

УДК 66.097.3

UDC 66.097.3

**ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
НА БАЗЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО
УСТРОЙСТВА СЖИГАНИЯ**

**SIMULATION MATHEMATICAL MODEL OF
HEAT SUPPLY SYSTEM OF LIVESTOCK
COMPLEX ON THE BASIS OF CATALYTIC
COMBUSTION DEVICE**

Сидыганов Юрий Николаевич
д.т.н., профессор

Sidyganov Yuri Nikolaevich
Dr.Sci.Tech., professor

Медяков Андрей Андреевич
к.т.н.

Medyakov Andrei Andreevich
Cand.Tech.Sci.

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onyuchin Evgeniy Mikhailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Каменских Александр Дмитриевич
аспирант
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Kamenskikh Aleksandr Dmitrievich
postgraduate student
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,
Russia*

В статье представлена имитационная математическая модель функционирования технико-технологических систем для теплоснабжения животноводческого комплекса, устанавливающая взаимосвязь между конструктивными и технологическими параметрами технико-технологической системы и параметрами, характеризующими эффективность их функционирования в процессе передачи тепловой энергии при теплоснабжении животноводческого комплекса

The article presents a simulation mathematical model of technical and technological systems for heating livestock complex, which establishes the relationship between the structural and technological parameters of the technical and technological system and the parameters characterizing the efficiency of their operation in the process of heat transfer at the heat supply of the livestock sector

Ключевые слова: НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПРОЦЕСС, МЕТОД ЭЛЕМЕНТАРНЫХ БАЛАНСОВ, КАТАЛИТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СЖИГАНИЯ, КАТАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Keywords: NONSTATIONARY PROCESS, METHOD OF ELEMENTARY BALANCES, CATALYTIC COMBUSTION DEVICE, CATALYTIC SYSTEMS

Введение

Животноводство (животноводческие комплексы, фермы) и птицеводство (птицефабрики) являются основными энергопотребляющими отраслями сельскохозяйственного производства, на которые приходится до 68 % от общего потребления энергоносителей в сельском хозяйстве России (без учета энергопотребления жидкого топлива машинно-тракторным парком и транспортом), т.е. от общего энергопотребления стационарных сельхозобъектов [1]. Основной расход энергии происходит при приготовлении кормосмеси, подогрев воды и обеспечение необходимого микроклимата для содержания животных, в частности, стойлового.

Оптимальный микроклимат в животноводческих и птицеводческих помещениях способствует более полной реализации генетического потенциала животных и птицы, профилактике заболеваний, а также удлинению сроков службы построек и установленного в них оборудования.

В условиях центральной части России Поволжья и Урала задача по теплоснабжению объектов животноводческого комплекса стоит особо остро, в связи большой разницей температур в летние и зимние периоды.

При этом использование технико-технологических систем на базе каталитического устройства сжигания углеводородов могут использоваться в существующих системах теплоснабжения различных производственных объектов животноводческого комплекса вместо традиционных устройств факельного сжигания [2–6]. При этом по сравнению с традиционными источниками тепла, каталитические устройства сжигания имеют ряд конструктивных, энергетических и экологических преимуществ. К ним относятся:

- 1) полнота сжигания топлива, которая способствует повышению эффективности процесса горения;
- 2) снижение температуры процесса горения, которое обеспечивает конструктивные преимущества каталитических устройств горения;
- 3) сокращение выбросов вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива;
- 4) снижение минимальной концентрации топлива в смеси до 0,5 % объема [6].

Таким образом, для повышения энергетической эффективности функционирования животноводческих комплексов является важным исследование особенностей использования каталитических устройств сжигания в рамках системы теплоснабжения производственного помещения животноводческого комплекса.

Описание математической модели

Существенным факторами, влияющим на эффективность функционирования технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания для теплоснабжения животноводческого комплекса, являются:

- обеспечение оптимальной и равномерной температуры в животноводческом комплексе для жизнедеятельности, роста и размножения продуктивных пород сельскохозяйственных животных;

- обеспечение минимального потребления топлива технико-технологической системой для теплоснабжения животноводческого комплекса (обеспечения условия энергетической эффективности системы теплоснабжения).

