

УДК: 66.097.3

UDC: 66.097.3

**ИНФРАКРАСНЫЕ ОБОГРЕВАТЕЛИ С  
НЕСТАЦИОНАРНЫМ КАТАЛИТИЧЕСКИМ  
НАПОЛНИТЕЛЕМ****INFRARED HEATERS WITH NON-  
STATIONARY CATALYTIC FILLER**Медяков Андрей Андреевич  
к.т.н.Medyakov Andrey Andreevich  
Cand.Tech.Sci.Онучин Евгений Михайлович  
к.т.н., доцентOnychin Evgeny Mihailovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professorКаменских Александр Дмитриевич  
инженерKamenskih Aleksandr Dmitrievich  
engineer*Поволжский государственный технологический  
университет, Йошкар-Ола, Россия**Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,  
Russia*

Приводится описание применяемых в настоящее время каталитических систем, обоснование необходимости совершенствования схемно-конструктивных решений и предложенные авторами технические решения инфракрасных обогревателей с нестационарным каталитическим наполнителем

The article describes currently used catalytic systems, the rationale for improving the design solutions and technical solutions proposed by the authors of infrared heaters with non-stationary catalytic filler

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ЛОКАЛЬНЫЙ ОБОГРЕВ, ЛУЧИСТЫЙ ТЕПЛООБМЕН, СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Keywords: CATALYTIC SYSTEM, LOCAL HEATING, RADIANT HEAT, HEAT SUPPLY SYSTEM

### ***Введение***

В настоящее время разработаны различные конструкции каталитических устройств сжигания [1-9]. Наибольшее количество конструкций включают в себя неподвижный слой катализатора, через который пропускается топливовоздушная смесь [1-5]. Однако из-за высокой экзотермичности реакции сжигания метана в первой части неподвижного слоя катализатора возникают «горячие точки» с температурой выше 1500 °С. При этом может произойти постепенное разрушение каталитического наполнителя и выход из строя всей каталитической системы. В связи с этим в ряде каталитических системах используют высокотемпературные каталитические наполнители, в частности в работе [2] предлагается использовать спеченные металлические частицы, покрытые высокопористыми керамическими

слоями. При этом использование высокотемпературных каталитических систем оправданно в случае необходимости обеспечения высокого температурного уровня теплоносителя (до 500-600°C), хотя в этом случае происходит значительное увеличение содержания оксидов азота (NO<sub>x</sub>) в уходящих газах. Использование каталитических систем для теплоснабжения производственных объектов не требует значительных температур теплоносителя (до 90°C). Таким образом, использование высокотемпературных каталитических систем обосновано только в случаях повышенных требований к температуре теплоносителя или применением их в коротковолновых инфракрасных излучателях.

Для снижения температуры каталитического наполнителя и исключения ситуаций его перегрева применяют контролируемый и распределенный ввод топлива и окислителя (кислорода). В частности в работе [3] предлагается каталитическая система с введением кислорода в две стадии. Однако использование таких каталитических систем требует создания сложных систем распределенного ввода окислителя, либо топлива, а так же сложной системы регулирования количества вводимых в каждой части каталитической системы топлив и окислителя.

Для снижения температуры каталитического наполнителя до необходимых значений применяют дополнительное внешнее охлаждение. В частности в работе [1] описывается каталитические горелки с применением внешнего водяного охлаждения. Однако использование таких каталитических систем создает градиент температуры внутри наполнителя от центра к его периферии, что связано с необходимостью интенсивного охлаждения каталитических систем. В результате происходит охлаждение пристеночных слоев наполнителя вплоть до прекращения в них процесса горения.

В работе [4] предлагается для охлаждения наполнителя использовать дополнительное внутреннее охлаждение с помощью керамической

трубчатой каталитической системы с сопряженным по теплу внутренним алюминиевым теплообменником. Однако использование таких каталитических систем требует создания сложных теплообменных устройств и необходимостью предварительного сопряжения их по теплу с каталитической системой.

Определенную группу представляют собой катализаторы, работающие не в стационарном режиме. [5,7-9]

В связи с образованием фронта горения (охлаждения) в неподвижном слое катализатора при низких концентрациях топлива в смеси был предложен реверс-процесс, позволяющий изменять направление движения фронта на обратное при изменении направления подачи смеси топлива-окислитель. [5] Однако подобные каталитические системы требуют сложной системы реверса потоков, которая должна быть способна функционировать при высоких температурах до 600 °С.

