйство: проблемы взаимодействия и перспективы развития. Саратов: Саратовский источник, 2011. –С. 110.; Кучерук П.П. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні. / «Промышленная теплотехника», 2013, т. 35, №1. –С. 107-113.

⁵ Новітні технології біоконверсії: Монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григоруку та ін.]. – К.: Аграр Медія Групу, 2010. –С. 326.

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



Будем использовать следующую физическую модель биогазового комплекса. Некоторое аграрное формирование (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 отделяется¹. 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, с нашей точки зрения, существующее определение

¹ Мазнев Г.Є. Економічна ефективність інноваційних техніко-технологічних рішень в аграрному виробництві. / «Економіка АПК», 2010, №6. – С.118-127.

Таблица 1. Сравнение вариантов использования биогаза¹

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

БК следует дополнить и изложить в следующей редакции: биогазовый комплекс – это комплекс оборудования, включающий в себя 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 энергорынок может оказаться экономически нецелесообразной из-за отсутствия «зеленого» тарифа². Продажа тепловой энергии внешним потребителям, полученной из биогаза, тоже нецелесообразна из-за высоких затрат на ее транспортировку. По обеспечению населения биогазом вместо природного газа следует заметить следующее. 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 формированиями, преимущественно для получения тепловой энергии. Поэтому в математической модели будем его учитывать из-за стоимости тепловой энергии. Поставка биогаза другим потребителям

существующими газопроводами требует его обогащения до уровня биометана. Однако в настоящее время транспортировка биометана существующими газопроводами во многих странах законодательно не урегулирована. Поэтому будем рассматривать использование биогаза собственного производства только для удовлетворения (полностью или частичного) потребностей самого аграрного формирования 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. м³) показывают, что эффективность использования одного и того же объема биогаза существенно зависит от направления его дальнейшего преобразования (табл. 1). Наилучшие показатели достигаются при преобразовании био-

¹ Авторская разработка.

² Rehden L. Production of biogas in Republic of Belarus and Sweden. – Baltic University Press, 2012. – P. 39.

газа 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:

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

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_{0j} – величина дополнительных инвестиций, руб.;

T_j – периоды осуществления дополнительных инвестиций, в годах.

Дополнительные инвестиции осуществляются для замены энергетического оборудования, которые имеют 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:

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

где Ээ, Эт, Еп, 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 в 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 формирования от замещения энергетических ресурсов в результате

работы БК. Валовой доход от использования электрической энергии:

$$Ээ = \begin{cases} \left(\frac{x_1 + x_2}{bэ_3} - Wэ_о \right) \cdot Цэ \\ Wэ_ф \cdot Цэ + \left[\frac{x_1 + x_2}{bэ_3} - Wэ_о - Wэ_ф \right] \cdot Цэ_о \end{cases}$$

$$\text{при } \frac{x_1 + x_2}{bэ_3} \leq Wэ_о + Wэ_ф$$

$$\text{при } \frac{x_1 + x_2}{bэ_3} \geq Wэ_о + Wэ_ф \quad (4)$$

где $bэ_3$ – удельный расход биогаза на производство электрической энергии, м³/(кВт·час);

$Wэ_о, Wэ_ф$ – годовая потребность в электрической энергии соответственно биогазовой установки и аграрного формирования, кВт в год;

$Цэ_о$ – оптовая цена на электрическую энергию.

Валовой доход от использования тепловой энергии:

$$Эт = \begin{cases} 0 \\ \left[\left(\frac{x_1}{bэ_н} - Qэ_о \right) \cdot \frac{T_0}{365} - \frac{x_3}{bэ_б} \right] \cdot Цт \end{cases}$$

$$\text{при } \frac{x_1}{bэ_н} + \frac{x_3}{bэ_б} \leq Qэ_о$$

$$\text{при } Qэ_о \leq \frac{x_1}{bэ_н} + \frac{x_3}{bэ_б} < Qэ_о + Qэ_ф \quad (5)$$

где T_0 – годовая продолжительность потребности предприятия в тепловой энергии, в сутках;

$bэ_н, bэ_б$ – удельный расход биогаза на производство тепловой энергии соответственно в когенерационной и котельной установках, м³/(кВт в час);

$Qэ_о, Qэ_ф$ – годовая потребность в тепловой энергии соответственно БГУ и аграрного формирования, кВт в час;

$Цт$ – цена тепловой энергии, руб./кВт в час).

