Результаты исследования гидродинамических характеристик регулярной насадки из соплообразных элементов

к.т.н. Пушнов А.С., к.т.н. доц. Баранова Е.Ю., к.т.н. Соколов А.С.
Университет машиностроения
8(499)267-07-97, pushnovas@gmail.com, echuma@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик регулярной насадки из соплообразных элементов. Представлены результаты сопоставительного анализа различных типов насадок, показывающие, что исследуемая насадка обладает более развитой удельной поверхностью при гидравлическом сопротивлении, сопоставимом с наиболее распространенными промышленными насадками.

Ключевые слова: новая регулярная насадка, удельная поверхность, гидродинамические характеристики

Регулярно уложенные в колонный аппарат кольцеобразные насадки, а также насадки в виде вертикально расположенных гофрированных листов для осуществления процессов тепло- и массообмена получили довольно широкое применение в химической промышленности, а также в энергетике [1-9]. При этом в последнее время были опубликованы исследования, направленные на разработку новых способов укладки кольцевых насадок с определенным дистанционированием соседних элементов насадки друг относительно друга [10, 11], что позволяет избежать образования менисков и других вредных застойных зон в местах контактов соседних кольцевых элементов друг с другом, увеличивая тем самым активную поверхность слоя насадки [6].

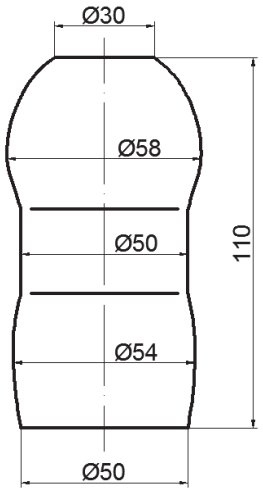

Рисунок 1. Общий вид элемента насадки

В соответствии с данными работ [16, 17] представляет практический интерес реализация пульсирующего режима течения газового потока в слое регулярной насадки из вертикальных цилиндрических элементов, выполненных с плавным сужением в своей центральной части, подобных соплу Лаваля [18]. Геометрическая форма элемента такой насадки показана на рисунке 1.

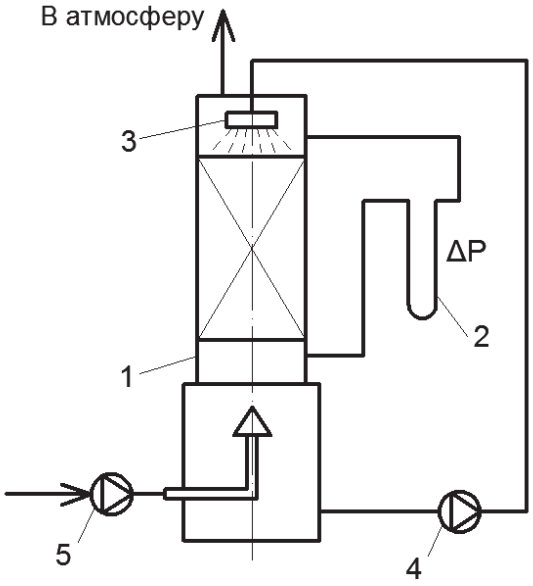

Рисунок 2. Схема опытного стенда: 1 – опытная колонна с насадкой; 2 – манометр; 3 – водораспределительная система; 4 – насос; 5 – вентилятор

Результаты гидродинамических испытаний сухой и орошаемой регулярной насадки из полимерных соплообразных элементов представлены ниже.

Опыты проводили на стенде, схемы которого показаны на рисунке 2. Испытуемая насадка загружалась в стеклянные царги колонного аппарата диаметром 200 мм. Высота слоя насадки в опытах составляла 600 мм. Опыты проводили на системе воздух – вода в диапазоне скоростей газового потока от 0,1 до 1,1 м/с и нагрузок по жидкости от 9,6 до 19,1 $м^3/(м^2ч)$.

Общий вид колонного аппарата с испытуемой насадкой представлен на рисунке 3.