Для оптимизации конструктивно-технологических параметров технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания для теплоснабжения животноводческого комплекса, необходимо исследовать нестационарный процесс передачи тепловой энергии от системы теплоснабжения к помещению животноводческого комплекса.

Для упрощения описания нестационарного процесса передачи тепловой энергии при функционировании каталитических систем предлагается использовать метод элементарных балансов, который заключается в том, что объем помещения животноводческого комплекса разбивается на элементарные геометрические формы, в пределах каждой из которых параметры приблизительно принимаются одинаковыми. Величины тепловых потоков, средние за элементарный промежуток времени, являются пропорциональными среднему для этого промежутка температурному градиенту при условии равномерности изменения температур в течение элементарного промежутка времени, а повышение теплосодержания объема пропорциональным повышению его температуры. Это позволяет представить задачу в виде системы

уравнений, решение которой представляет собой состояние системы на следующем элементарном промежутке времени.

Таким образом, принимаются следующие допущения:

- помещение животноводческого комплекса заменяется дискретной моделью;
- модель времени является дискретной с шагом в интервал моделирования;
- состояние объекта изменяется равномерно за интервал моделирования.

В результате помещение животноводческого комплекса и процесс передачи тепловой энергии при обогреве представляются в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

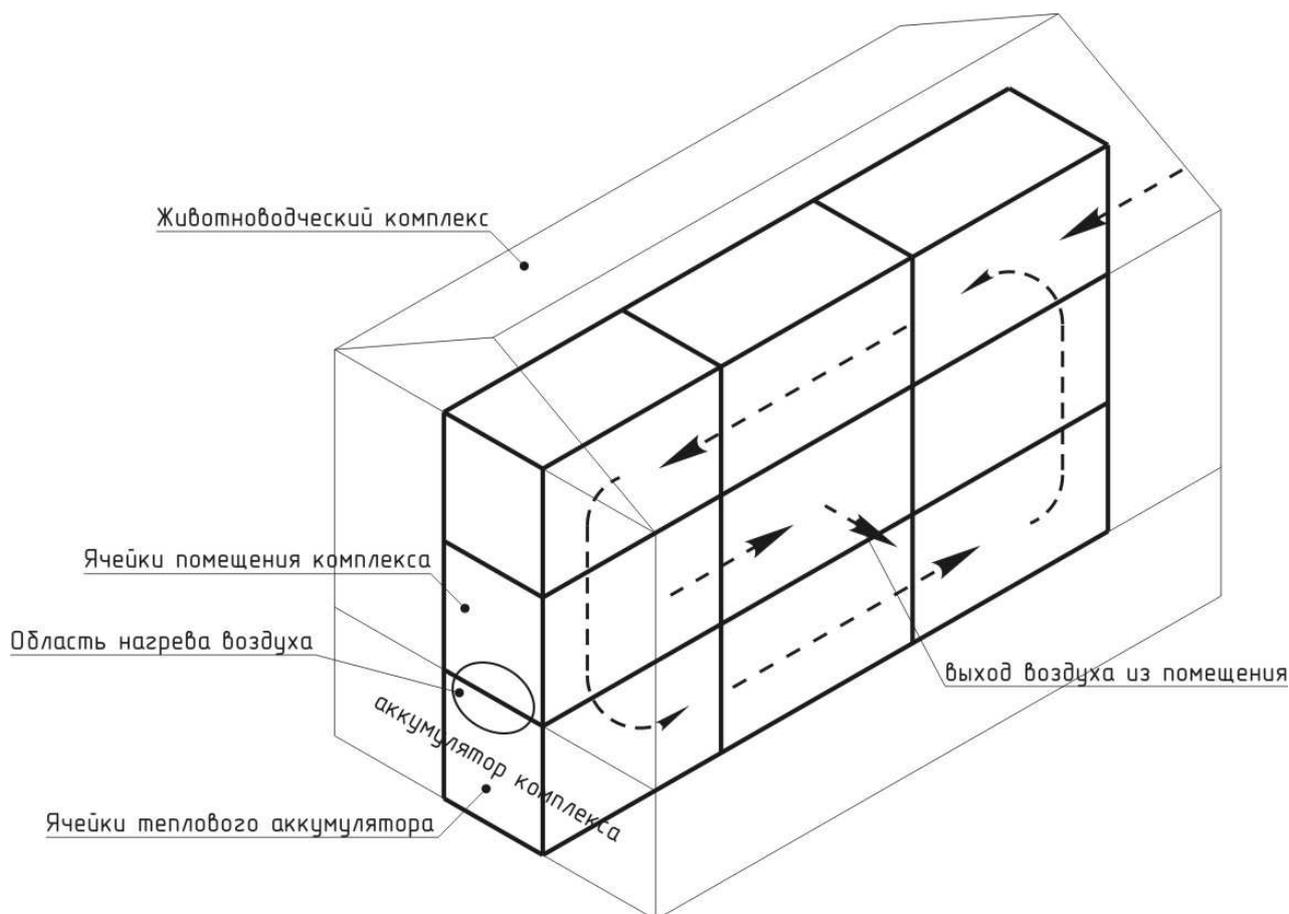


Рисунок 1. Общая схема, принятая при моделировании

Для моделирования был выбран метод, представленный на рисунке 2. Сначала осуществляется ввод входных величин, которые представляют собой конструктивные и технологические параметры технико-технологической системы теплоснабжения животноводческого комплекса. Шаг моделирования выбирается с учетом требуемой точности моделирования. При расчетах в рамках шага моделирования принимается, что условия являются постоянными, и расчет ведется по формулам для стационарных процессов передачи тепловой энергии. Полученные на текущем шаге результаты необходимо записываются в отдельную таблицу ввиду того, что в результате повторения циклов моделирования текущие значения многократно переписываются. Измененные в течение шага входные параметры подставляются в расчетную часть на следующем шаге моделирования.

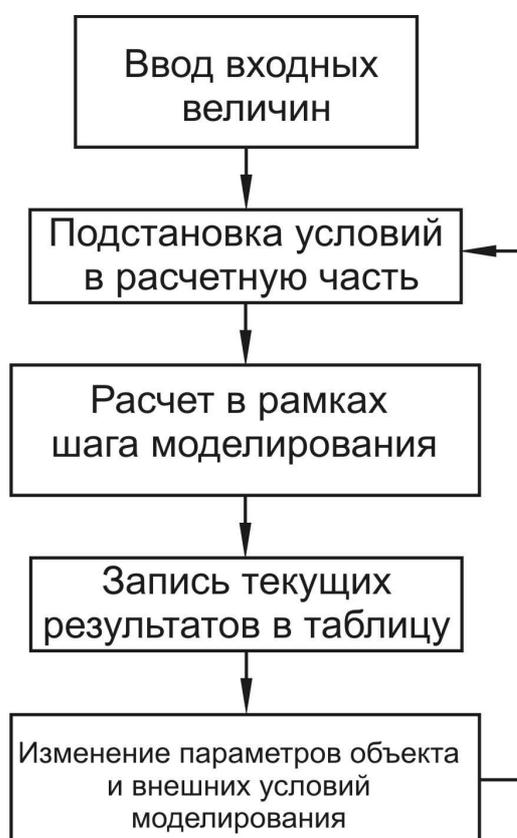


Рисунок 2. Общий принцип имитационного моделирования функционирования технико-технологической системы для теплоснабжения животноводческого комплекса

В соответствии с принятыми допущениями имитационная математическая модель функционирования технико-технологической системы для теплоснабжения животноводческого комплекса была реализована на ЭВМ в среде Microsoft Office Excel с использованием возможностей встроенного пакета Visual Basic for Application. Вид окна математической модели приводится на рисунке 3.