Промежуточное место между каталитическими системами, работающими в стационарном и режиме, и системами, работающими в нестационарном режиме, занимают каталитические системы с псевдооживленным слоем каталитического наполнителя.[6] В работе [6] описывается каталитический генератор тепла с кипящим слоем со встроенными теплообменными устройствами.

В работах [7-9] на основе анализа существующих технических решений в области каталитических устройств был разработан ряд схемно-конструктивных решений каталитических систем для процессов получения биогаза из органических отходов, отличающийся особенностями организации взаимодействия потока реагентов с каталитическим наполнителем, что позволяет интенсифицировать процесс протекания реакции, а так же оптимизировать конструктивные особенности каталитических систем в зависимости от особенностей технологических процессов. При этом в качестве основы были использованы устройства с

кипящим слоем наполнителя, в которых создавались более интенсивные потоки каталитического наполнителя и реагирующей топливно-воздушной смеси. В результате были разработаны каталитические системы с циркулирующим наполнителем и совмещенными потоками реагирующей смеси и наполнителя. В результате более полного использования площади каталитического наполнителя и равномерности температурного поля внутри каталитической системы сокращается потребность в дорогостоящем каталитическом наполнителе.

Однако предлагаемые технические решения каталитических систем предполагали использование промежуточного теплоносителя, который представлял собой либо жидкость, обогреваемую за счет рекуперативного обогрева, либо газ, пропускаемый непосредственно через каталитическую систему. Использование промежуточного теплоносителя требует создания систем транспортировки и распределения теплоносителя по обогреваемому помещению или отопительным приборам, что усложняет конструкцию системы обогрева и повышает ее материалоемкость.

### *Технические решения каталитических систем локального обогрева*

На базе предложенных авторами [7-9] нестационарных каталитических систем был разработан ряд установок, предназначенных теплоснабжения различных производственных объектов лесного и агропромышленного комплексов за счет каталитического сжигания биогенных жидких и газообразных топлив, отличающихся процессом передачи теплоты от установки к обогреваемому объекту.

За основу был взят процесс лучистого теплообмена, который определил конструктивные особенности исполнения каталитических систем. В процессе функционирования каталитических систем окисление углеводов, содержащихся в биогенном жидком и газообразном

топливах, осуществляется непосредственно на поверхности катализатора. В связи с этим точки с наивысшей температурой в рамках каталитической системы возникают в поверхностном слое каталитического наполнителя.

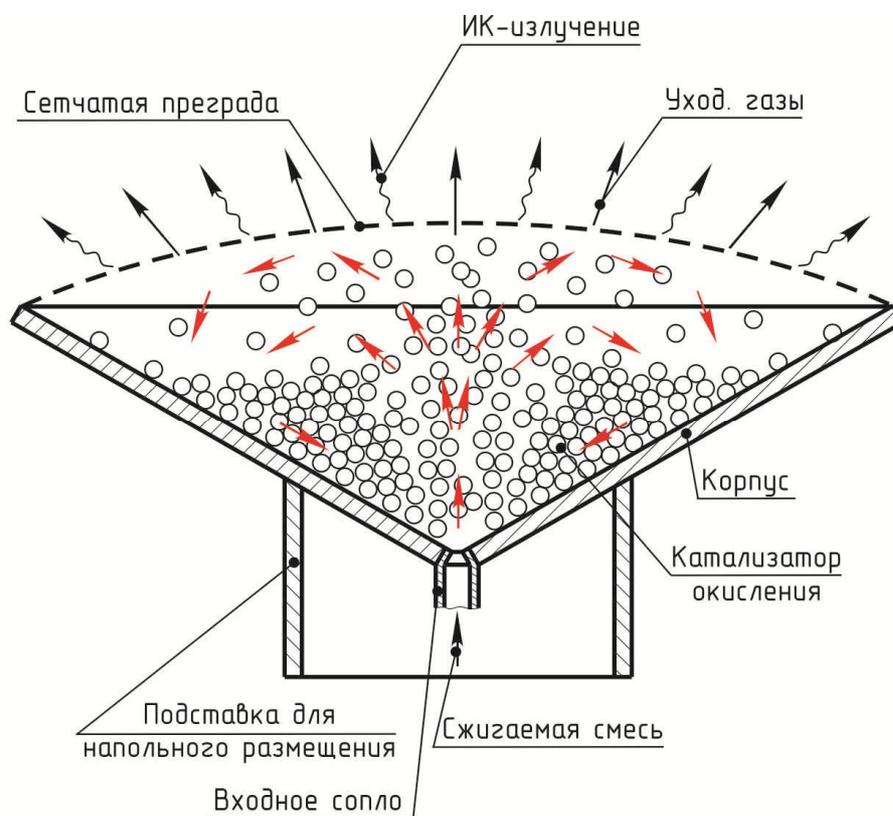
В настоящее время подобные обогреватели снабжаются специальными излучающими поверхностями, которым теплота передается от сгораемого топлива. Ввиду того, что реакция окисления углеводородов является экзотермической с большим количеством выделяющейся энергии, то организация специальных излучающих поверхностей в каталитических устройствах сжигания является нецелесообразным. Это связано с тем, что процесс передачи теплоты от каталитического наполнителя к излучающей поверхности затруднен ввиду малой площади контакта (наполнитель - поверхность) и присутствие прослойки топочных газов, что будет вызывать перегрев каталитического наполнителя и снижение возможностей системы по передаче теплоты от излучающей поверхности.