Валовой доход от замещения дизельного топлива биогазом составляет:

$$En = \frac{x_4 \cdot Q_б}{\rho \cdot Q_д} \cdot Цн \quad (6)$$

где ρ – плотность дизельного топлива, $\rho=0,83$ кг/л;

$Q_б, Q_д$ – низшая теплота сгорания соответственно биогаза и дизельного топлива, МДж/м³ (МДж/кг);

$Цд$ – цена дизельного топлива, руб./л.

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

$$W = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{bэ} + \frac{x_2}{bэ} \geq Nэ_о \\ Wэ_о - \left(\frac{x_1}{bэ} + \frac{x_2}{bэ} \right) & \text{при } \frac{x_1}{bэ} + \frac{x_2}{bэ} < Nэ_о \end{cases} \quad (7)$$

$$Q = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{x_1}{bэ_н} + \frac{x_3}{bэ_б} \geq Qэ_о \\ Qэ_о - \left(\frac{x_1}{bэ_н} + \frac{x_3}{bэ_б} \right) & \text{при } \frac{x_1}{bэ_н} + \frac{x_3}{bэ_б} < Qэ_о \end{cases} \quad (8)$$

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

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

где V – годовое производство биогаза, м³.

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

$$\left(\frac{x_1 \cdot T_0}{365 \cdot bэ_н} + \frac{x_2}{bэ_б} \right) \leq Qэ_о + Qэ_ф \quad (10)$$

Второе ограничение обусловлено тем, что суточное использование биогаза те-

плогенерирующими 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 формирования в тепловой энергии и для замещения биогаза дизельным топливом, так как они не совпадают во времени.

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

$$x_4 \leq M_d \cdot \frac{Q_6}{Q_0} \quad (12)$$

где M_d – 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:

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

где $T_{\text{мтп}}$ – 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 Ψ – 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./м³.

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)¹. Согласно существующих исследований, проведенных в странах ЕС, наиболее эффективной сырьем для производства биогаза является силос кукурузы (выход до 18500 м³/га). Эта культура обладает и наибольшим коэффициентом энергетической эффективности – до 5,1². Более того, сель-

¹ Laaber, M. Development of an evaluation system for biogas plants / M. Laaber, R. Kirchmayr, R. Mandler, R. Braun. 4th Int. Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen, Denmark. 2005. –P. 221.

² Braun, Rudolf. Biogas from Energy Crop Digestion / Rudolf BRAUN, Peter WEILAND, Arthur WELLINGER. – IEA Bioenergy, 2010. –P. 19.

скохозяйственные культуры для производства биогаза могут выращиваться на деградированных землях¹.

Специалистами исследовалась эффективность производства электрической энергии из биогаза в зависимости от себестоимости силоса кукурузы и удельных инвестиций в биогазовый комплекс с газовым двигателем-генератором². 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» тарифа³; мультикритериальному моделированию энергетических культур для производства биогаза⁴; материальному, энергетическому и стоимостному балансу⁵.

¹ Тилмен Д. Биоразнообразие и стабильность экосистемы / Природа, 2006. - С. 629-632.

² 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. 17 p.

³ Делзейт Р. Экономическая оценка производства биогаза и землепользования в соответствии с немецким законом от 2012 года о возобновляемом источнике энергии / № 1767. – Апрель 2012. 26 с.

⁴ 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. Vindiš, Peter. Evaluation of Energy Crops for Biogas Production with a Combination of Simulation Modeling and DEX-i Multicriteria Method / Peter Vindiš, Denis Stajnko, Peter Berk, Miran Lakota // Pol. J. Environ. Stud. – 2012. – Vol. 21, No. 3. – P. 763-770.