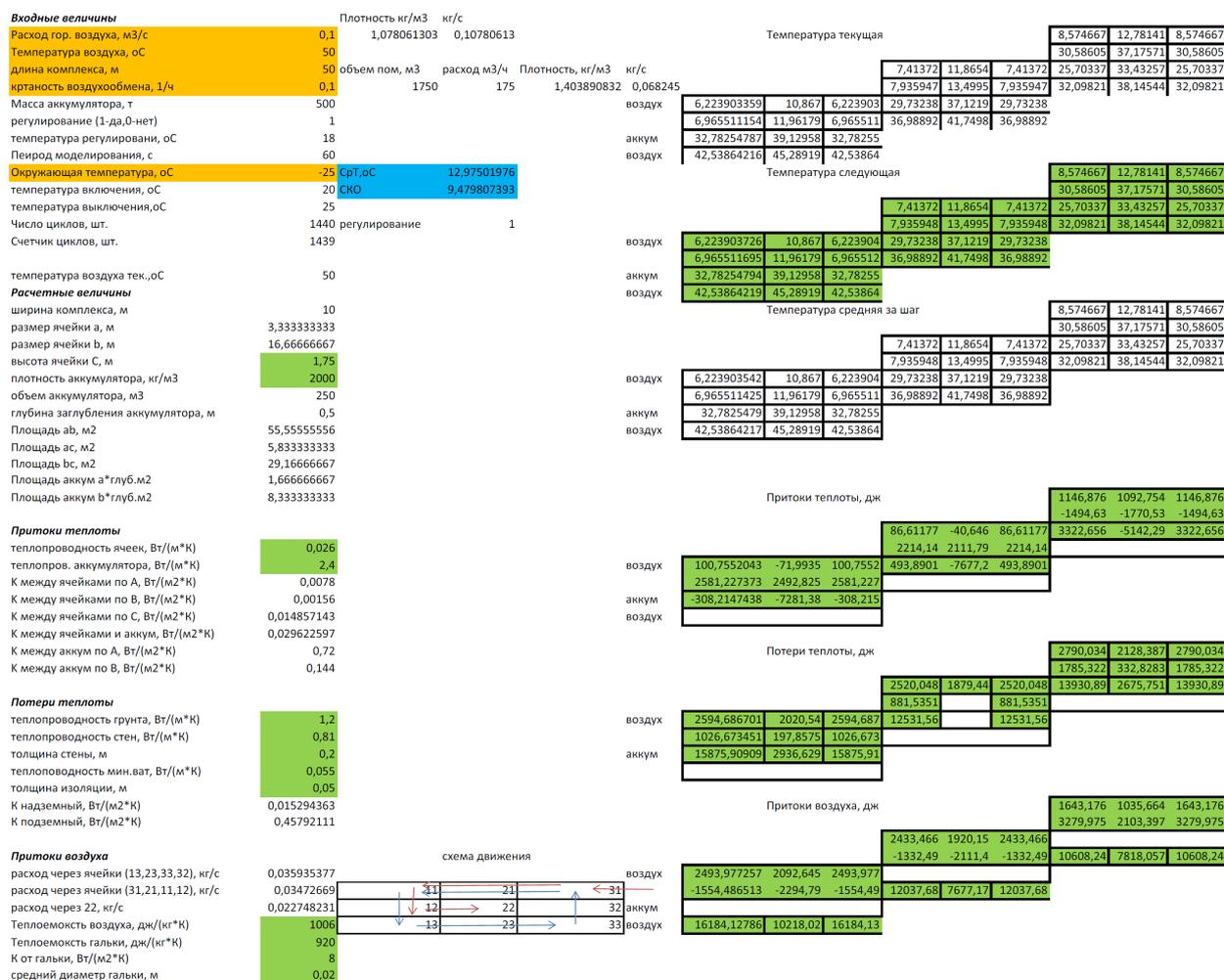


Рисунок 3. Внешний вид имитационной математической модели

Для описания изменения температуры внутри каталитической системы в расчетной части имитационной модели использовались следующие зависимости.