Таким образом, необходимо организовать процесс окисления углеводородов биогенных жидких и газообразных топлив так, чтобы поверхностный слой каталитического наполнителя, обладающей самой высокой температурой в системе, являлся одновременно излучающей поверхностью.

Инфракрасные обогреватели позволяют образовывать локальные системы обогрева, при которых происходит обогрева только требуемых рабочих или производственных поверхностей или участков, при котором не происходит значительного обогрева циркулирующего в рамках одного объекта воздуха. Для использования указанного преимуществ инфракрасных обогревателей разработана каталитическая система локального обогрева, представленная на рисунках 1,2.

Рассмотрим процесс функционирования каталитической системы локального обогрева в напольном исполнении (Рис. 1).

В процессе функционирования в каталитическую систему поступает сжигаемая смесь. Сжигаемая смесь подводится в нижней части корпуса через входное сопло, которое позволяет повысить скорость движения смеси и интенсифицировать процесс движения наполнителя. Корпус каталитической системы представляет собой конус, который играет роль отражателя для инфракрасного излучения и направляющей поверхности, по которой осуществляется возврат циркулирующего наполнителя к входному соплу. Корпус может быть теплоизолирован для исключения тепловых потерь с тыльной стороны обогревателя.



**Рисунок 1 – Конструкция локального инфракрасного обогревателя в напольном исполнении**

Корпус устанавливается на горизонтальной поверхности за счет подставки для напольного размещения. После подачи сжигаемой смеси в корпус обогревателя поток смеси взаимодействует с каталитическим наполнителем. При осуществлении реакции окисления выделяется теплота, которая нагревает наполнитель, и образуются продукты сгорания.

Затем продукты сгорания удаляются через верхнюю часть корпуса. При движении сжигаемой смеси и продуктов сгорания также организуется движение каталитического наполнителя, направленное из каталитической системы. Для исключения ситуаций уноса наполнителя из системы верхняя часть корпуса закрывается сетчатой преградой, пропускающей уходящие газы, но не пропускающей каталитический наполнитель. В результате при контакте с сетчатой преградой наполнитель распределяется по периферии конического корпуса, откуда под действие силы тяжести постепенно скатывается к входному соплу. В результате каталитический наполнитель нагревается до состояния, при котором начинает излучать инфракрасное излучение, которое, проходя через сетчатую преграду, поступает в обогреваемое помещение.

В результате в обогреваемое помещение поступает длинноволновое инфракрасное излучение, которое характеризуется не глубоким проникновением в организм человека и практически отсутствующим воздействием на внутренние органы. Длинноволновый спектр инфракрасного излучения обуславливается особенностями процесса каталитического окисления, позволяющего снизить температуру окисления углеводородов ниже 600 °С. Более низкие температуры процесса окисления по сравнению с факельным сжиганием топлива, позволяют использовать менее жаростойкие материалы для изготовления корпуса.

Также в процессе функционирования каталитической системы в помещение подаются уходящие после процесса горения газы, которые являются экологически безопасными (отсутствуют монооксид углерода, оксиды азота, бензопирен и т.д.). В результате полностью используется теплота сгорания топлива (уходящие газы не удаляются в атмосферу), в том числе скрытая теплота парообразования (происходит постепенная конденсация паров воды в помещении). При этом подобные

каталитические системы могут использоваться для обогрева части приточного воздуха, пропускаемого вместе со сжигаемой смесью через каталитический наполнитель.