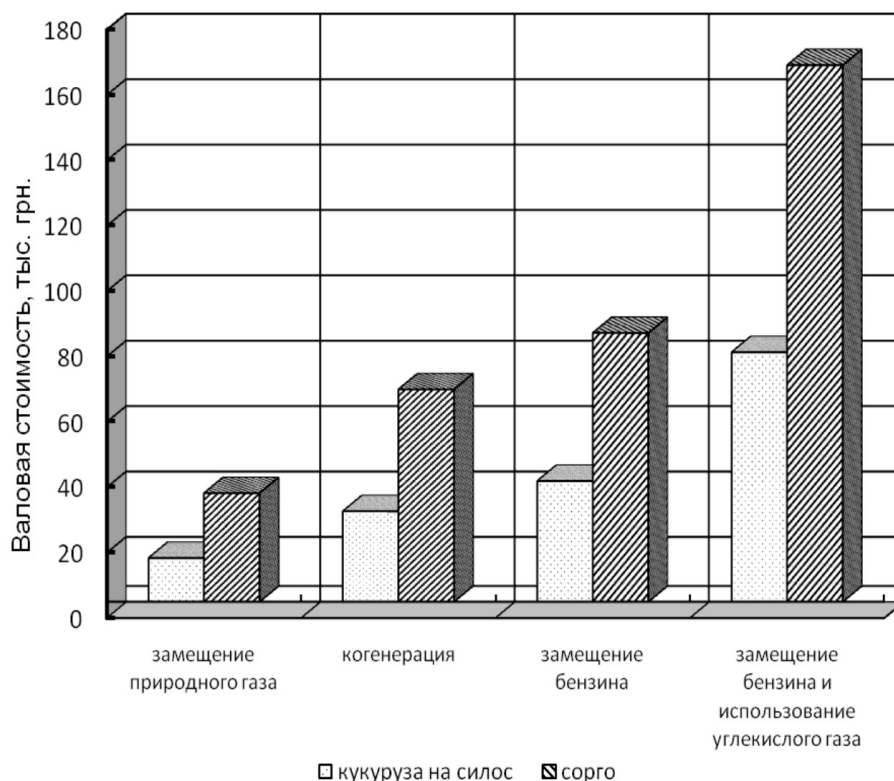
⁵ Дэлгэрд Т. Модель для использования энергии ископаемых ресурсов в датском сельском хозяйстве. // «Экосистемы сельского хозяйства и окружающая среда», 2001, № 87 (1). – С. 51-65; Moller H.B. Manure and energy crops for biogas production. Status and barriers. [Электронный ресурс] / H.B.Moller, A.M. Nielsen, M. Murto, K.Christensson, J. Rintala, M. Svensson, M. Seppälä, T.Paavola, I.Angelidaki; P.L. Kaparaju. // Accepted for publication by Nordic council of Ministers, MJS. 2008. – Режим доступа: www.norden.org.mjs. Venendaal, R. European energy crops: a synthesis / R.Venendaal, U. Orgensen, C.A. Foster // Biomass and Bioenergy. 1997, #13 (3). – P. 147-185.

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 учета выбранного направления дальнейшей трансформации возобновляемого газообразного топлива по сравнению с возможными выгодами от выращивания других сельскохозяйственных культур. Поэтому целесообразным является разработка методических основ определения экономической эффективности целесообразности выращивания аграрными формированиями 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 для дальнейших его преобразований.

Далее осуществим оценку получения возможного валового дохода от использования биогаза. Для удовлетворения биоэнергетических потребностей преимущественно используют силос кукурузы и сорго. Они имеют урожайность, соответственно, до 250 и 1000 ц/га, что позволяет получить с одного гектара до 6,25 и 13,0 тыс. м³ 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 материаль-

Рис. 2. Валовой доход с одного гектара от использования биогаза в зависимости от выбранного варианта его использования на Украине (авторская разработка)



ных и энергетических потоков приведена на рисунке 2.

Следует отметить, что за период с 2010 по 2012г.г. растениеводство Украины было высокорентабельным. Однако в 2013 году произошел обвал цен на сельскохозяйственную продукцию. Так, например, цена кукурузы упала с уровня 2200 до 1200 грн/т¹. Это негативно повлияло на уровень рентабельности аграрных формирований. Поэтому рыночные условия требуют изменения подхода к производству и применению 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/м³; плотность бензина повышенного качества (среднее значение по ГОСТ 4830: 2007) – 747 кг/м³.