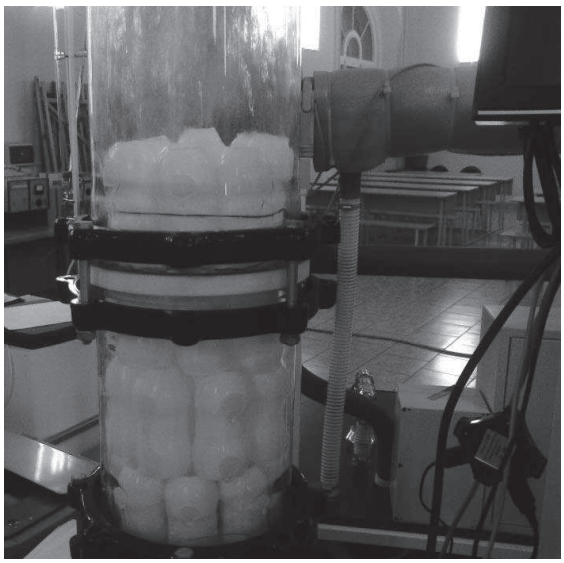

Рисунок 3. Фотография опытного стенда с вертикально установленными в стеклянной колонне элементами испытанной насадки

Основные геометрические характеристики испытанной соплообразной насадки представлены в таблице 1. Зависимость удельной поверхности a ($м^2/м^3$) регулярных насадок различной конструкции от величины порозности ε ($м^3/м^3$) представлена на рисунке 4. Как сле-

дует из данных этого рисунка, в классе регулярных насадок можно выделить две группы, в которых зависимости a=f(ε) имеют различный характер:

- хордовые и геликоидные насадки;
- структурированные насадки из гофрированных листов.

Графические зависимости a=f(ε) для каждой из этих двух групп насадок описываются, соответственно, кривыми 8 и 7 на рисунке 4.

Таблица 1.

Геометрические характеристики испытанной регулярной соплообразной насадки

Габаритные размеры насадки, мм	Удельная поверхность a, м^2/м^3	Порозность ε м^3/м^3	Эквивалентный диаметр, d_e,м	Число элементов насадки в 1 м^3
58x110	518,99	0,99	7,63x10^{-3}	90

