

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Российская академия наук  
Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского  
Комиссия Российской Федерации по делам ЮНЕСКО  
Администрация Тамбовской области  
Ассоциация «Объединенный университет имени В.И. Вернадского»  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**  
Национальный офис TEMPUS в Российской Федерации  
Университет г. Генуя (Италия)

*150-летию со дня рождения  
Владимира Ивановича Вернадского  
посвящается*

# **НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ, ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА**

Сборник докладов

**Том 4**

**Международная  
научно-практическая конференция  
6 – 8 июня 2013 г.**



---

Тамбов  
2013

УДК 502  
ББК Б1я43  
Н-34

Редакционная коллегия:

С.И. Дворецкий – *председатель*,  
Н.С. Попов – *зам. председателя*,  
Н.В. Молоткова, М.Н. Краснянский, А.В. Козачек

Н-34 Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества : сборник докладов Международной научно-практической конференции. – В 4 т. / под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н.С. Попова ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2013. – Т. 4. – 388 с. – 82 экз. ISBN 978-5-8265-1204-3.

ISBN 978-5-8265-1199-2

В четвертом томе материалов конференции опубликованы доклады участников восьмой и девятой секций, посвященные проблемам энерго- и ресурсосбережения, создания мало- и безотходных производств, а также системам защиты здоровья людей от опасностей и угроз природного и техногенного характера.

Предназначены для специалистов, аспирантов и студентов, занимающихся проблемами современного развития природы и общества, инновационными технологиями и изучением наследия В.И. Вернадского.

*Материалы представлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.*

**ISBN 978-5-8265-1199-2**  
**ISBN 978-5-8265-1204-3**

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2013 (полиграфическое исполнение)

# ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ, СОЗДАНИЯ МАЛО- И БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

---

---

УДК 66.081.6-278

ББК Л113.91-05

## Диффузия солей тяжелых металлов через обратноосмотические мембраны

Абоносимов Д.О., Костылева М.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

При инженерных методиках расчета процесса обратного осмоса необходимо иметь экспериментальные данные по кинетическим параметрам массопереноса. Одной из составляющих массопереноса при обратноосмотическом разделении является диффузионная проницаемость мембран – это процесс переноса растворенных веществ через мембрану под действием градиента концентраций [1, 2].

Для количественной оценки диффузионной проницаемости введен коэффициент диффузионной проницаемости  $P_d$ , который зависит от типа мембраны, раствора и концентрации.

В качестве экспериментальных растворов использовались соли хрома и меди, как основные компоненты гальваностокков. В исследованиях использовались ацетатцеллюлозные мембраны МГА-95 и МГА-95П.

Исследования по определению диффузионной проницаемости мембран проводились на установке, схема и принцип работы которой подробно рассмотрены в работе [3].

Зависимости коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации растворов хрома и меди представлены на рис. 1, 2.

При анализе представленных зависимостей можно отметить, что с ростом концентрации диффузионная проницаемость по меди и хрому возрастает. Это объясняется гипотезой, основанной на сорбционно-диффузионном поведении системы, известный сегодня как механизм растворения-диффузии.

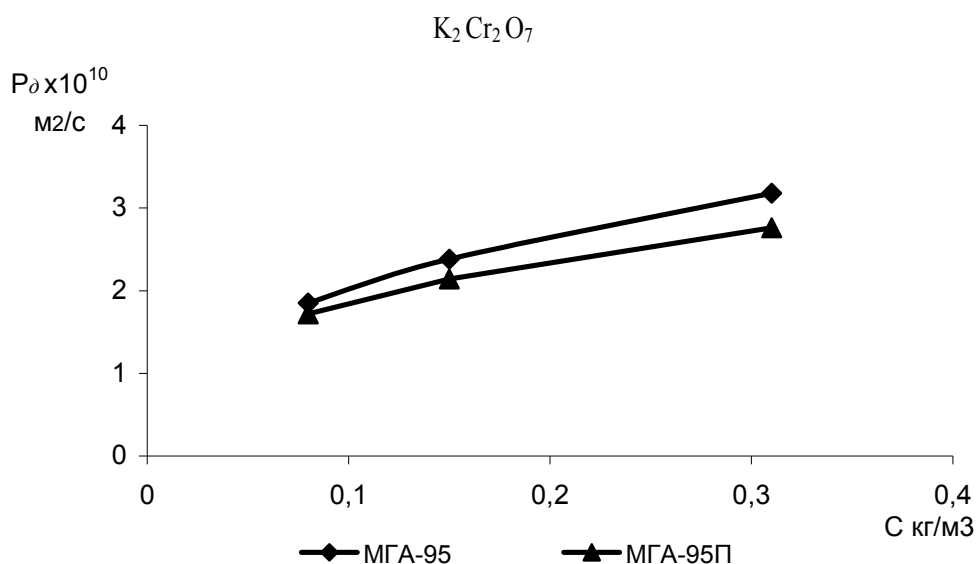


Рис. 1. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора  $K_2Cr_2O_7$

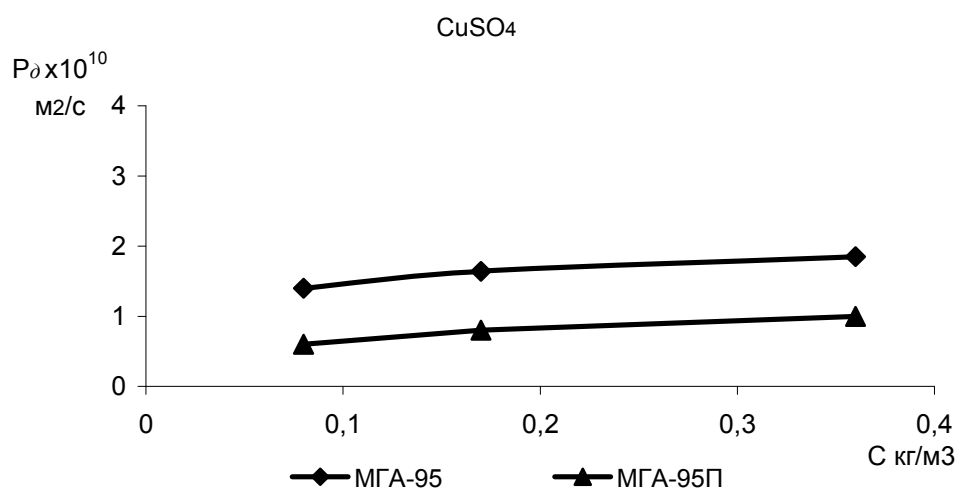


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора  $CuSO_4$

По экспериментальным данным по диффузионной проницаемости и сорбционной емкости рассчитывали экспериментальный коэффициент диффузии солей хрома и меди через мембраны по формуле (1)

$$D_{\partial} = \frac{P_{\partial} \cdot C_{исх}}{\bar{C}}, \quad (1)$$

где  $\bar{C}$  – концентрация вещества в мембране.

По результатам работы установлено, что с повышением концентрации в исходном растворе коэффициент диффузии увеличивается для обоих растворов и типов мембран. Увеличение коэффициента диффузии с ростом концентрации характерно для сильноразбавленных растворов, к которым относятся исследуемые растворы [3].

По экспериментальным данным были рассчитаны аппроксимационные зависимости коэффициента диффузии от концентрации исследуемых растворов

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.»

#### *Список использованной литературы*

1. Дытнерский, Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1975. – 252 с.

2. Исследование коэффициента диффузионной проницаемости олова сернокислого на двухкамерной диффузионно-осмотической ячейке / С.В. Ковалев, С.И. Лазарев, Г.С. Кормильцин и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. – Воронеж. – 2008. – Т. 10, № 3. – С. 217-222.

3. Николаев, Н.И. Диффузия в мембранах / Н.И. Николаев. – М.: Химия, 1980. – 232 с.

## Исследование концентрирования солевых растворов обратным осмосом

Акулиничев А.М.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В химической, пищевой промышленности при производстве получают большое количество рабочих растворов и сточных вод, содержащих соли различных веществ, которые в свою очередь необходимо обрабатывать (разделять, концентрировать). Возникает необходимость утилизации солевых растворов. Наиболее перспективным для концентрирования солевых растворов является метод обратного осмоса [1]. С целью определения основных характеристик процесса обратноосмотического концентрирования солевых растворов проведены исследования на обратноосмотической установке рулонного типа, представленной на рис. 1.

Установка состояла из обратноосмотического модуля 1, емкости исходного раствора 2, емкости пермеата 3, насоса 4, дросселя 5, ротаметров для пенетрата 6 и пермеата 7, манометра 8, термометра 9, вентиля 10. Основным разделительным элементом установки является обратноосмотический модуль 1, в который устанавливались два обратноосмотических рулонных модуля типа ЭРО-Э-6,5/900А с мембранами МГА-95.

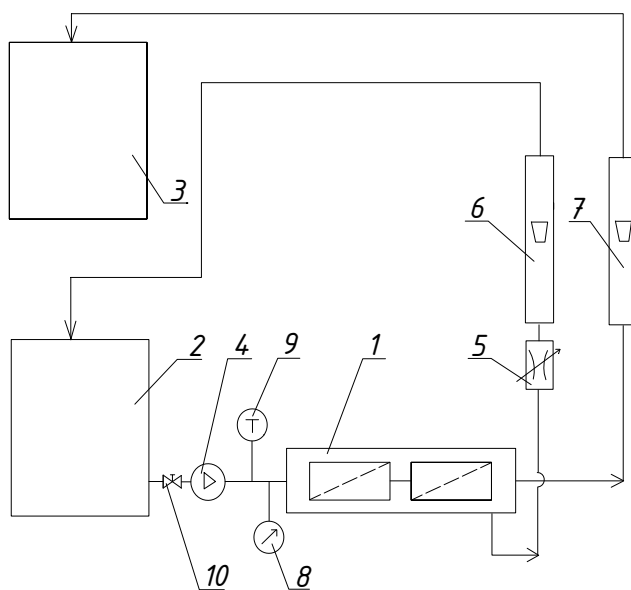


Рис. 1. Схема обратноосмотической установки

В качестве объектов исследования использовались модельные растворы, содержащие хлорид натрия в пределах концентрации от 6 до 70 кг/м<sup>3</sup>.

Основными характеристиками обратноосмотического концентрирования растворов являются коэффициент задержания и удельная производительность [2].

Исследования по изучению коэффициента задержания и удельной производительности обратноосмотического концентрирования проводились следующим образом. Из емкости 2 исходный раствор нагнетался в обратноосмотический модуль 1 плунжерным насосом 4 типа НД-2,5, который обеспечивал подачу раствора в пределах от 0 до 2,5 м<sup>3</sup>/ч и создавал давление до 6 МПа. С помощью дросселя 5 в обратноосмотическом модуле устанавливалось необходимое рабочее давление раствора, которое контролировалось электроконтактным манометром 8. Расход раствора контролировался ротаметром 6, а температура измерялась термометром 9. Расход пермеата после обратноосмотического модуля контролировался ротаметром 7.