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 прибыль². Поэтому выращивание и использование в БК биосырья целесообразно, если валовой доход от использования биогаза и побочных продуктов превышает валовой доход

¹ Дрокин В.В., Журавлев А.С., Чистяков Ю.Ф. Влияние мирового агропродовольственного рынка на саморазвитие региональных аграрных систем. / «Экономика региона», 2011, № 4. -С. 10.

² Мазнев Г.Є. Економічна ефективність інноваційних техніко-технологічних рішень в аграрному виробництві. / «Економіка АПК», 2010, №6. -С. 118-127.

от выращивания сельскохозяйственных культур.

В качестве критерия определения эффективности выращивания энергетического биосырья предлагается использовать отношение валовых доходов соответственно от эксплуатации БК и реализации сельскохозяйственных культур. Учитывая возможность нескольких вариантов использования биогаза и дополнительных продуктов в следствии работы БК и обогащения биогаза целесообразно рассмотреть целевую функцию предложенного критерия в следующем виде:

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

где ВД – валовой доход от использования биогаза и побочных продуктов, руб./га;

РЭ – 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 формированием можно определить по формуле:

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

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 α – выход биогаза с одного центнера энергетического биосырья, м³/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:

$$РЭ = U \cdot C_{\text{э}} + \frac{U}{M} \cdot \left\{ 3П + W \cdot Ц_{\text{э}} + Q \cdot Ц_{\text{т}} + D + 0,01 \cdot \sum_{j=1}^m (a_j + a_{pj}) K_j \right\} \quad (19)$$

где $C_{\text{э}}$ – 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.;

$Ц_{\text{э}}, Ц_{\text{т}}$ – цена соответственно электрической и тепловой энергии, покупаемой аграрным формированием, руб./кВт в час;

$3П$ – зарплата с начислениями, руб.;

Д – 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 формирования 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 формирования 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 формированием 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 формирование 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:

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

где *BMP* – стоимость материальных ресурсов, необходимых для обеспечения работы аграрного формирования (горючесмазочные 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. -С. 110.
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. Мазнєв 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. Гелетуша, І.П. Григорук та ін.]. – К.: Аграр Медія Груп, 2010. –С. 326.
8. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов. Технический кодекс установившейся практики. ТКП 17.02-05-2011 (02120). Издание официальное. Минприроды Республики Беларусь. – Минск. 2011. –С. 26.
9. Риден Л. Производство биогаза в Республике Беларусь и Швеции. – Baltic University Press, 2012. –С. 39.
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. –С. 192.
12. Браун Р. Биогаз от энергетического вываривания урожая. / «Биоэнергия», 2010. –С. 19.
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. -С. 26.
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. –С. 137.
18. Холм-Нильсен Й. Б. Датские централизованные заводы биогаза. / Отдел биоэнергии, университет Южной Дании, май 2000. –С. 28.

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. -С. 221.
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.
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. Энвирон. 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. -С. 17.

References

1. Boltunov V. V. Modernization of agro-industrial complex as one of conditions of social and economic development of the region / *Regional economy: theory and practice*. 2015. No. 9. P. 25-32.
2. Bolokhonov M. A. Food market and rural economy: problems of interaction and prospect of development. Saratov: Saratov source, 2011. 110 p.
3. Drokin V. V., Zhuravlev A. S., Chistyakov Yu.F. Influence of the world agrofood market on self-development of regional agrarian systems / *Region economy*. 2011. No. 4. P. 158-164.
4. Kucheruk P.P. Perspektivi of a virobnitstv to ogaz z sum_shy the gnoyovikh vidhodiv a tvarinnitstva that roslinno i sirovin in Ukrain / *Pry. Teplotekhnika*. – 2013. – Т. 35. – No. 1. – P. 107-113.
5. Maznev G. E. Ekonomichna efektivnost the innovatsy the tekhnolog reshenyi in agrarian proizvodstv / *Ekonomika of agrarian and industrial complex*. – 2010. – No. 6. – P. 118-127.
6. Mesel-Veselyak V. Ya. Formuvannya the samozabezpechuyuchikh the energetic of systems at selsky gospodarstva / *Ekonomika of agrarian and industrial complex*. – 2010. – No. 12. – P. 31-37.