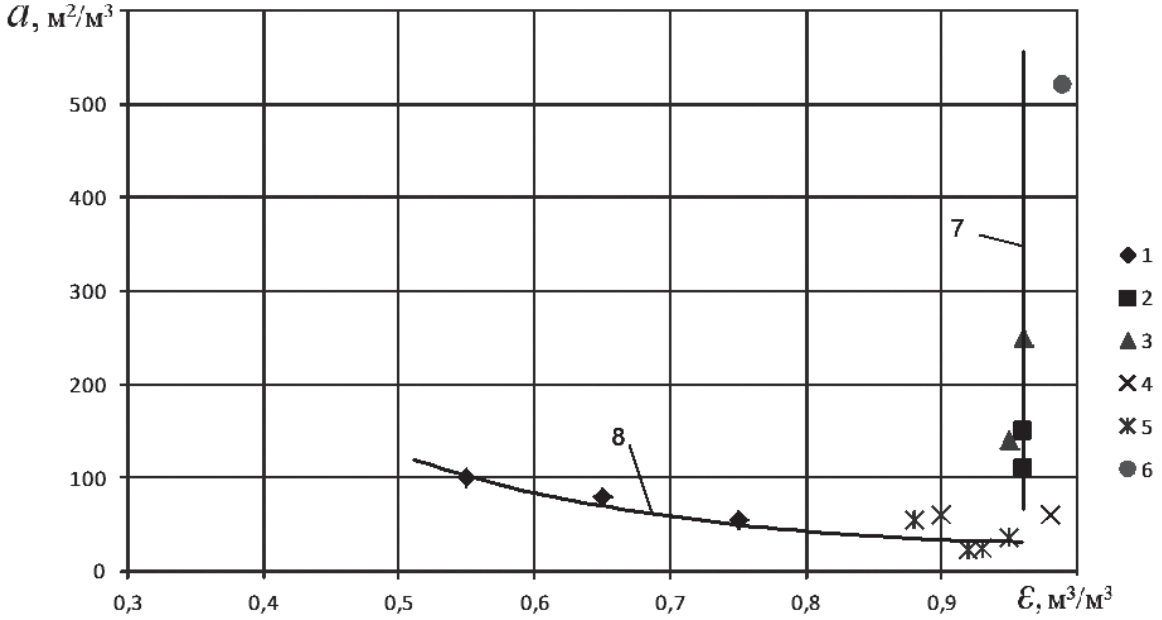

Рисунок 4. Зависимость a=f(ε) для различных регулярных насадок: 1 – деревянная хордовая насадка по данным [12]; 2 – регулярная насадка из полимерных гофрированных листов по данным [13]; 3 – структурированная насадка из вертикальных гофрированных листов по данным [14]; 4 – регулярная насадка в форме каплевидных профилей из сетки, выполненной из лавсановых мононитей по данным [13]; 5 – регулярная насадка из горизонтально расположенных полимерных четырехзаходных геликоидных элементов по данным [7, 15]; 6 – испытанная в настоящей работе регулярная насадка из соплообразных элементов; 7 – обобщение результатов по структурированным насадкам [12]; 8 – обобщение результатов по хордовой и геликоидной насадкам

Испытанная нами[1] регулярная насадка из соплообразных элементов по своим геометрическим характеристикам – удельной поверхности и порозности, а также форме элементов – может быть отнесена к классу структурированных насадок (см. рисунок 4).

[1] В проведении экспериментов принимала участие Софронова О.

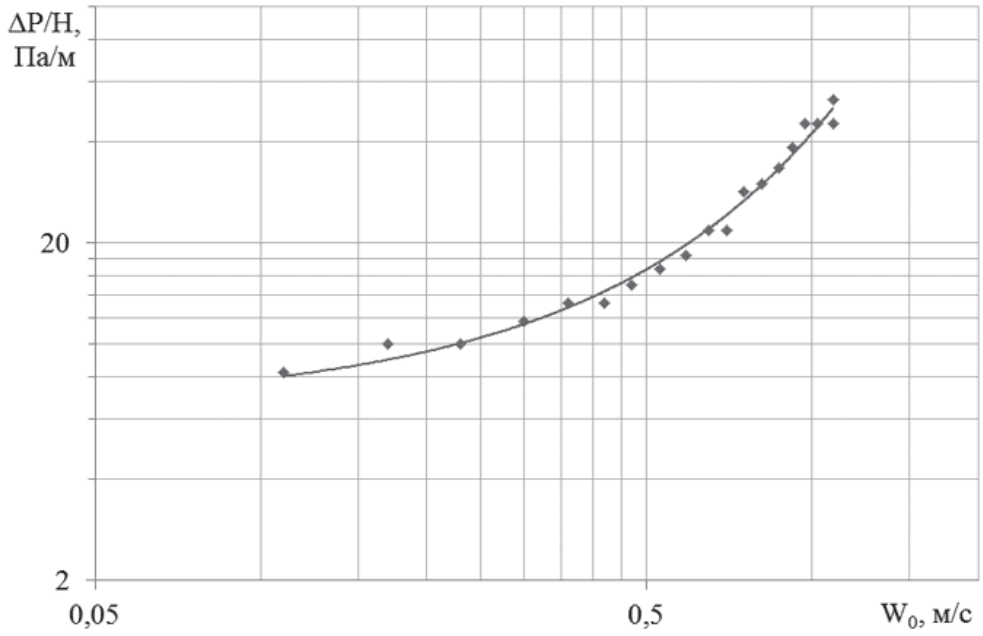

Рисунок 5. Зависимость $\Delta P/H=f(W_0)$ для сухой сопловой насадки

Результаты опытов по испытаниям гидравлического сопротивления сухой сопловой насадки представлены на рисунке 5. Здесь ΔP – потери напора, Па; H – высота слоя насадки, м; W_0 – средняя скорость воздушного потока в расчете на полное сечение пустого аппарата (фиктивная скорость), м/с.