Предварительно обратноосмотическая установка работала при рабочем давлении 5 МПа и расходом раствора 0,8 м<sup>3</sup>/ч в течение двух часов в циркуляционном (по пермеату и пенетрату) режиме. При этом пермеат отводился в емкость исходного раствора 2. После выхода установки на стационарный режим проводились необходимые измерения и отбор проб для анализа. Для этого пермеат отводили в емкость 3 и через определенные промежутки времени отбирали пробы на анализ пермеата, пенетрата и исходного раствора. Для отобранных проб проводили анализы на содержание хлорида натрия.

По результатам исследований рассчитывались коэффициент задержания и удельная производительность по следующим формулам:

$$K = \left( 1 - \frac{2C_{пер}}{C_{исх} + C_{пен}} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$J = \frac{V}{F_m \cdot \tau}, \quad (2)$$

где  $C_{исх}$ ,  $C_{пер}$ ,  $C_{пен}$  – концентрации растворенных веществ в исходном растворе, пермеате и концентрате, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объем собранного пермеата, м<sup>3</sup>;  $F_m$  – площадь мембраны рулонных модулей, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время проведения эксперимента, с.

Результаты экспериментальных исследований обратноосмотического концентрирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

$C_{исх},$ кг/м <sup>3</sup>	$C_{пер},$ кг/м <sup>3</sup>	$C_{пен},$ кг/м <sup>3</sup>	$K,$ %	$J10^6,$ м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с
6,6	0,2	8,6	96,7	4,0
10,4	0,4	13,4	96,6	3,8
27,5	1,6	33,6	94,6	2,8
33,8	1,9	39,6	94,5	2,5
42,0	2,5	48,6	94,4	2,2
53,2	3,3	60,5	94,2	1,8
65,2	6,0	69,1	91,1	1,2
76,8	7,4	80,1	90,5	0,7

По результатам экспериментальных исследований можно отметить, что коэффициент задержания с ростом концентрации исходного раствора в пределах от 6,6 до 53,2 кг/м<sup>3</sup> снижается незначительно. Но с дальнейшим ростом концентрации отмечается существенное снижение коэффициента задержания. Это можно объяснить отрицательным влиянием явления концентрационной поляризации на коэффициент задержания при значительном увеличении концентрации исходного раствора.

При рассмотрении зависимости удельной производительности от концентрации исходного раствора можно отметить, что с ростом концентрации происходит снижение удельной производительности. Это происходит в результате снижения движущей силы процесса разделения из-за роста осмотического давления раствора.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.».

#### *Список использованной литературы*

1. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1986. – 272с.
2. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер; пер. с англ. под. ред. С.И. Япольского, В.П. Дубяги. – М.: Мир, 1999. – 513 с.



УДК 502.5=111

ББК Б18

## **The development of low-and resource-saving technologies**

Babenko E.A.

*Tambov State Technical University (Tambov, Russia)*

One of the greening of economic development is the development of low-and resource-saving technologies. Low-waste (waste-free) technology is defined as the practical application of knowledge, methods and tools to ensure that within the human needs to ensure the most rational use of natural resources and protect the environment.

The purpose of low-and resource-saving technologies – creation of closed cycles with full use of incoming raw materials and waste. This is an attempt to reproduce the natural cycles, as the biosphere is a closed system, where all elements are interrelated and cause each other. In the complex of measures to minimize waste and reduce their impact on the environment include:

- the development of waste management systems in the production of secondary material resources;
- the development of technological systems and drainage water circulating through sewage treatment;
- the development and manufacture of new products to meet the requirements for reuse;
- the creation of new manufacturing processes that would eliminate or reduce the technological stage at which the formation of waste.

Only 8% of people on the planet have cars. Hundreds of millions of live in slums or have no roof over their heads. Where in the world will be more people, and they all need to provide housing, medical care, education, automobiles and so on, then this would require an enormous amount of steel, copper, aluminum and many other materials. Society has come to an understanding that such material flows cannot be ensured, so this is not necessary.

Much of the blame for the emissions of carbon compounds and various pollutants lies at the mills in ore extraction and production of steel, copper,

aluminum. However, a large number of products made of steel and aluminum are still finishing their lives in the dump.

In poor countries, has always collected and recycled raw materials, since there are sources of raw materials has always been enough. Rich countries are now studying the proessing and use of recycled materials because of the depletion of primary resources. Collection and recycling is becoming a capital-and energy-intensive sphere of activity. Reduced use of raw materials means that you will accomplish the same thing as before, but using fewer materials. Some manufacturers make products such that after use it can be dismantled and recycled.

Increase life is possible due to improved designs, improved maintainability, as well as through re-use. Better, many worn parts, and products in general, do not recycle, and recover. Modern technologies allow restoring the machinery to the nominal parameters, costing no more than 30% of the cost of new, made of primary natural resources. Renovation of technical products can repeatedly reduce environmental pollution. It consumes 10-100 times lower than the primary production of materials and energy. Today it is clean and resource production.

Significantly reduce the cost of materials may also be the adoption of prohibitions on the use of disposable products (different packaging, packaging materials, utensils, lighters, pens, a large number of electronic products). They constitute the majority of garbage that we throw away every day.

It is also necessary to modernize the production processes to eliminate emissions of toxic substances. Many of the technologies used today came at a time when industrial production was relatively small and hazardous wastes not pose a threat to ecosystems. Waste of resources economy contributes to the introduction of new technologies that require less costly materials.

Great prospects in the field of environmental protection and environmental management are in biotechnology. Industrial biotechnology can help to build a green economy. They are already widely used in everyday life. Biotechnology could significantly reduce the time and energy when washing, baking bread, cheese-making.

The most effective biotechnological solutions that can reduce emissions can be reduced with biogas biomass and wastewater. Modern systems for biotechnology processing can turn any biological waste (bagasse, wood, dung — any organic matter) into biogas, which serves as a source of energy and now in demand in energy and industry. For example, in Central America were built plants operating on waste production of coffee. The Government of India is implementing a plan of biogas production in rural areas of the waste of livestock farms and poultry. Biogas has the following advantages: it is a source of energy, waste process are of high quality fertilizers and the process itself helps to maintain a clean environment.

Biotechnology in a position to make a major contribution to solving the energy problems by producing enough cheap biosynthetic ethanol, which in addition is an important raw material for the microbiological industry in obtaining food and feed proteins.

The development of industry led to the formation of large quantities of waste, including waste containing new man-made elements. Waste water usually contains a complex mixture of insoluble and soluble components of different nature. Stocks of chemical and metallurgical industries may contain a significant amount of toxic and even explosive. Biological methods allow for detoxification so that the components of the effluent does not harm people, do not pollute the environment.

The negative impact on the environment resulting from human activities is not necessary. They are completely avoidable. Pollution is no longer a sign of progress, as a sign of inefficiency and negligence. Industry is already realized and is looking for ways to reduce emissions and save resources, revising the production processes.

### *References*

1. <http://www.naturzdrav.ru/ecology-in-english/possible-solutions-of-global-environmental-problems/>.
2. Gary Steffy, Architectural Lighting Design, John Wiley and Sons, “Energy conservation in the United States”, 2007.

**Электрохимический синтез – путь снижения  
экологической нагрузки производства альтакса**

Бакунин Е.С.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Ускорители вулканизации нашли широкое применение в резино-технической промышленности, и, как правило, представляют собой сложные органические вещества, содержащие азот и серу. Их применение позволяет удешевить технологический процесс и увеличить производительность вулканизационного оборудования, кроме того, многие из них улучшают механические свойства резиновых изделий, задерживают их старение и дают возможность выполнять такие производственные операции, которые были невозможны без их использования. Одним из наиболее распространенных ускорителей вулканизации является 2,2'-дибензтиазолилдисульфид (альтакс).

В настоящее время альтакс получают в промышленности окислением 2-меркаптобензтиазола (2-МБТ) нитритом натрия в кислой среде. Такой процесс осложняется выделением 2 молей оксида азота (II) на 1 моль целевого продукта, кроме того, образуется сульфат натрия (800 кг/т), требующий дополнительной отмывки продукта, а затем и очистки больших объемов сточных вод (43 м<sup>3</sup>/т). Известны и другие химические способы получения альтакса, однако всем им присущи недостатки: использование сравнительно дорогих окислителей (кислот, оснований, катализаторов вспомогательных веществ) и образование большого количества побочных продуктов. Так, традиционные химические технологии синтеза альтакса требуют применения метанола, этанола, пропанола, пропанола-2, бутанола и т.д. вплоть до C<sub>10</sub>H<sub>9</sub>ОН, диметилформамида, бензола, толуола, хлорбензола, третичных аминов, эфиров и их смесей со спиртами в значительных количествах, солей тяжелых металлов, дисульфоната фталоцианина кобальта, повышенного давления кислорода (3...8 атм) и температуры реакционной среды 333...353 К [1]. Применение в некоторых процессах органи-

ческих растворителей удорожает целевой продукт. Кроме того, повышается взрыво- и пожароопасность производства. Использование солей тяжелых металлов приводит к их накоплению в производимом дисульфиде и требует дополнительных стадий очистки. К тому же, остатки токсичных катализаторов в целевом продукте вызывают серьезные экологические проблемы. Окисление хлором часто приводит к образованию продуктов переокисления и большому расходу щелочи. Процесс окисления нитритом натрия в кислой среде связан со значительным расходом кислоты. Методы окисления хлором и нитритом натрия, кроме того, связаны с образованием загрязненных побочными органическими веществами солей, утилизация которых затруднительна. Пероксиды, получаемые электролизом – дорогие окислительные агенты, разлагающиеся при длительном хранении. Поэтому экономическая эффективность процессов с их использованием заведомо ниже, чем электрохимических.

Альтернативой химическим способам получения альтакса является его электрохимический синтез, позволяющий снизить отрицательное воздействие на окружающую среду, за счет отказа от химических окислителей, а также возможности организации замкнутого цикла использования реагентов и полного исключения выбросов газообразных поллютантов. Кроме того, применение универсального окислителя и восстановителя – электрического тока, позволит при необходимости переходить к производству других органических продуктов на том же оборудовании.

Важным преимуществом электрохимического синтеза является наличие дополнительных возможностей управления ходом процесса: величина электродного потенциала, асимметрия, частота переменного или скважность импульсного тока.

В ходе анализа литературных источников, было выявлено, что приведенные выше возможности электрохимических процессов не были в достаточной мере использованы применительно к разработке процесса получения альтакса. Поэтому нами были проведены комплексные исследования процесса электрохимического синтеза альтакса на переменном токе.

