

УДК 504.03

Выбор наилучших доступных технологий получения биоэнергии на основе эколого-экономических критериев

Канд. техн. наук, доц. Сергиенко О.И. oisergienko@yandex.ru

Кащенко Ю.С., Елистратова А.П.

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В настоящее время технологии переработки биологического сырья нашли широкое применение для решения проблемы экологически безопасной утилизации органических отходов, уменьшения загрязнения окружающей среды, а также получения альтернативной энергии. Одна из основных тенденций развития агропромышленных регионов заключается в поиске наилучших доступных технологий (НДТ) переработки органических отходов с использованием комплексных технологий утилизации биомассы за счет метанового сбраживания с получением биогаза. Критерии для выбора НДТ в той или иной отрасли определяются ее спецификой и масштабами экологического воздействия и на сегодняшний день не определены. В статье обсуждается применение эколого-экономических критериев в жизненном цикле биогазовой установки: стоимость жизненного цикла и углеродный след. Анализируется применимость данных критериев для идентификации и выбора наилучших доступных технологий переработки органических отходов с получением биогаза.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, биогаз, органические отходы, эколого-экономические критерии, углеродный след, жизненный цикл.

The choice of the best available techniques for the production of bioenergy on the basis of ecological and economic criteria

Ph.D. Sergienko O.I. oisergienko@yandex.ru

Kashchenko Y.S., Elistratova A.P.

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Today, technologies of the biological raw materials processing are widely used for the purpose of problem solving of the environmentally safe disposal of organic wastes, reducing environmental pollution as well as obtaining an alternative energy. One of the main trends in the development of agro-industrial regions is to search for the best available techniques (BAT) of organic waste processing using integrated technologies for the utilization of biomass due to methane fermentation to obtain biogas. Criteria for the selection of BAT in a particular industry are determined by its specificity and scale of environmental impacts, and to date are undefined. The article is concentrated on the use of ecological and economic criteria in the life cycle of a biogas plant: life cycle costs and carbon footprint. The applicability of these criteria to identify and select the best available techniques for organic waste processing to produce biogas are analyzed in the article.

Keywords: best available techniques, biogas, organic wastes, ecological and economic criteria, carbon footprint, life cycle.

Как известно, неконтролируемая эмиссия метана, накапливающегося в атмосфере Земли, приводит к выраженному парниковому эффекту и, как следствие, к постепенному изменению климата планеты, поскольку молекулы метана обладают в 21 раз более сильным поглощающим эффектом для инфракрасного излучения, чем молекулы углекислого газа. Значительными источниками выделения метана, наряду с разработкой каменного угля и жизнедеятельностью жвачных животных, являются также городские свалки и полигоны ТБО, а также отходы сельского хозяйства и пищевой отрасли.

В настоящее время наиболее эффективными способами использования эмиссии метана является получение энергии и биоудобрений. Российская законодательная база пока все еще ориентирована на общее, рамочное регулирование управления отходами. Некоторые понятия существуют только «на бумаге», внедрение наилучших доступных технологий в отношении обращения с биоотходами пока не реализуется на практике. Действующие санитарные правила затрагивают только правила обращения с биоотходами по организации места сбора и временного хранения до размещения на свалке, и на практике не побуждают собственника отходов проводить их переработку [1].

Направления использования биогаза различны - от непосредственного сжигания в тепловых установках различной производительности до совместной выработки тепловой и электрической энергии или подпитки биогазом сетей природного газа. При этом биогаз может быть получен, как из отходов агропромышленного комплекса и пищевой отрасли, так и на коммунальных очистных сооружениях или полигонах твердых бытовых отходов. За рубежом, особенно в Европейском Союзе, широко распространена практика получения биоэнергии из специально выращиваемого растительного сырья [2].

В российских условиях проблема утилизации отходов животноводческих комплексов является весьма актуальной, и ее решение путем полной переработки отходов основного производства в продукцию, имеющую самостоятельное значение и потенциальную нишу на рынке (биогаз и биоудобрения), позволит не только улучшить экологическую обстановку в районе размещения хозяйств, но и существенно повысить рентабельность производств.