7. New technologist biokonversia: Monografy / Ya.B. Blum, G.G. Geletukh, I. P. Grigoruk, and other. – K.: Agrar Mediya Group, 2010. – 326 p.
8. Procedure of payments of economic efficiency of biogas complexes. The technical code of the established practice. ТКР 17.02-05-2011 (02120). Official publication. Ministry for Protection of the Environment and Natural Resources of Republic of Belarus. – Minsk. 2011. – 26 p.
9. Rehden L. Production of biogas in Republic of Belarus and Sweden. – Baltic University Press, 2012. – 39 p.
10. Bhuyan, S. Does Vertical Integration Effect Market Power? Evidence from U.S. Food Manufacturing Industries / S. Bhuyan // Journal of Agricultural and Applied Economics. – 2005. – April. – P. 263-276.
11. Bramley, Julia. Agricultural biogas in the United States. A Market Assessment / Julia Bramley, Jeff Cheng-Hao Shih, Lum Fobi, Axum Teferra, Cammy Peterson, Rose Yuan Wang, Lydia Rainville. – Tufts University Urban & Environmental Policy & Planning. – Field Project Team #6. – Spring 2011. – 192 p.
12. Braun, Rudolf. Biogas from Energy Crop Digestion / Rudolf BRAUN, Peter WEILAND, Arthur WELLINGER. – IEA Bioenergy, 2010. – 19 p.
13. Caves, R.E. The Empirical Determinants of Vertical Integration / R.E. Caves, R.M. Bradburd // Journal of Economical Behavior and Organization. – 1988. – #9. – P.265-279.
14. Dalgaard, T. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming / T. Dalgaard, N. Alberg, J.R. Porter // Agriculture ecosystems & environment. – 2001. – # 87 (1). – P. 51-65.
15. Davies, S.W. A New Index of Vertical Integration: Some Estimates for UK Manufacturing / S.W. Davies, C. Morris // International Journal of Industrial Organization. – 1995. – #13. – P.151-177.
16. Delzeit, Ruth. An Economic Assessment of Biogas Production and Land Use under the German Renewable Energy Source Act 2012 / Ruth Delzeit, Wolfgang Britz, and Peter Kreins. – # 1767. – April 2012, update November 2012. – 26 p.
17. Eriksson, Philip. The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe – A Technological Innovation Systems Analysis of the Emerging Bio-Methane Technology. Report # 2007:6, ISSN: 1404-8167 / Philip Eriksson, Martin Olsson. – Göteborg, Sweden, 2007. – 137 p.
18. Holm-Nielsen, Jens Bo. Danish Centralized Biogas Plants / Jens Bo Holm-Nielsen, Teodorita Al Sead. – Bioenergy Department, University of Southern Denmark, May 2000. – 28 p.
19. Kalyuzhnyi, Sergey. Energy potential of anaerobic digestion of wastes produced in Russia via biogas and microbial fuel cell technologies / Sergey Kalyuzhnyi // Pure Appl. Chem. – 2008. – Vol. 80, No. 10. – P. 215-224.
20. 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. 221 p.
21. Moller, H.B. Manure and energy crops for biogas production. Status and barriers. [Электронный ресурс] / H.B. Moller, A.M. Nielsen, M. Murto, K. Christensson, J. Rintala, M. Svensson, M. Seppälä, T. Paavola, I. Angelidaki, P.L. Kaparaju // Accepted for publication by Nordic council of Ministers, MJS. – 2008. – Режим доступа: www.norden.org.mjs.
22. Navickas, K. Biogas for farming, energy conversion and environment protection. International symposium Biogas, technology and environment / K. Navickas // University of Maribor, Faculty of Agriculture, 2007. – P. 25-29.

23. 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.
24. Venendaal, R. European energy crops: a synthesis / R. Venendaal, U. Orgensen, C.A. Foster // Biomass and Bioenergy. – 1997. – #13 (3). – P.147-185.
25. Vindiš, Peter. Evaluation of Energy Crops for Biogas Production with a Combination of Simulation Modeling and Dex-i Multicriteria Method / Peter Vindiš, Denis Stajnko, Peter Berk, Miran Lakota // Pol. J. Environ. Stud. – 2012. – Vol. 21, No. 3. – P. 763-770.
26. 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. 17 p.