Методом циклической вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала было изучено электрохимическое поведение аниона 2-МБТ в растворах 0,3 М 2-МБТ + 1 М NaOH при температурах 298, 323, 343 К и 0,5 М 2-МБТ + 1 М NaOH при температуре 343 К, на скоростях развертки потенциала 10, 20, 50, 100, 200, 500 мВ/с. Сняты вольтамперные кривые на синусоидальном переменном токе различной частоты в растворе 0,63 М 2-МБТ + 0,64 М NaOH.

На прямом ходе циклической вольтамперограммы наблюдается волна, соответствующая анодному окислению 2-меркаптобензтиазолатного аниона. Предельный ток волны во всех исследованных режимах линейно зависит от квадратного корня из скорости развертки потенциала и при этом аппроксимационная прямая проходит через начало координат, что говорит о диффузионном контроле процесса. Соотношение угловых коэффициентов прямых, полученных при различных концентрациях 2-МБТ равно соотношению концентраций 2-МБТ в исследованных растворах, что свидетельствует о наличии корреляции между концентрацией 2-МБТ и угловым коэффициентом зависимости предельного тока волны от квадратного корня из скорости развертки потенциала.

На обратном ходе вольтамперных кривых обнаруживается пик, лежащий в анодной области токов. Высота пика имеет экстремальную зависимость от квадратного корня из скорости развертки потенциала. В ходе проведенных исследований выявлено, что пик связан с десорбцией образующегося дисульфида.

Полученные нами результаты препаративного синтеза альтакса позволили разработать конструкцию электролизера для проведения электросинтеза органических веществ, с непрерывной корректировкой реакционного раствора. Показано, что применение такого электролизера для синтеза альтакса на переменном токе позволяет получать целевой продукт высшего сорта (ГОСТ 7087–75).

Установлено, что частота переменного тока оказывает существенное влияние на технологические параметры процесса синтеза альтакса. Зависимость изученных параметров от частоты переменного тока имеет экстремальный характер, причем, частота переменного тока, отвечающая максимуму выхода по току, соответствует частоте, при которой достигается минимальное значение удельного расхода электроэнергии.

Выявлены эффективные режимы проведения синтеза альтакса, обеспечивающие низкий расход электроэнергии. Так, удельный расход электроэнергии на 7 % ниже, чем в известном способе получения альтакса с добавкой в реакционный раствор 2-метил-2-гексанола, и составляет 1,3 кВт·ч/кг. Съем продукта с единицы площади поверхности электрода выше, чем в способе описанном в работе [2] и увеличен с 23 до 59 кг/(м<sup>2</sup>·ч).

Изучена возможность использования электродиализной очистки промывных вод для организации замкнутого цикла водопользования в синтезе альтакса на переменном токе. Применение электродиализной очистки позволяет очистить промывные воды от содержащихся в них солей и направить их в рецикл на стадию промывки. Это дает возможность полностью исключить образование сточных вод за счет возврата воды на соответствующие стадии технологического процесса.

Полученные результаты использованы при разработке технологической схемы опытно-промышленной установки электрохимического синтеза альтакса на переменном токе с замкнутым циклом использования воды и реагентов.

Таким образом, результаты проведенных вольтамперметрических исследований, данные препаративного синтеза и электродиализной очистки промывных вод, а также найденные технологические параметры процесса на переменном токе позволяют снизить экологическую нагрузку производства альтакса.

*Автор выражает благодарность научному руководителю д.х.н., профессору Килимнику А.Б., за помощь в постановке задач исследования и обсуждение полученных экспериментальных данных. Работа проведена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.*

#### *Список использованной литературы*

1. Килимник, А.Б. Синтез органических дисульфидов / А.Б. Килимник, Е.С. Бакунин // Вестник ТГТУ – 2011 – Том 17, № 4. – С. 1007 – 1021.
2. Килимник, А.Б. Научные основы экологически чистых электрохимических процессов синтеза органических соединений на переменном токе : монография / А.Б. Килимник, Е.Э. Дегтярева. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 116 с.

УДК 502.17

ББК 20.1

## **Модернизация системы удаления твердых коммунальных отходов жилых территорий**

Баркан М.Ш., Маховиков А.Б., Кабанов Е.И.

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»*

*(Россия, г. Санкт-Петербург)*

При функционировании промышленных агломераций неизбежно возникают проблемы, связанные с образованием неконтролируемого количества отходов производства и потребления, немалую часть которых составляет бытовой мусор – твердые коммунальные отходы (далее ТКО). Подобного рода мусор образуется в большом количестве и, как правило, скапливается в непосредственной близости от жилых построек – в дворовых сборниках, т.е. в мусорных контейнерах, баках, на мусорных площадках. Условия хранения ТКО в подобных местах регламентированы в санитарных правилах содержания территории населенных мест [1], в которых, среди всего прочего, установлены сроки хранения отходов в дворовых сборниках – до трех суток в холодное время года и до одних суток в теплое время года. На практике эти правила не выполняются. Вследствие несвоевременного вывоза отходов, низкого уровня культуры населения и плохой организации работы коммунальных служб происходит накопление большого количества отходов на жилой территории, во дворах, на лестничных клетках. Подобного рода скопления могут существовать в течение длительного времени. Это чревато не только эстетическим загрязнением территории, но и куда более опасными последствиями, угрожающими здоровью населения. Скопления многокомпонентных коммунальных отходов являются источниками возникновения и выделения различных вредных веществ – летучих, жидких и газообразных, т.е. вблизи жилых построек происходит формирование гетерогенных искусственных систем с высокими концентрациями токсичных элементов и их соединений. Вдобавок, рассматриваемая ситуация является причиной размножения и распространения патогенных микроорганизмов, грызунов, насекомых. Все вышперечисленное является причиной возникновения



инфицированных территорий, массовых отравлений и болезней среди населения. Аналогичные последствия появляются при организации несанкционированных свалок вблизи жилых зон. Решить проблемы с ТКО может не только внедрение новых технологий по их утилизации и обезвреживанию, но и реформирование и модернизация системы по сбору и управлению отходами [4].

Задача организации эффективной работы компании, занимающейся сбором и ТКО, сводится к оптимизации маршрутов передвижения имеющейся в распоряжении компании уборочной техники и транспортных средств. В современных условиях эффективная работа компании, занимающейся сбором и транспортировкой ТКО, невозможна без использования информационно-управляющей системы, осуществляющей в реальном времени сбор исходных данных и расчет на их основе оптимальных транспортных потоков. Информационно-управляющая система управления сбором и транспортировкой ТКО базируется на совокупности различных подсистем, в число которых входят подсистемы сбора, передачи, обработки информации, подсистемы хранения и отображения информации.

Подсистема сбора информации состоит из модулей, оснащенных датчиками местоположения транспортной техники. Местоположение объекта в настоящее время, как правило, определяется с помощью спутниковой системы глобального позиционирования. Наиболее распространенной системой является американская GPS. Также развиваются европейская система Galileo и отечественная система ГЛОНАСС. Если не требуется высокая точность определения координат объекта, то может быть использована привязка к базовым станциям сотовой связи, дающая погрешность определения местоположения в несколько десятков метров. Так же в состав подсистемы сбора информации могут входить модули, получающие информацию о степени загрузки мусоровозов и мусорных баков, о загруженности улиц. В последнем случае информация может быть получена от учета средней скорости движения входящих в систему транспортных средств, других транспортных средств, оборудованных датчиками местоположения, и от камер наблюдения. В рассматриваемую подсистему входят также устройства сбора данных с полигонов и мусороперерабатывающих заводов, выдающие информацию об объеме принятого за определенный промежуток времени мусора. Обмен информации в системе обеспечивается функционированием подсистемы передачи информации, работа которой строится на основе одной из

существующих беспроводных технологий передачи данных, таких как GPRS/EDGE/3G/4G [3].

Подсистема обработки информации должна рассчитывать оптимальные маршруты движения транспортных средств с учетом как имеющихся данных, например карт дорожной сети, координат полигонов и мусороперерабатывающих заводов, так и данных, поступающих от подсистемы сбора информации и от операторов, определяющих конечные цели функционирования системы. Полученные результаты должны передаваться как водителям транспортных средств, так и операторам. Необходимо отметить, что подсистема обработки информации является самой сложной и важной подсистемой во всей информационно-управляющей системе. От успеха в ее реализации зависит качество системы управления сбором и транспортировкой ТКО в целом.

Так же в состав системы входят подсистемы хранения и отображения информации. Первая должна сохранять данные о функционировании транспортной системы, такие как маршруты транспортных средств, перевезенные ими объемы ТКО и т.п. и выдавать их по запросам операторов и клиентов компании. Подсистема отображения информации состоит из таких элементов, как устройство, отображающее информацию для водителя транспортного средства, пульт оператора системы и веб-интерфейс для клиентов транспортной компании.

Подобные системы разработаны и функционируют во многих европейских странах. Одной из наиболее развитых информационных систем управления сбором и транспортировкой ТКО является система TCS, разработанная финской компанией Ecomond Ltd. (<http://www.ecomond.com>). Ее применение в Финляндии позволило снизить затраты на перевозку ТКО на 10 – 30 процентов [2], и, следовательно, облегчить ситуацию с управлением ТКО в целом. Так же стоит рассмотреть опыт итальянской компании Allix (<http://www.allix.it>), чья система применяется для целей управления перевозкой опасных отходов по дорогам Европы. Несколько сотен мусоровозов оборудованы специальными устройствами, отслеживающими местоположение и загруженность контейнера. Если мусоровоз свернет с разрешенной трассы или контейнер будет опустошен в неполюженном месте, то это немедленно отразится на пульте управления.

Что касается российского опыта, то в нашей стране тоже разработан ряд информационно-управляющих систем для целей сбора и транспортировки ТКО

и в дальнейшем роль таких систем будет постоянно возрастать. Связано это с тем, что после 30 июня 2009 года лицензии на транспортировку отходов есть только у специальных компаний, которые, в свою очередь, будут нуждаться в информационно-управляющих системах.

НИПВФ «ТЕНЗОР», (Ростов-на-Дону) разработала интегрированную систему управления доставкой, приемом и размещением ТКО на полигонах и на мусороперерабатывающих комплексах. Станция приемки отходов включает два комплекта электронных весов для взвешивания автомобилей в статике или в движении, компьютерный терминал, автоматические системы видеорегистрации, идентификации и управления движением транспорта. Благодаря такому оснащению один оператор за смену может принять свыше 5000 кубометров ТКО с интервалом движения мусоровозов от 15-20 секунд.