Производство биогаза в промышленных условиях представляет собой процесс сбраживания биологических отходов и сбор биогаза для его дальнейшего использования в качестве топлива. Промышленная биогазовая станция представляет собой строительный объект, в котором доля оборудования составляет около 70-80% [3]. Это закрытые реакторы (ферментеры, дайджестеры, метантенки, биореакторы), выполненные из монолитного железобетона или стали с покрытием.

При нормальной работе метантенка получаемый биогаз содержит около 60–70 % метана, 30–40 % двуокиси углерода, небольшое количество сероводорода, а также примеси водорода, аммиака и окислов азота и может быть использован для решения вопросов энергосбережения [4].

Критерии для выбора НДТ в той или иной отрасли определяются ее спецификой и масштабами экологического воздействия. На сегодняшний день критерии выбора комплексных технологий утилизации биомассы за счет метанового сбраживания с получением биогаза отсутствуют.

В связи с этим *целью работы* являлся выбор критериев экологической и экономической эффективности для сравнительной оценки биогазовых установок и выбора наилучших доступных технологий получения биоэнергии.

Задачи исследования заключались, во-первых, в определении критериев эколого-экономической эффективности для идентификации НДТ для получения биогаза, в частности экологических и экономических результатов в жизненном цикле продукции, в т.ч. на единицу экологического эффекта; и, во-вторых, в проведении сравнительной оценки биогазовых установок, утилизирующих различные субстраты и их смеси.

Методология выбора НДТ с учетом экономических затрат, экологических результатов и экологических воздействий в жизненном цикле биогазовых установок

В процессе принятия решений о внедрении новых технологий всегда должны быть сбалансированы и учтены экологические и экономические интересы. Как известно, концепция НДТ, в соответствии с принципом комплексного предупреждения и контроля загрязнения, учитывает возможные затраты и выгоды, получаемые в результате внедрения технологии, а также направлена на обеспечение комплексной защиты окружающей среды с тем, чтобы в ходе решения одной экологической проблемы не допустить создания более серьезной другой [5,6].

Для определения НДТ необходимо выбрать такую технологию или технические меры, или управленческие решения, которые являются наиболее действенными для достижения общего высокого уровня охраны окружающей среды. На практике могут возникнуть ситуации, в которых не ясно, какая именно технология будет обеспечивать самый высокий уровень охраны окружающей среды. Поэтому возникает необходимость проведения сравнительной оценки вариантов технологий для выбора наилучшей, наиболее эффективной.

В соответствии с рекомендациями [7,8] выбор НДТ осуществляется в несколько этапов. Вначале проводится сбор и обобщение имеющихся данных о потреблении ресурсов, выбросах, сбросах загрязняющих веществ и образовании отходов в результате применения рассматриваемых технологий. Затем определяются особенности альтернативных технологий и устанавливаются ключевые индикаторы для сравнения вариантов. Определяются затраты, которые должны учитываться при проведении оценки: капитальные затраты, операционные затраты, затраты на техобслуживание, годовой доход, предотвращённые издержки и другие, степень их детализации. Устанавливаются ограничения и условия, которые необходимо учитывать для обработки и представления информации об экономических затратах, такие как изменения биржевых курсов, инфляция, дисконтирование и пр. [9]. Приводится обоснование того, какие затраты можно относить к затратам, относящимся к охране окружающей среды, и определяются критерии эколого-экономической эффективности технологий [10].

При выборе НДТ в соответствии с рекомендациями [9] целесообразно учитывать затраты в жизненном цикле биогазовых установок, включая капитальные затраты, текущие (эксплуатационные) издержки и стоимость демонтажа и утилизации после окончания жизненного цикла (ЖЦ). С учетом различий в производительности установок, применяемых субстратов и сроков службы целесообразно в качестве основных индикаторов рассматривать затраты в жизненном цикле в удельном выражении, т.е. на единицу получаемой энергии или тонну перерабатываемых отходов.

В качестве дополнительного индикатора для проведения эколого-экономической оценки предлагается использовать сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) (углеродного следа) за счет сокращения потребления биоэнергии (тепловой и электрической) на собственные нужды и отпуска электрической энергии в локальную сеть. Экономия выбросов ПГ иллюстрируется моделью «input-output» (затраты - выпуск) (рис. 1).