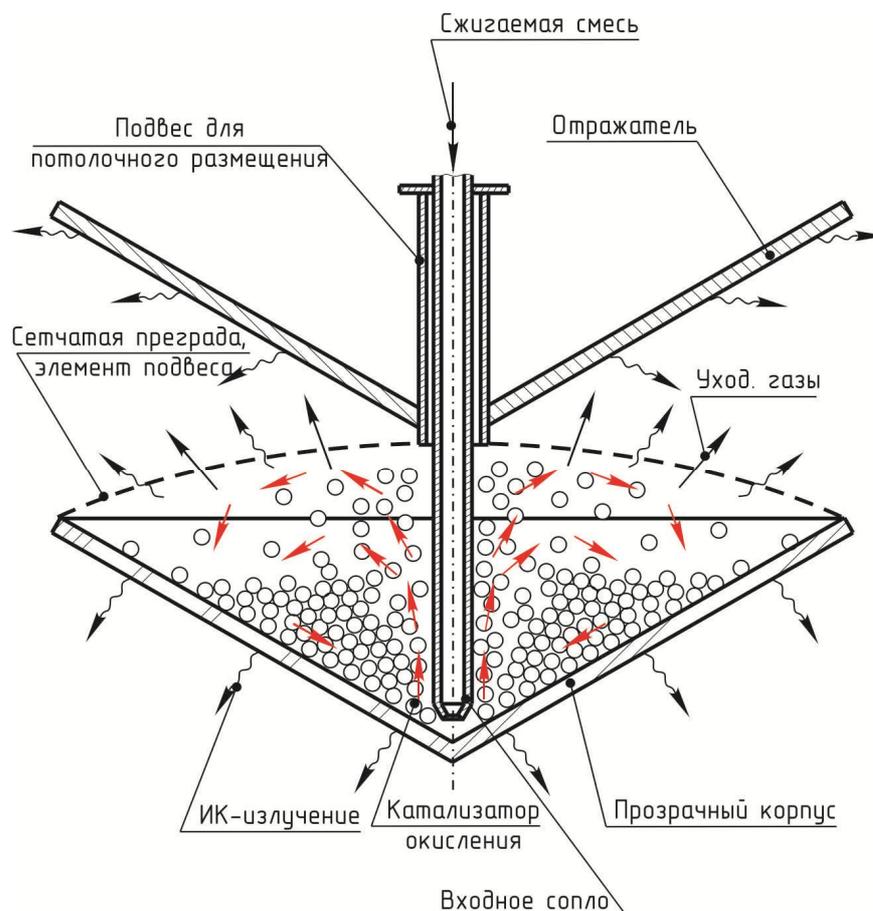
Перемещение каталитического наполнителя между зонами *предварительного подогрева*, которая расположена у входного сопла, *интенсивного горения и догорания*, которые расположены в области подъема каталитического наполнителя, и *возврата*, которая находится на периферии конического корпуса, позволяет обеспечить стабильные условия эксплуатации наполнителя, полноту использования реакционной и излучающей поверхностей наполнителя.

Использование газообразного биогенного топлива осуществляется путем предварительной подготовки сжигаемой смеси при смешении потоков газообразного топлива и окислителя в необходимой пропорции и непосредственной подаче полученной смеси в каталитическую систему. Использование жидкого биогенного топлива также заключается в приготовлении сжигаемой смеси, представляющей в данном случае топливно-воздушный аэрозоль. Жидкое топливо с помощью специальных форсунок распыляется в потоке окислителя до образования аэрозоля, который затем подается в каталитическую систему. Также имеется возможность использования твердого биогенного топлива в виде пыле-воздушного аэрозоля.

Рассмотрим процесс функционирования каталитической системы локального обогрева в потолочном исполнении (Рис. 2).

В каталитическую систему поступает сжигаемая смесь, однако в отличие от напольного исполнения, смесь подается по трубопроводу сверху вниз. При достижении нижней части корпуса, смесь вводится в каталитическую систему по средствам обращенного вниз входного сопла. Корпус каталитической системы также представляет собой конус, однако в данном случае он должен быть выполнен из прозрачного для

длинноволновых инфракрасных лучей материала (жаропрочные стекла, металлические стекла и т.д.), что позволяет передавать тепловую энергию непосредственно от каталитического наполнителя в помещение. Корпус монтируется к потолку с помощью специального подвеса. Процесс тепловыделения и движения каталитического наполнителя аналогичен описанной ранее системе. Для исключения ситуаций уноса наполнителя из системы верхняя часть корпуса также закрывается сетчатой преградой, пропускающей уходящие газы, но не пропускающей каталитический наполнитель. Для предотвращения прогрева потолка, к которому подвешена каталитическая система, применяется отражатель инфракрасного излучения. Излучение, выходящее через сетчатую преграду, распределяется с помощью отражателя по обогреваемому помещению.