Внедрение новой системы в Ростове-на-Дону существенным образом изменило ситуацию в городе – теперь стало выгодно собирать отходы. Фактический объем вывоза ТКО на полигон увеличился в 1.7 раза, в 1.5-2 раза выросла наполняемость машин, на 30-45% сократились удельные расходы перевозчиков из расчета на единицу принятых отходов. По соображениям выгоды разбираются и вывозятся на полигон ТКО стихийные, несанкционированные свалки. Их количество сократилось в городе на 80%.

Таким образом, применение информационно-управляющих систем в сфере сбора и транспортировки ТКО позволяет снизить затраты и повысить эффективность работы транспортных компаний, а значит, в конечном итоге, приводит к улучшению экологической и санитарной обстановки в городах, что в свою очередь благоприятно скажется на состоянии здоровья населения.

#### *Список использованной литературы*

1. СанПиН 42-128-4690-88. Санитарные правила содержания территории населенных мест.
2. Анда М., Сезар Ж. Природоохранные расходы и доходы в ЕС, ЕАСТ и стран-кандидатов на 2001-2006 годы. – Евростат, 2010. – 12 с.
3. Воробьев Л.В., Давыдов А.В., Щербина Л.П. Системы и сети передачи информации. – М. : Академия, 2009. – 336 с.
4. Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И., Флоринская Т.М. Система обращения с отходами: принципы организации и оценочные критерии. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. – 207 с.

**Эксплуатационные свойства фторполимерных нанокомпозитов,  
полученных из газофазной среды\***

Баронин Г.С.<sup>1</sup>, Бузник В.М.<sup>2</sup>, Юрков Г.Ю.<sup>2</sup>, Дьяченко А.Н.<sup>3</sup>, Худяков В.В.<sup>1</sup>,  
Завражин Д.О.<sup>1</sup>, Кобзев Д.Е.<sup>1</sup>, Мещерякова Ю.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов),*

<sup>2</sup>*Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН,  
(Россия, г. Москва),*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
(Россия, г. Томск)*

**Аннотация**

В работе представлены новые методы получения нанокомпозитов на основе фторполимера из газофазной среды и оценка их эксплуатационных свойств. Основным технологическим способом получения гомогенных нанокомпозитов на основе фторполимеров является пиролиз шихты, содержащий блочный ПТФЭ и легко разлагаемые неорганические аммонийные фториды с последующей конденсацией продуктов пиролиза. Полученные по такой технологии молекулярные композиты ПТФЭ с  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  и  $CoO_2$  используются в качестве модифицирующих добавок к ПТФЭ для выявления влияния молекулярных композитов (ТФП, КФП и КоФП) на эксплуатационные свойства комбинированного микро- нанокомпозита на основе ПТФЭ.

Полученные микро- нанокомпозиты, включающие металлические ( $Ti$ ,  $Co$ ), керамические ( $Si$ ) наночастицы и ультрадисперсный ПТФЭ, синтезированные из газофазной среды, имеют пониженные теплопроводность и температуропроводность (на  $15\div 20\%$ ), повышенные теплостойкость (на  $25\div 30^\circ$ ) и износостойкость в условиях абразивного износа (в  $1,5\div 4$  раза) по сравнению с показателями исходного ПТФЭ.

---

\* Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, код проекта НШ-3550.2012.3 и Госзадания (код проекта 3.4037.2011).

## Введение

Разработку новых материалов и технологий их получения и обработки в настоящее время общепризнанно относят к «ключевым» или «критическим» аспектам основы экономической мощи и обороноспособности государства. Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения являются наноматериалы и нанотехнологии.

Основной способ получения композитов включающий стадии смешения порошкообразного ПТФЭ с наноразмерным наполнителем с последующим таблетированием и спеканием или методом введения одного компонента в раствор другого не позволяют ввести в полимер наноразмерные наполнители и обеспечить гомогенность системы, а также исключить агломерацию нанонаполнителей, из-за высокой вязкости расплава фторполимера и отсутствия универсального растворителя. В настоящей работе помимо традиционных способов разрабатываются и другие способы получения нанокомпозитов на основе ПТФЭ [1 – 4].

## Экспериментальная часть

### Методы исследования компонентов полимерной системы

Количественное определение металлов проводилось с помощью рентгеновского флуоресцентного анализа на приборе *VRA-20*. Точность измерения 1 %. Для оценки состава металлополимерных систем на основе ПТФЭ использовалась ИК-спектроскопия, прибор ИК-20. Топографию поверхности микрогранул ПТФЭ и наночастиц на его поверхности исследовали с помощью сканирующего ЭМ *ZEISS Ultra 5.5*. Размер частиц и распределение их по размерам оценивали методом рентгеновского малоуглового рассеяния, камера КРМ-1. Рентгеновские исследования на больших углах проводили на дифрактометре «Дрон-3».

Рентгенофазовый анализ (РСА) полимерных композитов проводили на вертикальном рентгеновском дифрактометре при комнатной температуре в монохроматизированном медном излучении. Кристаллические фазы идентифицировали по бланку данных *ICDD-2003*.

## **Методы исследования эксплуатационных свойств полимерных композитов**

Для оценки эксплуатационных показателей полимерных композитов с модифицирующими добавками, полученных по новой технологии, в настоящей работе проведены следующие испытания:

– определение удельной скорости поглощения энергии в зависимости от температуры образцов, полученные на модернизированном дифференциальном сканирующем калориметре на базе прибора *DSC-2*, который позволяет регистрировать тепловые эффекты при линейном изменении температуры образца;

– измерения диэлектрической проницаемости композитов выполнялись бесконтактным методом в плоском конденсаторе, диаметр измерительного электрода равен 38 мм. Емкость измерительного конденсатора измеряли при помощи *LCR*-метра *E4980 A* фирмы *Agilent*;

– при определении теплостойкости и внутренних ориентационных напряжений был использован метод построения диаграмм изометрического нагрева (ДИН) [6]. Для приготовления образцов использовали методы интенсивной пластической деформации (твердофазная плунжерная и равноканальная экструзия) [9];

– определение теплопроводности и температуропроводности на информационно-измерительной системе неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов (ИИС НК ТФСМ);

– оценка износостойкости в режиме абразивного износа на машине трения.

### **Результаты и обсуждение**

Разработано несколько методов введения наномодификатора в ПТФЭ.

Один из них состоит в механоактивационной обработке смеси ультрадисперсного порошка ПТФЭ и неорганических порошков в планетарной мельнице [1]. Способ позволяет получить неорганические частицы размером несколько десятков микрон, капсулированные фторполимером толщиной порядка единиц микрон.

Способ получения композитов на основе ультрадисперсного ПТФЭ реализован в работах [2-4], использующем растворы металлосодержащих соединений: карбонилы, формиаты, ацетаты металлов. При нанесении их на микрочастицы порошка ПТФЭ и соответствующей термообработке на поверхности фторполимера формируются индивидуальные, не агломерированные металлические наночастицы, имеющие размер менее 10 нм [2-3]. В данных работах показано, что можно стабилизировать на поверхности гранул ПТФЭ наночастицы металлов, что позволяет создавать металлосодержащие слои нанометровой толщины, полностью экранирующие полимерную подложку. Представленные физические механизмы формирования металлополимерных систем на основе фторполимера справедливы для кобальтосодержащих нанокompозитов, получивших название кобальтофторорганический порошок (КоФП) [5].

Основным технологическим способом получения гомогенных нанокompозитов на основе фторполимеров является получение молекулярной смеси ПТФЭ с добавками  $TiO_2$  и  $SiO_2$  и ПТФЭ в газовой фазе в результате пиролиза с последующей конденсацией продуктов пиролиза и образованием молекулярных композиционных материалов [2-4].

Предварительные исследования показали, что только одно соединение кремния – гексафторосиликат аммония  $(NH_4)_2SiF_6$ , также как и ПТФЭ, испаряется при температуре выше 300 °С и количественно конденсируется при охлаждении. Таким образом получается материал, состоящий из конденсата с молекулярным смешением ПТФЭ и  $(NH_4)_2SiF_6$ . Обработка молекулярной смеси конденсированных компонентов аммиачной водой и последующее растворение фторида аммония  $NH_4F$  позволяет получить молекулярную смесь ПТФЭ и  $SiO_2$ . Полученный фторорганический порошок, имеющий в своем составе атом кремния, получил название кремний-фторорганический порошок (КФП).

По аналогичной технологии перегонкой шихты ПТФЭ 97 % масс и  $(NH_4)_2TiF_6$  3 % масс при температуре 575 °С с последующей десублимацией раствором аммиака получают молекулярную смесь ПТФЭ и  $TiO_2$  или титанфторорганический порошок (ТФП) [1-3].

В настоящей работе молекулярные композиты ПТФЭ с  $CoO_2$  (КоФП); ПТФЭ с  $SiO_2$  (КФП) и ПТФЭ с  $TiO_2$  (ТФП) использовались в качестве модифицирующих добавок к ПТФЭ. В качестве полимерной матрицы использовали суспензионный ПТФЭ (ГОСТ 10007-80). Были приготовлены композиты в режиме механического смешения, таблетирования и спекания по традиционной технологии с содержанием ТФП, КФП и КоФП 0,05; 0,1; 0,5; 1 и 5 масс. част. на 100 масс. част. ПТФЭ.

Использование комплекса физико-химических методов исследования (ЭПР, РСА, РФА, ИК- и ЯМР) позволило установить состав и строение наночастиц, содержащих  $Co$ ,  $Ti$  и  $Si$ , и их взаимодействие с полимерной матрицей [2-5]. По данным рентгенофазового анализа (РФА) основной фазой каждого образца нанокompозитов является  $(CF_2)_n$ . В образцах ПТФЭ модифицированных ТФП и КФП присутствуют следы интенсивных рефлексов соединений  $(CF_2)_n + SiO_2$  и  $TiC$ .

Сложное строение металлической наноразмерной оболочки, содержащей  $Co$ ,  $Ti$  и  $Si$  и стабилизированной на поверхности полимерной подложки, их взаимодействие с матрицей по схеме металлоорганических соединений, а также наличие спектра низко- и высокомолекулярных фракций полимерного компонента микро-нанокompозита, используемого в работе в качестве модифицирующего компонента комбинированного фторполимерного материала, определяет отличие теплофизических, термических, диэлектрических, релаксационных, магнитных, физико-механических, в том числе трибологических, свойств композиционного фторполимера, а также особенности взаимодействия модификатора в области малых добавок (рис. 1 (а-г)), от исходной ПТФЭ-матрицы.

На основании полученных данных теплофизических исследований можно заключить, что наномодификатор ТФП в концентрации до 1,0 масс. част. на 100 масс. част. ПТФЭ резко повышает межцепное взаимодействие полимерной матрицы, ужесточает структуру металлополимерной системы, снижает теплопроводность, повышает деформационную теплостойкость  $T_{mn}$  и износостойкость в условиях абразивного износа.