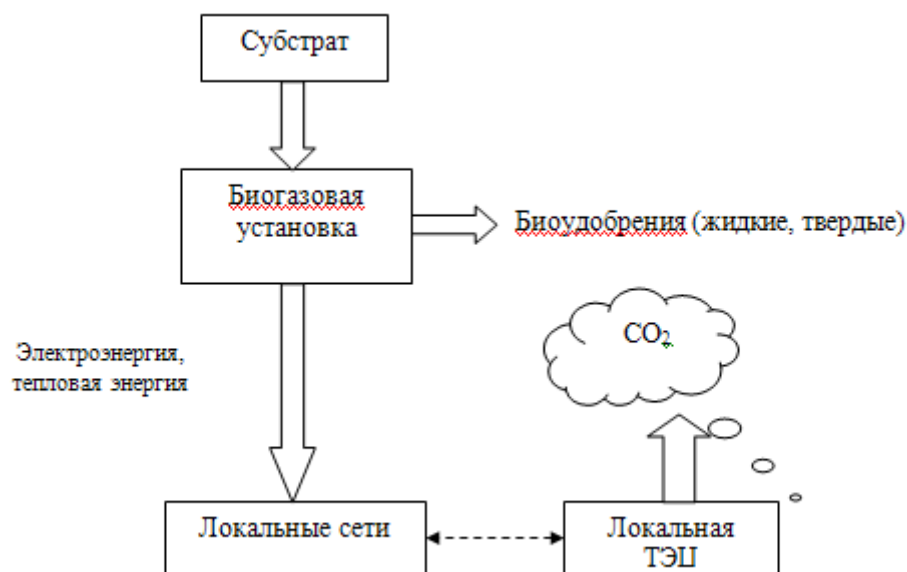


Рис.1. Модель «input – output» для определения индикаторов эколого-экономической эффективности биогазовых установок

Для получения сопоставимых результатов целесообразно рассмотреть удельное сокращение выбросов ПГ на единицу затрат в жизненном цикле (ЖЦ) биогазовой установки в течение 10 лет эксплуатации (табл. 8) [11,12].

Сравнительный анализ биогазовых установок с учетом экономических затрат и экологических результатов в жизненном цикле

В табл. 1 приведены технические характеристики биогазовых установок для утилизации отходов пивоваренной отрасли (пивной дробины) и сельскохозяйственных отходов: птичьего помета, навоза крупного рогатого скота и свиней, а также смешанного субстрата – навоза и отходов зерновых.

Традиционные экономические показатели в тыс. руб. и экологические результаты и воздействия в физических единицах показаны в табл. 2.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика установок для утилизации отходов с получением биогаза

Показатель	«ZORGBiogasAG», Германия [13]	ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой», Россия [12]	«ЗОПГ», Украина [13]	WELtek BioPower, Германия [14]	ГНУ СКНИИЖ, Россия [15]
Производительность по переработке отходов, т/сутки	300	476	784,7	70	56
Субстрат	Пивная дробина	Навоз	Помет	Зерноотходы	Навоз и зерноотходы
Потребляемая электроэнергия, кВт/год	77015	73000	80300	32641	13464
Потребляемая тепловая энергия, кВт/год	49640	36500	43800	566175	375649
Получение тепловой энергии, тыс.кВт/год	34 675	25920	168192	1599405	1637039
Получение электрической энергии, тыс. кВт/год	33 288	21637,2	57732,125	1599405	673216,7
Получение удобрений					
в жидком виде, м ³ /год	64 240	262800	276816	-	-
в твердом виде, т/год	28 470	-	-	5570,2	5570,2
Получение биогаза, м ³ /сутки	38 000	24687	46185,7	2484	1676

Таблица 2.

Показатели эколого-экономической эффективности установок для утилизации отходов с получением биогаза

Наименование показателя	«ZORGBiogasAG», Германия	ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой», Россия	«ЗОПГ», Украина	WELtek BioPower, Германия	ГНУ СКНИИЖ, Россия
Чистая годовая экономия, тыс.руб.	192 514,40	92 290,00	290 473,50	11 697,42	11 428,68
Период окупаемости, лет	1,30	3,30	0,44	4,20	0,98
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	321 691,9	149 010,0	-	-	-
Снижение воздействия на почву, т/сут	300	476	784,7	70	56
Сокращение потребления природного газа, тыс. м ³	8 322	5 406,45	10 114,67	543,99	367,04
Сокращение потребления электроэнергии, тыс.кВт-ч/год	33 210	21 564,3	57 688	1 599 405	673 203,2
Сокращение выбросов CO ₂ , млн т/год	4 907	3 188	5 964	321	216

Рассмотрим более подробно определение эколого-экономических индикаторов на примере установки «ZORGBiogasAG» для утилизации пивной дробины (табл. 3).