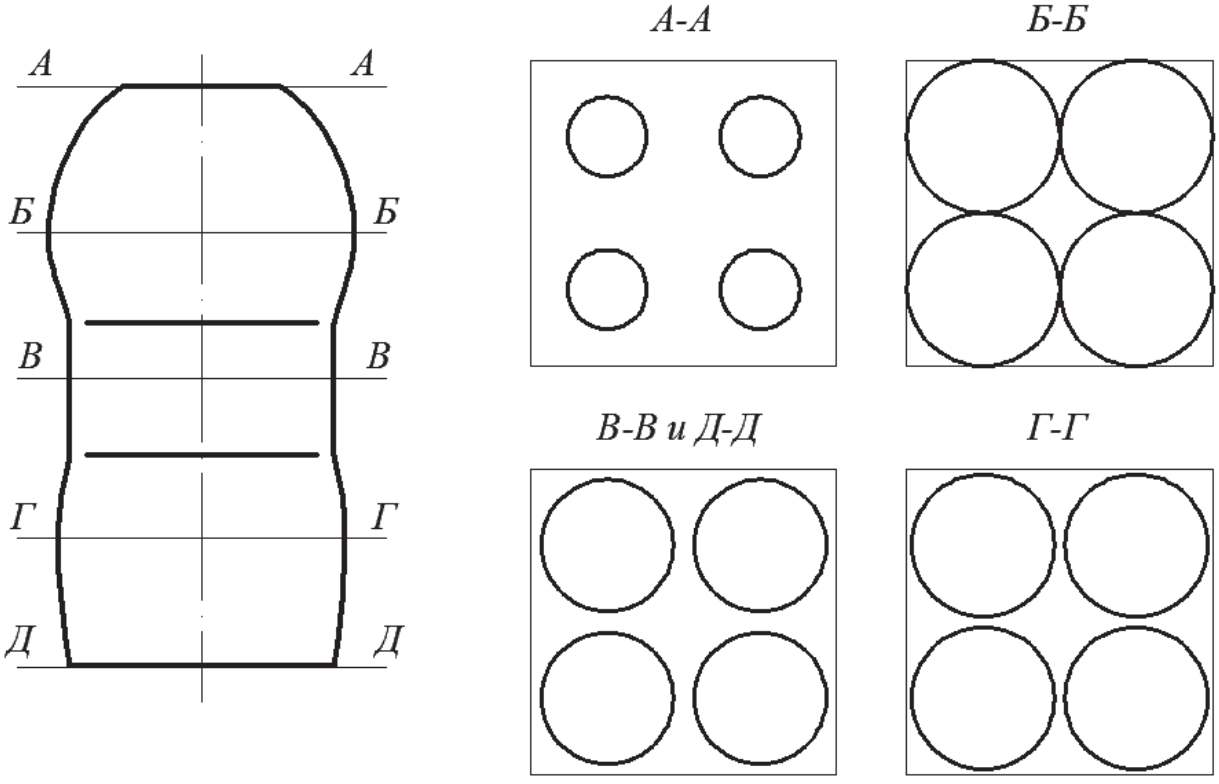

Рисунок 6. Изменение живого сечения по высоте регулярной сопловой насадки

На рисунке 6 схематически показано изменение живого сечения каналов сопловой насадки по её высоте. Как это видно, площадь живого сечения и форма сквозных каналов сопловой насадки постоянно изменяется по высоте, что приводит к соответствующему изменению пульсации локальных расходов газовой фазы по высоте насадки [18] и, как следствие, к известной интенсификации процессов тепло и массообмена в аппарате [16, 17].