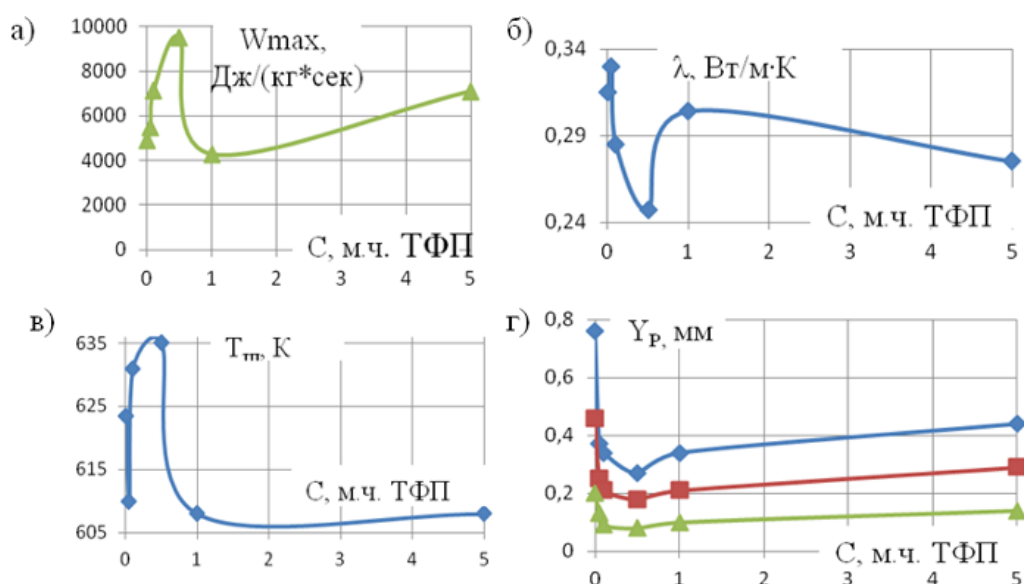


Рис. 1. Концентрационные зависимости максимальной скорости поглощения энергии  $W_{max}$ , снятой на приборе DSC-2 (а), теплопроводности  $\lambda$  (б), деформационной теплостойкости  $T_{тп}$  (в), и размерного износа  $I_p$  (г) полимерного композита ПТФЭ+ТФП от содержания модификатора ТФП.

Время абразивного износа 20 мин (1), 40 мин (2), 60 мин (3); частота вращения контртела 12 об/мин; усилие прижима 0,5 кг

Таким образом, на основании результатов теплофизических исследований, релаксационных свойств в режиме отжига ориентированных образцов и построения диаграмм изометрического нагрева [6] и триботехнических исследований, показано существование корреляции между максимальной скоростью поглощения энергии  $W_{max}$ , снятой на приборе DSC-2, теплопроводностью, деформационной теплостойкостью и износостойкостью полимерного нанокомпозита ПТФЭ+ТФП, позволяющие управлять свойствами молекулярных нанокомпозитов в процессе их переработки в изделия различного функционального назначения (высокочастотные изоляторы, теплотехнические изделия, изделия антифрикционного назначения и др.). Следует отметить, что подобные корреляционные зависимости получены и для других нанокомпозитов (ПТФЭ+КФП, ПТФЭ+КоФП), синтезированных по новой технологии.

Измерение диэлектрической проницаемости образцов полимерных нанокомпозитов ПТФЭ+КоФП, ПТФЭ+КФП и ПТФЭ+ТФП выполнялись при частотах 20, 50, 100, 200, 500 Гц, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 кГц, 1 и 2 МГц, перекрывающих рабочий диапазон частот ЛСК-метра.

На рисунке 2 представлены зависимости диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  образцов полимерной системы ПТФЭ+КФП от концентрации модификатора КФП и частоты в диапазоне от 100 Гц до 1 МГц. Отмечены экстремальные концентрационные зависимости нанокompозита  $\varepsilon$  ПТФЭ+КФП от содержания модификатора КФП. Частотной зависимости  $\varepsilon$  для всех исследованных композитов ПТФЭ+КФП, ПТФЭ+КоФП и ПТФЭ+ТФП не обнаружено.

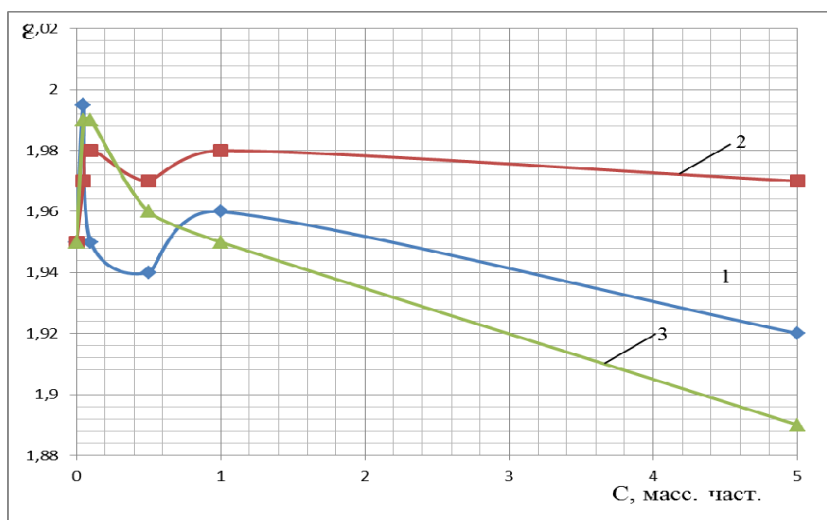


Рис. 2. Концентрационная зависимость диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  образцов композита ПТФЭ+КФП (1), ПТФЭ+ТФП (2), ПТФЭ+КоФП (3), от содержания модифицирующей добавки КФП, ТФП и КоФП в интервале частот от 100 Гц до 1 МГц

Для всех представленных полимерных систем введение наномодификаторов (КФП, КоФП и ТФП) в количестве 0,05 масс. част. приводит к повышению  $\varepsilon$  и снижению данного диэлектрического показателя при увеличении концентрации модификатора в сравнении с исходным ПТФЭ, то есть результаты исследований диэлектрической проницаемости полностью коррелируют с показателями других физико-химических свойств фторполимерных нанокompозитов (ПТФЭ+КФП, ПТФЭ+КоФП и ПТФЭ+ТФП) (рис. 1 (а-г)).

Экстремальные концентрационные зависимости всего комплекса физико-химических свойств комбинированного фторполимерного материала свидетельствуют как об однофазном, так и о многофазном строении нанокompозита, полученного по новой технологии (рис. 2). Характер изменения всего комплекса физико-химических свойств полимерной системы в области малых добавок модификаторов (КФП, ТФП и КоФП) и наличие точки экстремума указывает на

переход системы из однофазной структуры в двухфазную (спинодальный распад) и наоборот [7]. В точке экстремума полимерная система находится в метастабильном состоянии, где отмечается наивысшая дисперсность модифицирующей добавки в полимерной матрице и, следовательно, наивысшая гомогенность системы [9]. Следует отметить, что подобные физические механизмы формирования структуры отмечены нами для полимерных смесей и сплавов, компоненты которых находятся в наноструктурированном состоянии [8]. При переходе системы из однофазной к двухфазной (расплаивание) выделяющаяся фаза находится в высокодисперсном состоянии и образует термодинамически устойчивую систему с размером частиц не выше нескольких десятков нанометров. Межфазный слой в такой полимерной системе в силу близости к критическим условиям имеет значительную толщину, а межфазная поверхность велика. Высокорастворимая поверхность раздела фаз и наличие частиц нанометрового размера и приводит к экстремальному изменению физико-химических свойств полимерной системы в данной концентрационной области, то есть являются определяющими факторами.

### **Заключение**

Главным достоинством созданных микро-нанокмполитов на основе ПТФЭ является тот факт, что металлические наночастицы, закрепленные на поверхности частиц ультрадисперсного ПТФЭ, теряют способность к агломерации, в то же время экстремально взаимодействуют с внешними компонентами полимерной системы, сохраняя основной комплекс физических характеристик, образуют определенные управляемые микро- и макроструктуры, ответственные за изменение эксплуатационных показателей готовых изделий различного функционального назначения (высокочастотные изоляторы, теплотехнические изделия, изделия антифрикционного назначения и др.).

В заключение следует отметить, что в настоящей работе впервые выявлена возможность регулирования структуры и свойств полимерных композитов на основе ПТФЭ малыми добавками микро-нанокмполита, включающего металлические и керамические наночастицы и ультрадисперсный ПТФЭ, полученного молекулярным смешением из газовой фазы, что позволило распространить известный метод легирования органических и неорганических материалов на технологию получения молекулярных композиционных полимеров.

### *Список использованной литературы*

1. Бузник, В.М. Металлополимерные нанокомпозиты / В.М. Бузник, В.М. Фомин, А.П. Алхимов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. Интеграционные проекты СО РАН. – Вып. 2. – 260 с.
2. Механохимические методы получения композитных материалов металл-керамика-политетрафторэтилен / О.И. Ломовский, А.А. Политов, Д.В. Дудина, М.А. Корчагин, В.М. Бузник // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – №12. – С. 619-626.
3. Новый наноматериал: металлосодержащий политетрафторэтилен / М.С. Коробов, Г.Ю. Юрков, А.В. Козинкин, Ю.А. Кокшаров, И.В. Пирог, С.В. Зубков и др. // Неорганические материалы. – 2004. – №1, Т.40. – С. 31-40.
4. Синтез и структура композиционных материалов на основе гранул ультрадисперсного политетрафторэтилена и наночастиц меди / Г.Ю. Юрков, Бузник В.М., Шатилов О.Н., Больбух Ю.Н. и др. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – №11. – С. 2.
5. Синтез и структура композитов на основе политетрафторэтилена и кобальтсодержащих наночастиц с «core-shell» структурой // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2011. – №11. – С. 7.
6. Установка для определения остаточных напряжений в ориентированных термопластах / Ю.М. Радько, Е.В. Минкин, М.Л. Кербер, М.С. Акутин // Заводская лаборатория. – 1980. – №7. – С.669-670.
7. Кулезнев, В.Н. Смеси полимеров / В.Н. Кулезнев. – М.: Химия. – 1980. – 304 с.
8. Баронин, Г.С. Твердофазная технология переработки полимерных нанокомпозитов / Г.С.Баронин, М.Л. Кербер, К.В. Шапкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – №2А, Т.11. – С. 432-438.
9. Баронин, Г.С. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы / Г.С. Баронин, М.Л. Кербер, Е.В. Минкин, Ю.М. Радько. – М.: Машиностроение-1, 2002. – 320 с.