Таблица 3

Техническая характеристика биогазовой установки для утилизации пивной дробины

Производитель поставщик	Разработчик - ZORGBiogasAG ,Швеция, г. Цюрих. Страна-производитель – Германия
Состав оборудования	<ol style="list-style-type: none"> 1. Биогазовый стальной реактор с высококачественным покрытием по технологии высокотемпературного спекания "elamel" (долговечное, стойкое к химическим воздействиям, коррозии и ударо-прочное) – 11 шт.; 2. Загрузчик сырья – 1шт.; 3. Мешалки (наклонные, погружные) – 11 шт.; 4. Теплопункт (для поддержания фиксированной t°С для микроорганизмов) – 1 шт.; 5. Газгольдер (хранилище биогаза) – 11 шт.; 6. Сепаратор (для разделения перебродившей массы на твердую и жидкую фракцию) – 1 шт.; 7. Промышленный контроллер фирмы Siemens CPU315-DP2 с системой распределенной периферии Simatic ET200S – 1 шт.; 8. Панели оператора OP277 Touch – 1 шт. 9. Когенерационная электростанция для выработки электроэнергии и тепла из биогаза –1шт.
Техническая характеристика	<p>Производительность по переработке сырья – 300 т/сут Выход биогаза – 38 000 м³/сут Потребляемая электроэнергия – 211 кВт Потребляемая тепловая энергия (при - 30°С) – 136 кВт Обслуживающий персонал – 2 чел. Занимаемая площадь – 3,2 га</p>

При строительстве биогазовой установки достигаются такие экологические результаты, как сокращение потребления природного газа и связанное с ним сокращение выбросов CO, CO₂, NO, NO₂, а также сокращение потребления электроэнергии. Экономическая оценка экологических результатов при внедрении биогазовой установки приводится в соответствии с рекомендациями [16] по методике для выполнения технико-экономического обоснования проектов чистого производства (табл. 4).

Экономическая оценка включает расчеты, связанные с определением доходности строительства биогазовой установки. Сумма чистой годовой экономии рассчитывается как разность между суммой доходов, полученных в результате реализации проекта и эксплуатационными затратами (табл.5). Учитывается потерянная прибыль от реализации пивной дробины в текущей ситуации до внедрения биогазовой установки.

В таблице 6 приводятся экономические результаты внедрения биогазовой установки компании «ZORGBiogasAG» на отработанной пивной дробине.

Таблица 4

Экологические результаты

Форма экологического эффекта	Экологические сбережения		Экономия, тыс. руб.
	Количество	%	
Сокращение потребления природного газа, тыс. м ³ /год	6657,6	16 %	25 299
Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, т/год: - CO - NO - NO ₂	59,2	100 %	0,110
	1,23	100 %	0,132
	7,57	100%	1,21
Сокращение потребления электрической энергии, тыс. кВт-ч/год	3030,96	5 %	7 577,4
Итого:			32 877,8

Таблица 5

Чистая годовая экономия

Вид экологического и экономического результатов	Текущая ситуация		После мероприятия		Экономия	
	Кол-во	Сумма тыс.руб./год	Кол-во	Сумма тыс.руб./год	Кол-во	Сумма тыс.руб./год
Сокращение потребления природного газа, тыс. м ³ /год	41 697,6	158 451	35 040	133 152	6 657,6	25 299
Сокращение выбросов СО, т/год	59,2	0,110	-	-	59,2	0,110
Сокращение выбросов NO, т/год	1,23	0,132	-	-	1,23	0,132
Сокращение выбросов NO ₂ , т/год	7,57	1,21	-	-	7,57	1,21
Сокращение потребления эл. энергии, тыс.кВт/год	3 030,96	7 577,4	-	-	3 030,96	7 577,4
Выработка электроэнергии, тыс.кВт/год	-	-	-	-	33 288	83 220
Выработка тепловой энергии, тыс.кВт/год	-	-	-	-	34 675	17 337,5
Получение твердых биоудобрений, т/год	-	-	-	-	28 470	85 410
Получение жидких биоудобрений, м ³ /год	-	-	-	-	64 240	9 636
Продажа высушенной дробины, т/год					- 20 800	- 27 040
ИТОГО (годовая экономия):						201 441,4
Эксплуатационные затраты:						
- электроэнергия				4 620,9		- 4 620,9
- тепловая энергия				28,56		- 28,56
- ФОТ		720		1440		- 720
- страховые взносы		216		432		- 216
- затраты на текущий ремонт и обслуживание				3 341, 52		- 3 341, 52
ИТОГО: (эксплуатационные затраты):						- 8927,0
ИТОГО: чистая годовая экономия						192 514,4