На рисунке 7 показаны результаты сравнения потери напора испытанной и других промышленных насадок, в том числе хордовых, колец Рашига 50х50, насадки их цепей [19] и других. Как видно из рисунка 7, предлагаемая сопловая насадка в диапазоне линейных скоростей воздушного потока W_0 от 0,3 до 0,7 м/с имеет более низкое гидравлическое сопротивление (на 15-20%) по сравнению с кольцами Рашига 50х50, а также насадкой из цепей [19]. Следует отметить, что предложенная в [19] насадка из цепей имеет меньшую, по сравнению с сопловой, величину удельной поверхности – 433 $м^2/м^3$ против 519 $м^2/м^3$. Вместе с тем, сопловая насадка имеет на 30-50% большее гидравлическое сопротивление по сравнению с хордовой насадкой в виде решеток, уложенных накрест [1].

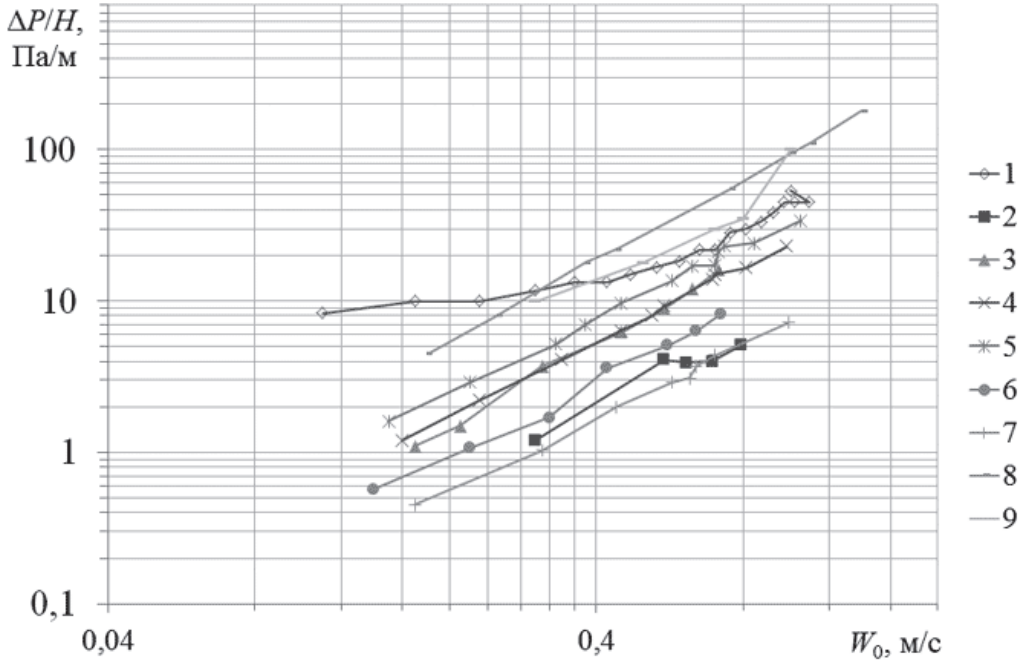

Рисунок 7. Зависимость $\Delta P/H$=f(W_0) для различных сухих насадок: 1 – испытанная сопловая насадка; 2 – керамические кольца Рашига 50х50х5, уложенные трубчаткой [1]; 3 – керамические кольца Рашига 50х50х5, уложенные в шахматном порядке [1]; 4, 5, 6, 7 – хордовые насадки в виде решеток, уложенных на крест [1]; 8 – керамические кольца Рашига 50х50х5 внавал [1]; 9 – цепная насадка [19]

В соответствии с результатами опытов в работах [6, 12, 16, 17] можно ожидать, что сопловая насадка, имеющая более развитую удельную поверхность и гидравлическое сопротивление, соизмеримое с наиболее распространенными промышленными насадками, обеспечит эффективное осуществление процессов испарительного охлаждения оборотной воды в градирнях.