УДК 691.16

ББК 38.36

### **Модификация битума регенератом резиновой крошки**

Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А.,

Полушкин Д.Л., Фролов В.А., Беляев В.П.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Низкие эксплуатационные показатели дорожных покрытий в условиях постоянно растущей нагрузки на дорожное полотно приводит к тому, что все чаще для приготовления асфальтобетонных смесей (АБС) требуется использование модифицированных вяжущих вместо традиционных нефтяных дорожных битумов [1,2]. Модификация битума позволяет улучшить его адгезионные, прочностные и деформационные характеристики, что в свою очередь способствует и улучшению свойств дорожного покрытия. Достаточно давно в данной области применяют материалы на основе синтетических каучуков. Введение таких модификаторов придает битумам эластичность и положительно влияет на эксплуатационные характеристики дорожных покрытий, при этом, однако существенно возрастает стоимость получаемых дорожных вяжущих. Одним из способов снижения себестоимости модифицированных вяжущих является использование вторичных материалов, в частности, отходов резиновых шин [3], что позволяет одновременно решать важную задачу сохранения природы. Учитывая масштабы дорожного строительства и ремонтных работ в дорожной отрасли, перспектива крупнотоннажного использования продуктов переработки изношенных шин для модификации дорожных битумов является весьма привлекательной.

В наших исследованиях был использован битум марки БНД 60/90, рекомендованный для применения в качестве дорожного вяжущего во второй дорожно-климатической зоне, к которой относится Тамбовская область. В качестве модифицирующей добавки использовался регенерат резиновой крошки автомобильных шин, полученный термическим методом.

Исследования проводились на лабораторной установке, представляющей собой лопастной смеситель периодического действия с объемом рабочей каме-

ры три литра [4]. В верхней и нижней части перемешивающего устройства находятся пропеллерные мешалки с противоположным наклоном рабочих лопастей, а в центральной части центробежные лопасти, позволяющие создавать интенсивные вертикальные и горизонтальные потоки материала в корпусе, что обеспечивает турбулентный режим смешения и более высокое диспергирующее воздействие на материал. После осуществления процесса совмещения битума с регенератом резиновой крошки его пробы подвергались лабораторным испытаниям для оценки физико-механических показателей [4].

Предварительно измельченная резина, отделенная от металлических и иных включений, крошка смешивалась с мягчителями и агентами девулканизации, и помещалась в термошкаф, нагретый до заданной температуры. В результате обработки смеси при повышенных температурах происходил разрыв S-S и C-S связей пространственной сетки резины. В отличие от традиционного использования в качестве мягчителей и агентов девулканизации достаточно эффективных, но токсичных химикатов наши исследования были построены на принципах минимизации вредного воздействия разрабатываемой технологии, используемых материалов и конечных продуктов модификации на окружающую среду.

Оценка содержания растворимой части (СРЧ) и степени девулканизации (СД) резиновой крошки с изменением технологических параметров процесса девулканизации (время выдержки 60, 90, 120 минут, температура в печи 160, 200, 240 °С) проводилась по ацетоновой и хлороформенной экстракции в соответствии с ГОСТ 3350-78. На рисунке 1 представлены результаты оценки степени девулканизации резиновой крошки автомобильных шин при получении регенерата в зависимости от условий проведения процесса девулканизации (температуры и времени выдержки).

Как видно из диаграмм повышение температуры девулканизации в термошкафу и времени выдержки материала приводит к увеличению степени девулканизации получаемого регенерата. Наибольшей степенью (35%) обладает регенерат шинной крошки полученный при температуре 240 °С и времени выдержки 120 минут.

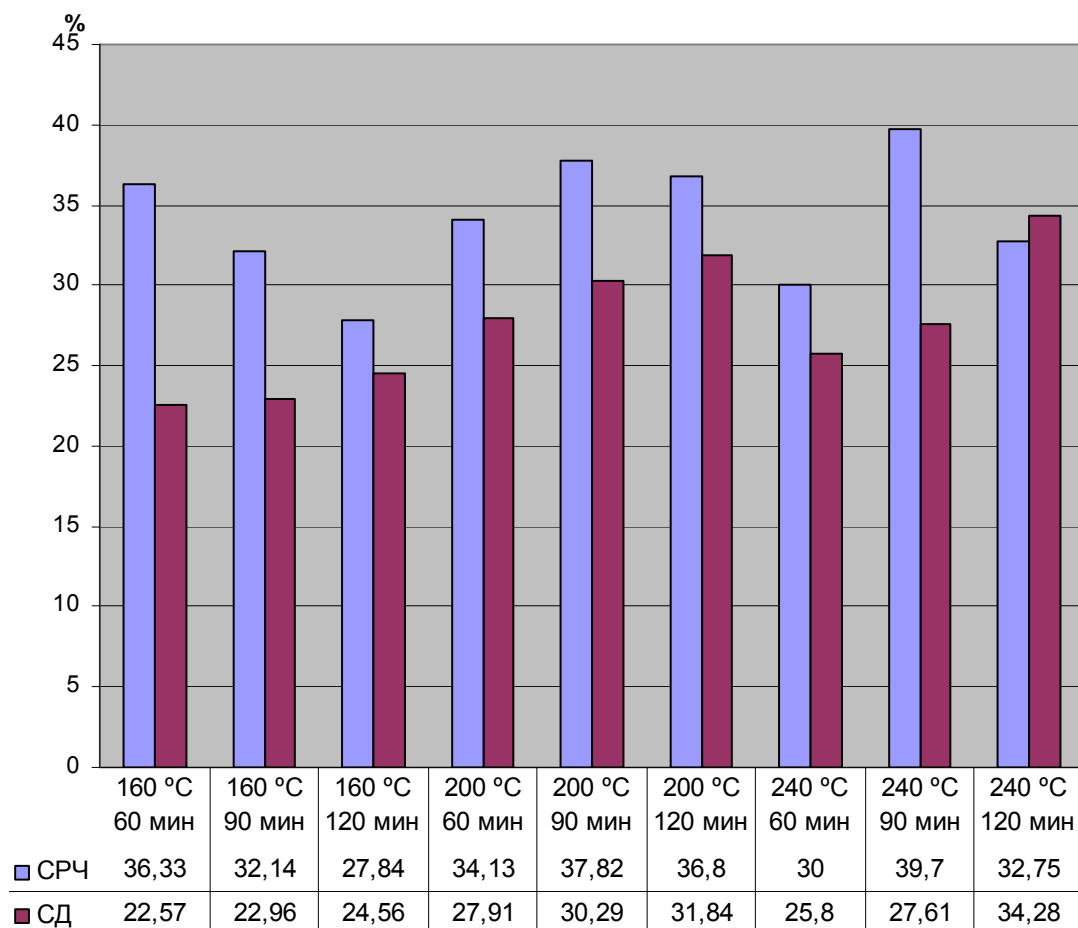


Рис. 1. Содержание растворимой и степень девулканизации резиновой крошки при различных условиях процесса регенерации

Проведенные нами ранее исследования [5] высоковязких композиций на основе каучуков показали, что наличие преимущественно длинных или преимущественно коротких цепей молекул каучуков в композиции не обеспечивает более высоких качественных показателей продукции, чем в случае наличия и длинных, и коротких цепей молекул каучука. Поэтому в наших исследованиях мы не ограничились лишь регенератами с максимально высокой степенью девулканизации, а провели испытания во всем рассмотренном выше диапазоне изменения технологических параметров процесса регенерации резиновой крошки из изношенных шин и получаемым в результате предполагаемым модификаторам для дорожных битумов.

В таблице 2 в качестве примера представлены результаты оценки физико-механических показателей битума марки БНД 60/90, модифицированного регенератами с разной степенью девулканизации при их содержании в битуме в количестве 6% по массе.

Физико-механические показатели битума, модифицированного  
регенератами шинной крошки

Дорожное вяжущее	Модифицирующий регенерат		Пенетрация, П25*0,1мм	Дуктильность, мм	Температура размягчения, °С	Эластичность, %
	Температура получения, °С	Время выдерж- ки, мин				
БНД 60/90 исходный	—	—	90	650	52	—
ПБВ ГОСТ Р52056-2003	—	—	60	250	54	80
БНД 60/90	160	60	86	90	55	35
		90	89	145	52	37
		120	92	160	50	37
	200	60	81	250	50	40
		90	68	255	52	37
		120	74	175	52	35
	240	60	64	122	51	31
		90	64	95	52	40
		120	92	165	54	35

Из таблицы видно, что регенерат, полученный термическим методом при температуре в 160 °С и различных временных параметрах, практически не изменяет пенетрацию и температуры размягчения битума, и они остаются в пределах ГОСТ для марки битума нефтяного дорожного 60/90. При этом модифицированный битум приобретает эластичность порядка 37 %.

Регенерат, полученный термическим методом при температуре 200 °С после 60 минут выдержки в термошкафу показал наиболее оптимальные результаты при модификации битума — показатели дуктильности и пенетрации проходят по нормам для полимер-битумного вяжущего по ГОСТ Р52056-2003, температура размягчения остается в пределах ГОСТ, эластичность составляет 40%.



Регенерат полученный при температуре 240 °С и времени выдержки 60 и 90 минут снижает пенетрацию и дуктильность дорожного вяжущего, а показатели температуры размягчения и эластичности остаются такими же как при модификации битума регенератом полученным при 160 °С и не попадают в пределы ГОСТ. Увеличение времени выдержки при получении регенерата до 120 минут приводит к тому что пенетрация и температура размягчения битума остаются в пределах ГОСТ для битума нефтяного дорожного БНД 60/90, но снижается его дуктильность.

Как видно из результатов исследования, введение регенерата шинной крошки, полученного термическим методом при различных условиях, в дорожное вяжущие приводит к появлению эластичности вяжущего в пределах 35 – 40 %, что способствует снижению колееобразования получаемого дорожного покрытия. В большинстве случаев температура размягчения и пенетрация битума модифицированного регенератом шинной крошки, остается в пределах ГОСТ для марки битума нефтяного дорожного типа БНД 60/90.

Таким образом, проведенные исследования показали, что для модификации битума нефтяного дорожного типа БНД 60/90 достаточно проведение термической девулканизации шинной крошки при температуре 200 °С и времени выдержки 60 минут, что позволяет существенно сократить затраты энергии по сравнению с технологическими параметрами, обеспечивающими максимальную девулканизацию продуктов переработки изношенных шин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект шифр 7.3766.2011 по теме «Разработка энергоэффективной технологии и оборудования утилизации отходов полимерной тары и упаковки» и в рамках научной школы (НШ 01.2012.05 ТГТУ) от 28.05.2012 г. «Теория и практика устойчивого развития природопромышленных систем. Проектирование региональных утилизирующих комплексов, технологий и оборудования».