Таблица 6

Экономические результаты при внедрении биогазовой установки

Показатель	Значение
Капитальные затраты (Io), тыс. руб.	259 552,8
Простой период окупаемости (T _{ок}), год	1,3
Чистый дисконтированный доход (NPV), тыс. руб.	321 691,9
Динамический период окупаемости (T _{дин^{ок}}), год	3,62
Индекс доходности проекта (PI)	1,24
Точка безубыточности производства биогаза:	
- объем производства биогаза, м ³ /сут;	24 977
- количество пивной дробины, т/сут;	197
- коэффициент запаса, %	34

Как видно проект является рентабельным, предприятие достаточно быстро покрывает свои издержки и начинает получать прибыль при текущем объеме производства. Аналогично были определены показатели для всех вариантов оборудования (табл.7).

Таблица 7

Индикаторы эколого-экономической эффективности вариантов оборудования для получения биогаза

	Наименование показателя	«ZORGBiogasA G», Германия	ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой», Россия	«ЗОПГ», Украина	WELtek BioPower, Германия	ГНУ СКНИИЖ, Россия
Экономические показатели						
1	Чистая годовая экономия, тыс.руб.	192 514,40	92290,00	290 473,50	11697,42	11428,68
2	Период окупаемости, лет	1,3	3,3	0,44	4,20	0,98
3	Чистый дисконтированный доход (NPV), тыс. руб.	321 691,9	149 010	-	-	-
4	Индекс доходности проекта (PI)	1,24	13,1	-	-	-
Экологическая оценка						
5	Снижение воздействия на почву т/сут	300	476	784,7	70	56
6	Сокращение потребления природного газа, тыс. м ³	8322	5406,453	10114,67	543,996	367,044
7	Сокращение	33210	21564,3	57688	1599405	673203,24

	Наименование показателя	«ZORGBiogasAG», Германия	ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой», Россия	«ЗОПГ», Украина	WELtek BioPower, Германия	ГНУ СКНИИЖ, Россия
	потребления электроэнергии, тыс.кВт-ч/год					
8	Сокращение выбросов CO ₂ , млн т/год	4907	3188	5964	321	216

С учетом затрат в жизненном цикле (ЖЦ) установок, включая затраты на оборудование, монтаж и пуско-наладку, транспортировку, электроэнергию и тепловую энергию на собственные нужды, на оплату труда, техническое обслуживание и утилизацию, включая демонтаж и вывоз оборудования, на основе предложенных критериев можно сделать выбор в пользу установок WELtek BioPower и ГНУ СКНИИЖ. (табл.8).

Таблица 8

Сравнительный анализ установок для получения биогаза на основе оценки затрат

в жизненном цикле

Наименование показателя	«ZORGBiogasAG», Германия	ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой» Россия	«ЗОПГ», Украина	WELtek BioPower, Германия	ГНУ СКНИИЖ, Россия
Затраты ЖЦ, тыс. руб.	580 537	362 037	203 716	86 860	80 411
Затраты ЖЦ на единицу получения энергии руб./кВт	0,854	7,613	0,902	0,027	0,035
Затраты ЖЦ на 1 т отходов, руб./т	530,2	208,4	71,1	340,0	314,7
Затраты ЖЦ на 1 т CO ₂ экв., руб./т	0,118	1,136	0,342	2,706	3,723

Выводы и заключение

Проблема утилизации отходов животноводческих и птицеводческих комплексов и пищевой отрасли является весьма актуальной и ее решение путем переработки отходов основного производства в продукцию, имеющую самостоятельное значение и потенциальную нишу на рынке (биоэнергия и биоудобрения), позволит не только улучшить экологическую обстановку в районе размещения хозяйств, но также и получить существенную экономию.