Общий тепловой баланс для ячеек дискретной модели помещения животноводческого комплекса и аккумулятора, расположенного под комплексом, с учетом принятых допущений будет иметь следующий вид:

$$Q_{\text{яч}} = Q_{\text{теплопр.}} + Q_{\text{вх.воз}} + Q_{\text{окр}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{яч}}$ – количество теплоты, поступившей в ячейку; $Q_{\text{теплопр.}}$ – теплота, поступившая от соседних ячеек с помощью теплопроводности; $Q_{\text{вх.воз}}$ – теплота, поступившая с входящим в ячейку потоком воздуха; $Q_{\text{окр.}}$ – теплота, поступившая от окружающей среды;

При этом количество теплоты, поступившей в ячейку ($Q_{\text{яч}}$) за единицу времени может быть выражено через изменение ее энтальпии следующим образом:

$$Q_{\text{яч}} = M_{\text{яч}} * C_{\text{яч}} * \Delta t_{\text{яч}}, \quad (2)$$

где $M_{\text{яч}}$ – масса ячейки, в случае помещения принимается масса воздуха в ячейке, в случае аккумулятора – масса галечной засыпки в ячейке; $C_{\text{яч}}$ – теплопроводность ячейки; $\Delta t_{\text{яч.}}$ – изменение температурного состояния ячейки за интервал моделирования ($\Delta t_{\text{яч.}} = T^1 - T^0$).

Количество теплоты, поступившей от соседних ячеек в процессе передачи теплоты теплопроводностью, ($Q_{\text{теплопр.}}$) может быть выражено следующим образом:

$$Q_{\text{теплопр.}} = \sum_{n=1}^m (k_n * F_n * \Delta t_n * \tau_{\text{модел.}}) , \quad (3)$$

где m – количество соседних ячеек; k_n – коэффициент теплопередачи n-ой соседней ячейке; F_n – площадь контакта с n-й соседней ячейкой; Δt_n – температурный перепад между текущей и n-й соседней ячейкой; $\tau_{\text{модел.}}$ – период моделирования.

Количество теплоты, поступившей с входящим в ячейку потоками нагретого воздуха, ($Q_{вх.воз}$) для ячеек помещения будет выражаться следующим образом:

$$Q_{вх.воз} = \tau_{\text{модел.}} * (G_{\text{воз}} * C_{\text{воз}}) * \Delta t_{\text{воз}}, \quad (4)$$

где $G_{\text{воз}}$ – массовый расход потока воздуха; $C_{\text{воз}}$ – теплоемкость входящего воздуха; $\Delta t_{\text{воз}}$ – температурный перепад между воздухом текущей ячейки и ячейки, из которой он приходит.

Количество теплоты для аккумулятора, поступившей с входящим в ячейку потоками нагретого воздуха, ($Q_{вх.воз ак}$), будет выражаться следующим образом:

$$Q_{вх.воз ак} = k_{ак} * F_{ак} * \Delta t_{ак} * \tau_{\text{модел.}} \quad (5)$$

где $k_{ак}$ – коэффициент теплопередачи от воздуха к аккумулятору; $F_{ак}$ – площадь контакта воздуха с аккумулятором; $\Delta t_{ак}$ – температурный перепад между воздухом, проходящим через аккумулятор, и наполнителем аккумулятора.

При этом составляется еще тепловой баланс для определения изменения состояния воздуха при прохождении через аккумулятор:

$$Q_{вх.воз ак} = Q_{\text{воз}} \\ Q_{\text{воз}} = G_{\text{воз}} * C_{\text{воз}} * \Delta t_{\text{воз.}} * \tau_{\text{модел.}} \quad (6)$$

где $G_{\text{воз}}$ – расход горячего воздуха через ячейку аккумулятора; $C_{\text{воз}}$ – теплоемкость горячего воздуха; $\Delta t_{\text{воз.}}$ – изменение температуры воздуха при прохождении через аккумулятор.