### *Список использованной литературы*

1. Беляев, П.С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации / П.С. Беляев, М.В. Забавников, О.Г. Маликов, Д.С. Волков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – Т. 11. № 4. – С. 923-930.
2. Аюпов, Д.А. Модифицированные битумные вяжущие строительного назначения / Д.А. Аюпов, А.В. Мурафа, Ю.Н. Хакимуллин, В.Г. Хозин // Строительные материалы. – 2009. – № 8. – С. 50 – 51.
3. Беляев, П.С. Получение резинобитумных композиционных материалов. Непрерывный способ производства / П.С. Беляев, М.В. Забавников, О.Г. Маликов. – Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 144 p.
4. Belyaev, V.P. On the Prospects of Integrated Solutions to Problems of Ecology and Improving the Quality of Road Surfacing / V.P. Belyaev, P.S. Belyaev, D.L. Polushkin // Science prospects. – 2012. – № 5. – P. 144-146.
5. Пат. 2014338 Российская Федерация, МПК C08J3/205C09J107/00, C09J111/00, B01F3/12. Способ получения резинового клея / Хабаров С.Н.; заявитель и патентообладатель Тамбовский институт химического машиностроения. – № 5023197/05; заявл. 16.07.91; опубл. 15.06.94, Бюл. № 11.

**Выбор сырья для промышленного производства регенеративного  
продукта на матрице**

Бобылева Ю.А.<sup>1,2</sup>

Работа выполнена под руководством Гладышевой Т.В.<sup>1</sup>, Дворецкого С.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Корпорация «Росхимзащита» (Россия, г. Тамбов)

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)

Регенеративные продукты на основе надпероксида калия  $\text{KO}_2$  в форме гранул применяются в дыхательных аппаратах и системах регенерации воздуха в условиях чрезвычайной ситуации (при пожарах, на подлодках и т.д.). В ОАО «Корпорация «Росхимзащита» разработан лабораторный способ получения регенеративного продукта в форме пластин из ультратонкого стекловолокна с закрепленными на ней кристаллами надпероксида калия [1-4].

Для синтеза регенеративного продукта на матрице используются следующие исходные вещества и материалы:

- раствор пероксида водорода ГОСТ 177-88 (марки А) с массовой долей 40...50 %;
- кристаллический гидрат окиси калия с массовой долей не менее 85 %;
- магниевый сернокислый 7-водный ГОСТ 4523-77 (марки «хч») с массовой долей не менее 99,5 %;
- стекломаты марки МСТВ-2 производства ОАО «Ивотстекло», Брянская обл., п. Ивот.

Способ получения  $\text{KO}_2$  на стекловолокнистой матрице включает следующие технологические операции:

- взаимодействие высококонцентрированного раствора пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) и кристаллического гидроксида калия (KOH);
- нанесение полученного щелочного раствора пероксида водорода на пористую стекловолокнистую матрицу;
- дегидратация при нагревании в вакууме или атмосферном давлении.

Соблюдение всех технологических норм обеспечивает получение регенеративного продукта в виде пластин с содержанием активного кислорода более 17 % (или более 60 %  $\text{KO}_2$ ).

При планировании промышленного производства регенеративного продукта на матрице изучены сырьевые возможности и проведена оценка качества сырья (раствора пероксида водорода и материалов из стекловолокна) для многотоннажного выпуска продукции.

### **Исследования качества раствора пероксида водорода разных производителей**

Для приготовления щелочного раствора пероксида водорода использовали пероксид водорода производства ОАО «УсольеХимпром» (г. Усолье-Сибирское), полученный электрохимическим способом. В растворе пероксида водорода, полученного таким способом, отсутствуют органические примеси, поскольку одно из требований к качеству продукта – отсутствие в нем горючих примесей. В связи с тем, что ОАО «УсольеХимпром» прекратило выпуск раствора пероксида водорода, для организации промышленного производства регенеративного продукта на матрице возникла необходимость поиска другого производителя. Установлено, что технология получения пероксида водорода электрохимическим способом отсутствует, как в России, так и за рубежом.

В мировой практике пероксид водорода получают органическим синтезом (окислением кислородом изопропанола, антрахинона и других веществ) [4-6].

В растворе  $\text{H}_2\text{O}_2$ , полученном органическим синтезом, присутствуют остатки в виде ацетона, уксусной кислоты. Дополнительная очистка раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  не позволяет полностью удалить эти примеси.

Провели исследования возможности применения раствора пероксида водорода 50 % концентрации, полученного органическим синтезом, отечественного (ОАО «Синтез», г. Дзержинск) и зарубежного производителя (Германия). Раствор для синтеза регенеративного продукта готовили путем смешения раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  и кристаллического КОН. Щелочной раствор пероксида водорода содержал 15,6 % активного кислорода, что соответствовало качеству раствора, полученного из пероксида водорода, синтезированного электрохимическим способом.

Регенеративный продукт на матрице получали по способу [2-3]. Пластины регенеративного продукта анализировали на содержание активного кислорода, диоксида углерода  $\text{CO}_2$  и наличие горючих примесей. Исследования показали, что полученный регенеративный продукт по техническим характеристикам соответствует требованиям ТУ 2123-265-05807954-2011: массовая доля активного кислорода в продукте не менее 17 %, массовая доля диоксида углерода не более 3,5 %, отсутствие горючих примесей.

На основании проведенных исследований сделан вывод о пригодности к использованию в промышленном производстве раствора пероксида водорода отечественного (ОАО «Синтез», г. Дзержинск) и зарубежного производителя (Германия), полученного органическим синтезом.

### **Исследования качества стекловолоконного материала для пористой матрицы разных производителей**

В настоящее время в лабораторном способе получения регенеративного продукта на матрице на ОАО «Корпорация «Росхимзащита» используют стекловолокно марки МСТВ-2 производства ОАО «Ивотстекло», Брянская обл., п. Ивот, которое поступает от производителя в виде рулонного материала (стекломата).

Такой материал имеет ряд недостатков: полотно неровное, заметны капли стекла, для достижения заданной массы заготовки  $m = 1,65$  г размером 110x140 мм необходимо вручную формировать слой из стекломата для получения, что не позволяет разработать линию непрерывного изготовления заготовок из стекловолокна такого качества.

Рассмотрена возможность применения стекловолоконных материалов производства ОАО «Новгородский завод стекловолокна», г. В. Новгород следующих марок: М20 МТВ-0,4, М20 МТВ-0,25, М20 УТВ-0,6. Сравнительная характеристика образцов стекловолокна этих марок представлена в таблице 1. Стекловолокно поступает от производителя в виде рулонного нетканого материала необходимой толщины.

При изготовлении регенеративного продукта матрицы из стекломата контактируют с щелочным раствором пероксида водорода до проведения сушки в вакууме в течение 5-10 минут. Были проведены исследования поведения этих

образцов стекловолокна в растворе. Для этого в бюксы с щелочным раствором пероксида водорода поместили по образцу каждого стекловолокна и оставили при комнатной температуре. Спустя 2 суток не было замечено никаких изменений. По результатам исследований характера взаимодействия образцов стекловолокна с щелочным раствором пероксида водорода можно сделать вывод о том, что ни один из образцов стекловолокна не вступает в химическую реакцию с раствором.

Регенеративный продукт получали по способу [2-3]. Для этого на стекловолокнистую матрицу размером 110x140 мм и массой  $m = 1,65$  г наносили щелочной раствор пероксида водорода  $V = 25$  мл. Для достижения заданной массы заготовки из всех исследуемых образцов стекловолокна приходилось вручную формировать толщину заготовки из нескольких слоев стекломата, чтобы сравнить с регенеративным продуктом, получаемым из стекловолокнистого материала производства ОАО «Ивотстекло».

Полученные образцы регенеративного продукта сравнивали с качеством регенеративного продукта, полученного стекловолокна марки МСТВ-2 производства ОАО «Ивотстекло» по внешнему виду пластин, содержанию активного кислорода в них и химической активности по диоксиду углерода  $CO_2$  (таблица 1).

Химический анализ образцов на содержание активного кислорода проводили гравиметрическим методом путем разложения регенеративного продукта 5 %-ным раствором сульфата меди.

Таблица 1

Сравнительная характеристика образцов стекловолокна разных производителей

Марка стекловолокна (производитель)	Средний диаметр волокна, мкм	Массовая доля $O_2$ , %	Внешний вид пластин РП
МСТВ-2 (ОАО «Ивотстекло»)	3,00	21,5	Пластины ярко-желтого цвета, прочные
М20 УТВ-0,6 (ОАО «НЗСВ»)	0,62	20,1	Пластины ярко-желтого цвета, прочные
М20 МТВ-0,4 (ОАО «НЗСВ»)	0,36	21,7	Пластины ярко-желтого цвета, прочные
М20 МТВ-0,25 (ОАО «НЗСВ»)	0,24	20,1	Пластины неравномерно желтые, хрупкие

Химическую активность к  $\text{CO}_2$  определяли в динамическом потоке увлажненной газовой смеси ГВС при следующих условиях:

- объёмный расход ГВС –  $7 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ;
- объёмная доля диоксида углерода ГВС -  $(4,0 \pm 0,2) \%$ ;
- температура ГВС –  $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность ГВС –  $96 \%$ ;
- время испытаний – 30 мин.

Пластины после испытания анализировали на содержание диоксида углерода, пробы для анализа брали в трех точках пластины (верх, центр и низ). Пластины массой  $m = 1,65 \text{ г}$  из стекловолокна производства ОАО «НХСВ» после сушки в вакууме вздуваются и расслаиваются. Для решения этой проблемы провели исследования качества регенеративного продукта из одного слоя стекловолокна (ОАО «НХСВ») и подобрали оптимальный объем щелочного раствора пероксида водорода. Результаты представлены в таблице 2.

Полученные образцы сравнивали по внешнему виду, анализировали на содержание активного кислорода и сорбционную емкость.

Все полученные образцы регенеративного продукта на матрице из разного стекловолокнистого материала соответствуют требованиям по техническим характеристикам ТУ 2123-265-05807954-2011. Величина сорбционной емкости значительно выше у образцов из стекловолокна марки М20 МТВ 0,4. Поэтому для производства регенеративного продукта на матрице предпочтительнее использовать стекловолокно данной марки.

Таблица 2

Характеристика заготовок из разного стекловолокна и пластин регенеративного продукта

Марка стекловолокна	Масса матрицы, г	Объем раствора, мл	Масса РП, г	% матрицы в РП	Динамическая активность по $\text{CO}_2$ , $\text{дм}^3/\text{кг}$
МСТВ-2	1,65	25	11,76	14,03	130,68
М20 УТВ-0,6	0,53	20	8,71	6,08	130,86
М20 МТВ-0,4	0,54	20	9,25	5,84	154,73
М20 МТВ-0,25	0,54	15	7,27	7,43	128,73

## Заключение

1. Проведены исследования качества сырья разных производителей, необходимого для промышленного производства регенеративного продукта на матрице. Дана оценка качества раствора пероксида водорода и стекловолокнистого материала. По результатам исследований качества сырья и регенеративного продукта, изготавливаемого из него, выбрано сырье отечественного производства.