Предлагаемые критерии эколого-экономической эффективности в жизненном цикле биоэнергии позволяют сделать выбор наилучшей из технологий на основе удельных затрат в жизненном цикле. На основании себестоимости биоэнергии и биоудобрений с учетом затрат в жизненном цикле, по-видимому, наилучшей следует считать установку WELtek BioPower, Германия, и российскую установку производства ГНУ СКНИИЖ.

Установление цены за 1 т выбросов ПГ в CO₂-экв. имеет важное практическое значение при организации торговли квотами на выбросы ПГ. Однако, как видно из табл. 2, данный критерий не соответствует наилучшей технологии с точки зрения экономической оценки затрат в жизненном цикле. Очевидно, это объясняется самой сущностью данного критерия, т.к. он отражает сторону выхода из жизненного цикла установок и не имеет экономической ценности при отсутствии торговли квотами. Для получения сопоставимых оценок при выборе НДТ из альтернативных вариантов в дальнейшем целесообразно рассмотреть потребление материальных ресурсов в жизненном цикле биогазовых установок.

Хотя оценка экономической обоснованности и является неотъемлемой частью определения НДТ, в процессе принятия решений должны быть сбалансированы и учтены экологические и экономические интересы.

В случае если технология является чрезмерно дорогой, чтобы считаться наилучшей, необходимо провести ее детальный анализ с применением эколого-экономических критериев. Для биогазовых установок в качестве такого критерия можно рекомендовать затраты в ЖЦ на единицу получения энергии. Бремя доказательств и аргументации, как показано в работе [5], должно ложиться на тех, кто возражает против предложенной НДТ.

Список литературы

1. Европейский опыт обращения с отходами производства и потребления/Под ред. Т.В. Боравской - М.: Изд-во ТПП РФ, 2011. - 212 с.
2. Rohn H., Liedtke C., Wiezen K. Measuring side effects of a closed carbon cycle – a case study of a biogas plant in Germany // *Energies* - 2014, Vol. 7, No. 6, pp. 1-14.
3. *Мариненко Е.Е.* Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: учебное пособие. – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 100 с.
4. *Фокина В.Д., Хитров А.Н.* Переработка навоза в биогаз. Обзорная информация. – М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по сельскому хозяйству, 1981. – 37 с.
5. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects // Электронный ресурс: http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/ippc_brefs/library
6. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control// Электронный ресурс: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L>
7. Наилучшие доступные технологии: опыт и перспективы / Е.Б. Королева, О.Н.Жигилей, А.М. Кряжев, О.И. Сергиенко, Т.В. Сокошникова. – СПб: ООО «Ай-Пи», 2011. – 123 с.
8. BREF 08.2006 FDM. Food, Drink and Milk Industries, 2006 // Электронный ресурс: <http://www.ippc-russia.org/content/id/ru/207.html>

9. *Баженов В.И.* Показатель LCC – затраты жизненного цикла как базовый экономический анализ в альтернативу показателя приведенных затрат. – М.: ЗАО «Водоснабжение и водоотведение», 2011.
10. Биогазовые установки // Электронный ресурс <http://www.alterenergy.info/equipment/biogas-plants>
11. ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой»// Электронный ресурс <http://www.gazenergostroy.com/>
12. Установки Зорг Биогаз АГ// Электронный ресурс <http://zorgbiogas.ru/>
13. Установки WELtek// Электронный ресурс <http://www.weltec-biopower.ru/>
14. Установки ГНУ СКНИИЖ // Электронный ресурс <http://www.freepatent.ru/>
15. Сергиенко О.И. Организация экологически более чистого производства. Учеб. пособие, 2012.- СПб: Университет ИТМО, 43 с.
16. Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в Ленинградской области / под ред. В.И. Могилицева. - СПб., 2012. – 237 с.
17. ГОСТ Р 14.13 - 2007 «Оценка интегрального воздействия объектов хозяйственной деятельности на окружающую среду в процессе производственного экологического контроля», 2007 г.
18. BREF 08.2006 FDM. Food, Drink and Milk Industries, 2006 // Электронный ресурс: <http://www.ippc-russia.org/content/id/ru/207.html>
19. *Зинченко А.В.* Международная методика инвентаризации выбросов парниковых газов. – Справочно-методическое пособие, СПб, НИИ «Атмосфера», 2003г. – 327 с.