Опытные данные по гидравлическому сопротивлению орошаемой сопловой насадки, в сравнении с данными по сухой насадке, представлены на рис. 8. Как видно из приведенных графиков, сопловая насадка устойчиво работает в пленочном режиме во всем испытанном диапазоне нагрузок по газу и жидкости.

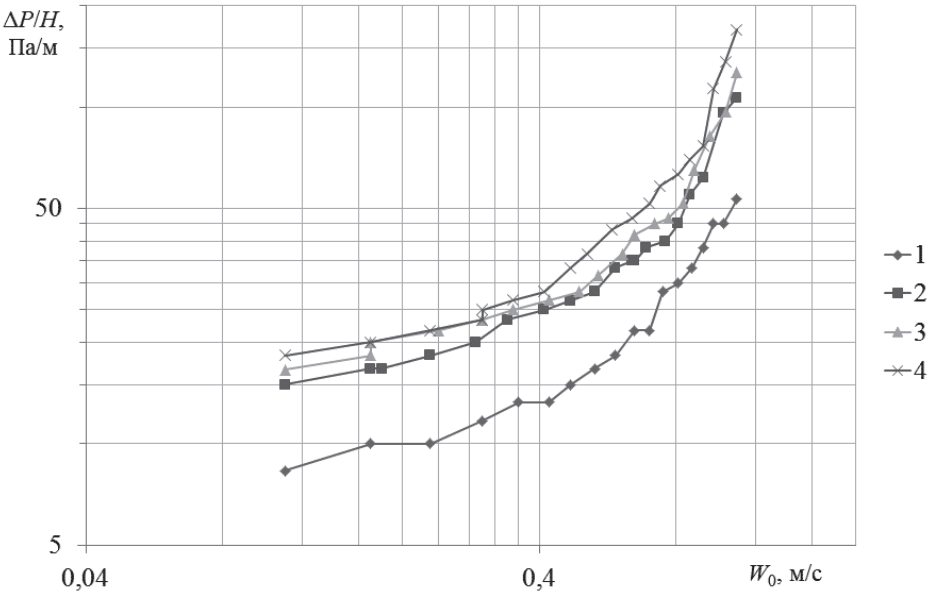

Рисунок 8. Зависимость $\Delta P/H=f(W_0)$ для сухой и орошаемой испытанной насадки: 1 – сухая насадка; 2 – нагрузка по жидкости $q_ж$=9,6 м^3/м^{2}ч; 3 – нагрузка по жидкости $q_ж$=14,4 м^3/м^{2}ч; 4 – нагрузка по жидкости $q_ж$=19,1 м^3/м^{2}ч

Выводы

Предлагаемая сопловая насадка обладает более развитой удельной поверхностью, по сравнению с известными распространенными регулярными насадками, при сопоставимом гидравлическом сопротивлении, поэтому она может повысить разность температур охлаждаемой воды в градирнях при замене существующих насадок в ходе реконструкции градирен.

Литература

1. Жаворонков Н.М. Теоретические основы химической технологии: избранные труды/ Н.М. Жаворонков; [Составитель, ответственный редактор Н.Н. Кулов]; М.: Наука, 2007, 351 с.
2. Рамм В.М. Абсорбция газов. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М.: Химия, 1976, 311 с.
3. Гельперин И.И., Каган А.М. Развитие аэродинамических исследований неподвижного зернистого слоя// Химическая промышленность, 1984, №12, с. 37-42.
4. Пушнов А.С., Каган А.М. Расчет гидравлического сопротивления неподвижных слоев зерен цилиндрической формы различного размера// Химическая промышленность, 1989, №9, с. 54-57.
5. Каган А.М., Пушнов А.С., Юдина Л.А. К вопросу о связи гидравлического сопротивления нерегулярных тепло-массообменных насадок с их эффективностью// Химическая промышленность, 2011, т. 88, №2, с. 75-81.
6. Каган А.М., Юдина Л.А., Пушнов А.С. Активная поверхность элементов нерегулярных тепло-массообменных насадок// ТОХТ, 2012, т. 46, №2, с. 199-206.
7. Каган А.М., Пушнов А.С., Рябушенко А.С. Сравнительные характеристики промышленных регулярных насадок из пластических масс и других материалов для осуществления процессов испарительного охлаждения воды в градирнях// Пластические массы, 2007, №12, с. 51-54.
8. Коморович Т., Магера Я., Баранов Д.А., Беренгартен М.Г. Насадки структурно-кольцевые// Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2001, №8, с. 8-10.
9. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ Под общей редакцией В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат, 1988, 376 с.