**Рисунок 2 – Конструкция локального инфракрасного обогревателя в потолочном исполнении**

### ***Выводы***

Разработанные технические решения каталитических систем локального обогрева с нестационарным слоем катализатора при окисления углеводородов биогенных жидких и газообразных топлив позволяют использовать поверхностный слой каталитического наполнителя, обладающий самой высокой температурой в системе, в качестве излучающей поверхности.

При достаточных значениях циркуляции температура наполнителя в рамках каталитической системы остается практически постоянной, что обеспечивает стабильные условия эксплуатации наполнителя (исключение ситуаций перегрева и потери реакционных свойств катализатора), полноту использования реакционной поверхности наполнителя (исключаются ситуации образования застойных зон при движении наполнителя и зон с температурой наполнителя ниже температуры процесса окисления), а также полноту использования излучающей поверхности наполнителя (весь объем наполнителя используется для передачи теплоты излучением в рамках каталитической системы).

При совместном использовании потолочных и напольных локальных инфракрасных обогревателей в совокупности с системой отражателей излучения возможна организация высококачественного теплоснабжения производственных объектов лесного и агропромышленного комплексов, учитывающего особенности конкретного объекта и производственного цикла в тепловой энергии, и основанного на выделении в объекте локальных участков с индивидуальными потребностями в теплоснабжении.

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный*

контракт № 16.552.11.7089 от 12 июля 2012 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «ПГТУ».

### Библиографический список

1. 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 – 677
2. van Giezen, J. C. The development of novel metal-based combustion catalysts / J.C. van Giezen, M. Intven, M. D. Meijer et al. // Catal. Today. – 1999. - № 47. – p. 191-197
3. Zhi-yong, P. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas / P. Zhi-yong, D. Chao-yang, S. Shi-kong // Ranliao Huaxue Xuebao. – 2000. - № 4. – p. 348.
4. Theophilos, P. Development of a novel heat-integrated wall reactor for the partial oxidation of methane to synthesis gas / P. Theophilos, V. Xenophon // Catal. Today. – 1998. - № 46. – p. 71-81.
5. Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН – РЕВЕРС-ПРОЦЕСС - Каталитическая очистка отходящих газов [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION\\_ID=1483](http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1483), свободный.
6. Ismagilov, Z. R. Fluidized bed catalytic combustion / Z. R. Ismagilov, M. A. Kerzhentsev // Catal. Today. – 1999. - № 47. – p. 339-346.
7. Сидыганов Ю.Н. Нестационарные каталитические системы для утилизации биогаза / Ю.Н. Сидыганов, 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.
8. Сидыганов Ю.Н. Повышение эффективности разрабатываемых каталитических систем для утилизации биогаза / Ю.Н. Сидыганов, 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.
9. 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.

### References

1. Luk'janov, B. N. Jekologicheski chistoe okislenie uglevodorodnyh gazov v kataliticheskix 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
2. van Giezen, J. C. The development of novel metal-based combustion catalysts / J.C. van Giezen, M. Intven, M. D. Meijer et al. // Catal. Today. – 1999. - № 47. – p. 191-197

3. Zhi-yong, P. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas / P. Zhi-yong, D. Chao-yang, S. Shi-kong // *Ranliao Huaxue Xuebao*. – 2000. - № 4. – p. 348.
4. Theophilos, P. Development of a novel heat-integrated wall reactor for the partial oxidation of methane to synthesis gas / P. Theophilos, V. Xenophon // *Catal. Today*. – 1998. - № 46. – p. 71-81.
5. Institut kataliza im. G. K. Boreskova SO RAN – REVERS-PROCESS - Kataliticheskaja ochildka othodjashhih gazov [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION\\_ID=1483](http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1483), svobodnyj.
6. Ismagilov, Z. R. Fluidized bed catalytic combustion / Z. R. Ismagilov, M. A. Kerzhentsev // *Catal. Today*. – 1999. - № 47. – p. 339-346.
7. Sidyganov Ju.N. Nestacionarnye kataliticheskie sistemy dlja utilizacii biogaza / Ju.N. Sidyganov, A.A. Medjakov, A.D. Kamenskih, 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.
8. Sidyganov Ju.N. Povyshenie jeffektivnosti razrabatyvaemyh kataliticheskikh sistem dlja utilizacii biogaza / Ju.N. Sidyganov, A.A. Medjakov, A.D. Kamenskih, 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.
9. Medjakov A.A. Razrabotka novyh kataliticheskikh sistem dlja processov poluchenija biogaza / Medjakov A.A., Kamenskih A.D. // *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie*. - 2011. - № 3. – S. 88-94.