Количество теплоты, переданной в окружающую среду, ($Q_{окр.}$) можно выражается следующим образом:

$$Q_{окр.} = k_{окр.} * F_{окр.} * \Delta t_{окр.} * \tau_{\text{модел.}}, \quad (7)$$

где $F_{\text{окр}}$ – площадь контакта окружающей среды с ячейкой; $k_{\text{окр}}$ – коэффициент теплопередачи к окружающей среде; $\Delta t_{\text{окр}}$ – температурный перепад между ячейкой и окружающей средой.

С использованием зависимостей для ячеек модели (1–7) была составлена часть математической модели, основанная на возможностях итеративных вычислений Microsoft Office Excel, в рамках которой описываются изменения температуры внутри животноводческого комплекса.

Вывод

Разработанная имитационная математическая модель функционирования технико-технологических систем для теплоснабжения животноводческого комплекса позволяет установить взаимосвязь между конструктивными и технологическими параметрами технико-технологической системы и параметрами, характеризующими эффективность их функционирования в процессе передачи тепловой энергии при теплоснабжении животноводческого комплекса.

Статья подготовлена в рамках выполнения исследований, поддержанных стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам на 2012–2014 годы.

Список литературы

1. Сазонов С.Н. Методология эффективного формирования и использования производственных ресурсов в крестьянских (фермерских) хозяйствах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Саратов, 1998. - 48 с.
2. Медяков А.А. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза / Медяков А.А., Каменских А.Д. // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. - 2011. - № 3. – С. 88–94.
3. Онучин Е.М. Наноструктурированные наполнители каталитических систем для установок анаэробной переработки органических отходов / Онучин Е.М., Медяков

А.А. // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3. – С. 95–100.

4. Онучин Е.М. Нестационарные каталитические системы для утилизации биогаза / Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(78). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/46.pdf>, 1,000 у.п.л.

5. Онучин Е.М. Повышение эффективности разрабатываемых каталитических систем для утилизации биогаза / Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(78). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/47.pdf>, 0,875 у.п.л.

6. Лукьянов, Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Б. Н. Лукьянов, Н. А. Кузин, В. А. Кириллов, В. А. Куликов, В. Б. Шигаров, М. М. Данилова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 667–77.

References

1. Sazonov S.N. Metodologija jeffektivnogo formirovanija i ispol'zovanija proizvodstvennyh resursov v krest'janskij (fermerskij) hozjajstvah. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskijh nauk. Saratov, 1998. - 48 s.

2. Medjakov A.A. Razrabotka novykh kataliticheskijh sistem dlja processov poluchenija biogaza / Medjakov A.A., Kamenskijh A.D. // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie. - 2011. - № 3. – S. 88-94.

3. Onuchin E.M. Nanostrukturirovannye napolniteli kataliticheskijh sistem dlja ustanovok anajerobnoj pererabotki organicheskijh othodov / Onuchin E.M., Medjakov A.A. // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie. - 2011. - № 3. – S. 95-100.

4. Onuchin E.M. Nestacionarnye kataliticheskie sistemy dlja utilizacii biogaza / E.M. Onuchin, A.A. Medjakov, A.D. Kamenskijh, P.N. Anisimov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №04(78). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/46.pdf>, 1,000 u.p.l.

5. Onuchin E.M. Povyshenie jeffektivnosti razrabatyvaemykh kataliticheskijh sistem dlja utilizacii biogaza / E.M. Onuchin, A.A. Medjakov, A.D. Kamenskijh, P.N. Anisimov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №04(78). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/47.pdf>, 0,875 u.p.l.

6. Luk'janov, B. N. Jekologicheski chistoe okislenie uglevodorodnyh gazov v kataliticheskijh nagrevatel'nyh jelementah / B. N. Luk'janov, N. A. Kuzin, V. A. Kirillov, V. A. Kulikov, V. B. Shigarov, M. M. Danilova // Himija v interesah ustojchivogo razvitija. – 2001. – №9. – s. 667 – 677.