10. Петрашова Е.Н. Совершенствование насадок для сепарации капель в контактных аппаратах. Автореферат диссертации на соиск. уч. степени к.т.н. М.: МГУИЭ, 2012, 16 с.
11. Пушнов А.С., Петрашова Е.Н., Лагуткин М.Г. Геометрические характеристики регулярно уложенных кольцевых керамических насадок в колонных массообменных аппаратах// Химическая промышленность, 2010, т. 87, №7, с. 350-352.
12. Пушнов А.С., Петрашова Е.Н., Лагуткин М.Г. Влияние гидравлического сопротивления и геометрических параметров насыпных насадок на эффективность осуществления процессов тепло и массообмена// Химическая промышленность сегодня, 2012, №4, с. 29-32.
13. Пушнов А.С., Масагутов Д.Ф., Кашапов Н.Ф. Испытания новой регулярной насадки в форме каплевидного профиля из сетчатых элементов// Химическая техника, 2012, №12, с. 35-40.
14. Дмитриева Г.Б. Гидродинамика и массообмен в структурированных насадках из гофрированных листов. Автореферат диссертации на соиск. уч. степени к.т.н. Иваново: Ив.ГХТУ, 2007, 16 с.
15. Рябушенко А.С. Гидродинамика и испарительное охлаждение в насадках для градирен. Автореферат диссертации на соиск. уч. степени к.т.н. М.: МГУИЭ, 2009, 16 с.
16. Лаптев А.Г. Модели пограничного слоя и расчет тепломассообменных процессов. Казань: Издательство Казанского ун-та, 2007, 500с.
17. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Минеев Н.Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии. Монография. Казань: КГЭУ, 2010, 54 с.
18. Пушнов А., Софронова О., Баранова Е. Гидродинамика регулярных насадок из сужающихся цилиндрических элементов// Silumos Energetika ir Technologijos – 2013; Konferencijos pranesimu medziaga. Kauno technologijos universitetas Konferencija, 2013 m. sausio 31 – vasario 1 d. Kaunas: TECHNOLOGIJA, 2013, p. 41-44.
19. Рыжов С.О., Бальчугов Л.В. Гидравлические исследования цепной насадки// Химическая промышленность сегодня, 2013, №2, с. 34-42.

Инновационные технологии переработки отходов

Чл-корр. РАН д.т.н. проф. Систер В.Г.[1], Животов В.К.[2], Коробцев С.В.[2], Иванникова Е.М.[1,3], Ямчук А.И.[1,3]

[1] – Университет машиностроения, г. Москва
[2] – ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
[3] – ООО «Национальная инновационная компания»
iegh510@yandex.ru

Аннотация. Представлены разработки кафедры «Инженерная экология городского хозяйства» Университета машиностроения в части методов переработки различных видов отходов. Безотходная технология газификации в расплаве металла позволяет перерабатывать коммунальные отходы с получением синтез-газа и электроэнергии в газовой турбине. Технология была унифицирована по виду исходного сырья, возможна переработка местных топливных ресурсов, в т.ч. торфа, угля, отходов производства, бытовых отходов, других углеродсодсодержащих топлив. Предлагается использовать полученный синтез-газ в когенерационных энергетических установках и энерготехнологических комплексах. Разработана технология переработки и утилизации полимерных материалов с использованием катализаторов нового поколения методом низкотемпературного каталитического пиролиза. Разработана технология переработки пищевых отходов с получением кормовых добавок методом биоконверсии.