References

1. *Evropiskiy opyt obrashcheniya s otkhodami proizvodstva i potrebleniya/ Pod Redakciei Boravskoi T.V.* – М.: TPP RF, 2011. – 212 s.
2. Rohn H., Liedtke C., Wiezen K. Measuring side effects of a closed carbon cycle – a case study of a biogas plant in Germany // *Energies* - 2014, Vol. 7, No. 6, pp. 1-14.
3. *Marinenko E.E. Osnovy polucheniya i ispol'zovaniya biotopliva dlja resheniya voprosov jenergosberezheniya i ohrany okruzhajushhej sredy v zhilishhno-kommunal'nom i sel'skom hozjajstve: uchebnoe posobie/VolgGASA, Volgograd, 2003. – 100 s.*
4. *Vsesojuznaja akademija sel'skohozjajstvennyh nauk imeni V.I. Lenina. Vsesojuznyj nauchno-issledovatel'skij institut informacii i tehniko-jekonomicheskikh issledovanij po sel'skomu hozjajstvu. Obzornaja informacija. V.D. Fokina, A.N. Hitrov. Pererabotka navoza v biogaz. – Moskva, 1981.*
5. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects // *Jelektronnyj resurs: http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/ippc_brefs/library*
6. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control// *Jelektronnyj resurs: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L*
7. *Nailuchshie dostupnye tehnologii: opyt i perspektivy / E.B. Koroleva, O.N.Zhigilej, A.M, Krjazhev, O.I. Sergienko, T.V. Sokornova. – SPb: ООО «Aj-Pi», 2011. – 123 s.*
8. BREF 08.2006 FDM. Food, Drink and Milk Industries, 2006 // *Jelektronnyj resurs: http://www.ippc-russia.org/content/id/ru/207.html*
9. *Vazhenov V.I. Pokazatel' LCC – zatraty zhiznennogo cikla kak bazovyj jekonomicheskij analiz v al'ternativu pokazatelja privedennyh zatrat. – М.: ЗАО «Vodosnabzhenie i vodootvedenie», 2011.*
10. *Jekonomicheskie aspekty i voprosy vozdejstvija na razlichnye komponenty okruzhajushhej sredy», 2006 g. // Jelektronnyj resurs: http://www.14000.ru/brefs/BREF_ECME.pdf, http://www.twirpx.com/file/716910/*
11. *Biogazovye ustanovki // Jelektronnyj resurs http://www.alterenergy.info/equipment/biogas-plants*

12. ГК «Корпорация «ГазЭнергоСтрой»// Jelektronnyj resurs <http://www.gazenergostroy.com/>
13. Ustanovki Zorg Biogaz AG// Jelektronnyj resurs <http://zorgbiogas.ru/>
14. Ustanovki WELtek// Jelektronnyj resurs <http://www.weltec-biopower.ru/>
15. Ustanovki GNU SKNIIZh // Jelektronnyj resurs <http://www.freepatent.ru/>
16. Sergienko O.I. Organizacija jekologicheski bolee chistogo proizvodstva. Ucheb. posobie, 2012.- SPb: Universitet ITMO, 43 s.
17. Utilizacija navoza/pometa na zhivotnovodcheskih fermah dlja obespechenija jekologicheskoj bezopasnosti territorii, nazemnyh i podzemnyh vodnyh ob#ektov v Leningradskoj oblasti / pod red. V.I. Mogilevceva. - SPb., 2012. – 237 s.
18. GOST R 14.13 - 2007 «Ocenka integral'nogo vozdejstvija ob#ektov hozjajstvennoj dejatel'nosti na okruzhajushhiju sredu v processe proizvodstvennogo jekologicheskogo kontrolja», 2007 g.
19. BREF 08.2006 FDM. Food, Drink and Milk Industries, 2006 // Jelektronnyj resurs: <http://www.ippc-russia.org/content/id/ru/207.html>
20. Zinchenko A.V. Mezhdunarodnaja metodika inventarizacii vybrosov parnikovyh gazov. – Spravochno-metodicheskoe posobie, SPb, NII «Atmosfera», 2003g. – 327 s.