2. Исследовано качество щелочных растворов и регенеративного продукта, получаемых при использовании раствора пероксида водорода разных производителей. Проведены химические анализы на соответствие качества полученного регенеративного продукта требованиям ТУ 2123-265-05807954-2011. Установлено, что пероксид водорода, получаемый органическим синтезом, отечественного производителя пригоден для изготовления щелочного раствора.

3. Проведены исследования и выбор стекловолокнистого материала для пористой матрицы при промышленном производстве регенеративного продукта. На основании проведенных исследований и полученных данных химического анализа сделан вывод о том, что образец стекловолокнистого материала М20 МТВ-0,4 производства ОАО «НЗСВ» может заменить материал марки МСТВ-2 производства ОАО «Ивотстекло», используемый в данный момент при получении регенеративного продукта.

### *Список использованной литературы*

1. Регенеративные продукты нового поколения: технология и аппаратное оформление: монография / Н.Ф. Гладышев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2007. – 156 с.

2. Пат. 2225241 РФ, МПК А62D9/00. Регенеративный продукт и способ его получения / Т.В. Гладышева, Н.Ф. Гладышев, Б.В. Путин, В.П. Андреев – 2002.

3. Пат. 2472556 РФ, МПК А62D9/00. Способ получения регенеративного продукта / Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева, Б.В. Путин, Ю.А. Ферапонтов и [др.]. – 2013.



4. Пат. 2456046 РФ, МПК А62D9/00. Способ получения продукта для регенерации воздуха / Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева, С.Б. Путин, Ю.А. Ферапонтов, С.И. Симаненков и [др.]. – 2012.

5. Пат. 2356831 РФ, МПК С01В15/026. Способ получения пероксида водорода окислением изопропанола / А.В. Савельев, Н.В. Савельев. – 2008.

6. Пат. 2458856 РФ, МПК С01В15/013. Способ получения пероксида водорода / Р. Эдвинссон-Альбертс, Б. Кузманович, К. Ван Стрин. – 2007.

7. Пат. 2235680 РФ, МПК С01В15/023. Способ получения пероксида водорода и композиция для его осуществления / М. Нюстрем, К. Йернвик. – 2001.

УДК 541.16

ББК 28.081

**Синтез углеродных наноматериалов в аппаратах с виброкипящим слоем катализатора**

Богатырев А.Б., Филатов Д.В., Попов М.С., Меметов Н.Р.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В настоящее время существует большое количество способов синтеза углеродных наноструктур. Среди них наибольшей технологичностью выделяется группа методов высокотемпературного каталитического пиролиза углеродсодержащего газа. Эти методы позволяют использовать дешевые и доступные углеводороды (в частности – пропан-бутановая смесь), не требуют высоких температур, легко масштабируются, что может обеспечить значительное снижение себестоимости углеродного наноматериала (УНМ). Для увеличения поверхности контакта газовой фазы и катализатора лучше всего использовать виброожижение. Применение аппаратов, создающих виброкипящий слой катализатора, позволяет значительно приблизиться к предельному случаю создания реактора с идеальным перемешиванием.

Для получения УНМ каталитическим пиролизом углеводородов чаще всего используются катализаторы на основе переходных элементов подгруппы Fe. На таких катализаторах можно получать как углеродных нанотрубок (УНТ), так и углеродных нановолокон (УНВ). Проведенные литературные исследования показали, что использование катализатора на основе Ni позволяет проводить процесс пиролиза при относительно низких температурах 550-600 °С, что снимает многие проблемы при создании реакторов. Процесс разложения углеводородов приводит к появлению значительного количества водорода в зоне реакции, что в сочетании с температурой более 800 °С интенсивно разрушает корпус аппарата вследствие водородной коррозии. Эту проблему можно решить, используя в качестве конструкционных материалов специальные жаропрочные стали. Однако, эти материалы достаточно дороги и требуют значительных технологических усилий при обработке деталей и сборке оборудования.

В то же время проведение процесса при температурах порядка 600 °С позволяет использовать при изготовлении оборудования обычные нержавеющие стали, например, 12Х18Н10Т.

Если рассматривать процессы с точки зрения организации промышленного производства, на первый взгляд очевидно преимущество непрерывных схем. Однако при более детальном изучении этих конструкций выявляется ряд серьезных недостатков. В таких конструкциях невозможно обеспечить стабильный температурный режим по всей длине реактора. Это приводит к тому, что процесс пиролиза начинается при "нережимной" температуре. Следствием этого является наличие аморфной сажи в готовом продукте, которую сложно отделить при последующей очистке. К недостаткам непрерывной схемы производства можно отнести и неизбежные проблемы, которые возникают при загрузке свежего катализатора и выгрузке готового продукта. Механическое возбуждение катализатора для его перемещения требует наличия подвижных соединений, требующих герметизации. Утечка реакционных газов ( $H_2$ ,  $C_xH_y$ ) в промышленном производстве недопустима, как недопустимо и присутствие кислорода в аппаратах. УНМ на воздухе начинают активно окисляться при температурах выше 350 °С.

Стабильный температурный режим можно с довольно высоким качеством обеспечить в периодическом реакторе. Однако при неподвижном слое катализатора готовый продукт представляет собой достаточно твердые агломераты, при этом имеет место их налипание на стенки аппаратов. При таком способе проведения процесса контакт катализатора с газовой фазой происходит по поверхности. Это приводит к тому, что приходится уменьшать толщину слоя, чтобы способствовать диффузии газа к внутренним слоям катализатора.

Проведенные исследования показали, что при незначительном увеличении толщины слоя катализатора, лежащего на непроницаемой подложке, удельный выход продукта резко уменьшается [1, 2]. К тому же локализация реакции на поверхности приводит к неизбежному значительному увеличению габаритов оборудования при попытке повысить производительность.

Очевидно, что с целью увеличения поверхности контакта фаз необходимо предусмотреть внутренние устройства (канавки, лопатки, полки и т.д.), либо перевести катализатор в хорошо перемешиваемое состояние (псевдоожижение, виброожижение, аппараты барабанного типа) и проводить реакцию в объеме. В пользу последнего говорит множество аппаратов с псевдоожиженным слоем, используемых в промышленном катализе с целью получения других материалов [3].

Если рассматривать аппараты с виброкипящим слоем, то их использование затрудняется тем, что подача газа с определенной скоростью в виброкипящий слой катализатора будет приводить к переводу слоя из состояния кипения в состояние интенсивного уноса.

В связи с этим интересной представляется задача создания реактора с продуваемым виброожиженным слоем катализатора. В основе этой идеи лежит создание с помощью вибрации слоя катализатора, приближенного к состоянию оживания настолько, насколько необходимо это для того, чтобы подаваемый в ходе реакции углеродсодержащий газ (со скоростью оптимальной для данного процесса) проходил слой в кипящем состоянии.

В периодическом реакторе такого принципа действия будут достаточно и легко соблюдены параметры процесса, такие как: стабильная температура в слое, время пребывания материала в аппарате, герметичность аппарата с целью предотвращения попадания кислорода в зону реакции. Реакция будет локализована не на поверхности раздела фаз, а в объеме. Регулирование параметров вибрации позволяет поддерживать слой в кипящем состоянии в ходе всего процесса независимо от свойств продукта в данный момент времени, сохраняя неизменным расход газа в реакции. Таким образом, скорость газа можно поддерживать оптимальной в течение времени процесса, что будет препятствовать уносу промежуточных продуктов реакции из зоны контакта фаз.

Анализ соответствующей литературы [4] показал, что процесс синтеза УНМ в виброожиженном слое катализатора недостаточно изучен, вследствие чего были проведены исследования по следующим направлениям:

- влияние расхода газа на удельный выход продукта;
- влияние параметров вибрации на удельный выход продукта и массу уносимого материала.

Исследовано влияние расхода газа на удельный выход продукта в лабораторной установке, на базе реактора с виброожиженным слоем (рис. 1).

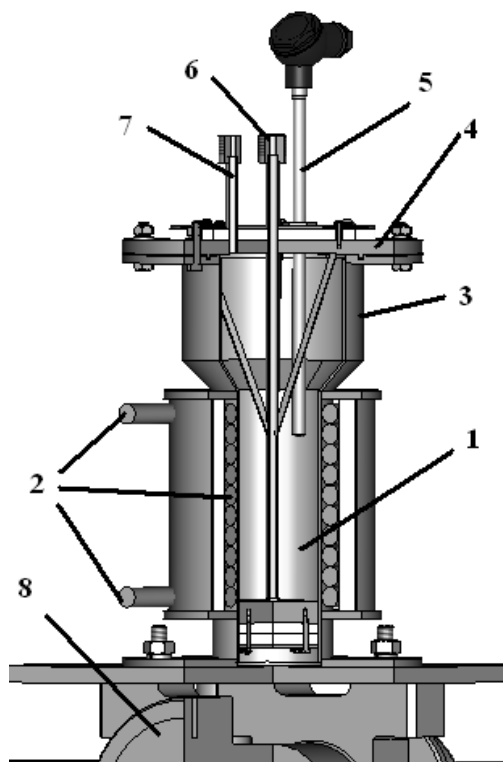


Рис. 1. Реактор с виброожиженным слоем материала:

1 – цилиндрическая обечайка, 2 – электрический нагреватель, 3 – конический раструб для предотвращения уноса материала, 4 – крышка корпуса, 5 – термопара типа ХА, 6 – патрубок подачи газа, 7 – патрубок отвода газа, 8 – вибростол

В качестве углеродсодержащего сырья наиболее часто используются такие углеводороды как метан, пропан, бутан, ацетилен, поэтому мы использовали пропан-бутановую смесь, которая является дешевой и доступной.

Синтез УНМ проводился следующим образом. Навеска катализатора массой  $m = 0,5$  г помещалась в реактор, который герметизировался. После чего в реактор подавался инертный газ (аргон), для удаления воздуха из зоны реакции, далее включался вибропривод и нагреватель. При достижении температуры  $650^{\circ}\text{C}$  пода-

чу аргона прекращали и начинали подавать пропан-бутановую смесь, с расходом 120 л/ч. По истечении времени, которое варьировалось от 0 до 55 минут, отключали нагрев и вибропривод и проводили продувку реактора инертным газом, для удаления газообразных продуктов пиролиза. В токе инертного газа реактор охлаждался до температуры окружающей среды и из реактора извлекался полученный продукт. В результате была получена кривая зависимости удельного выхода УНМ от времени (рис. 2).

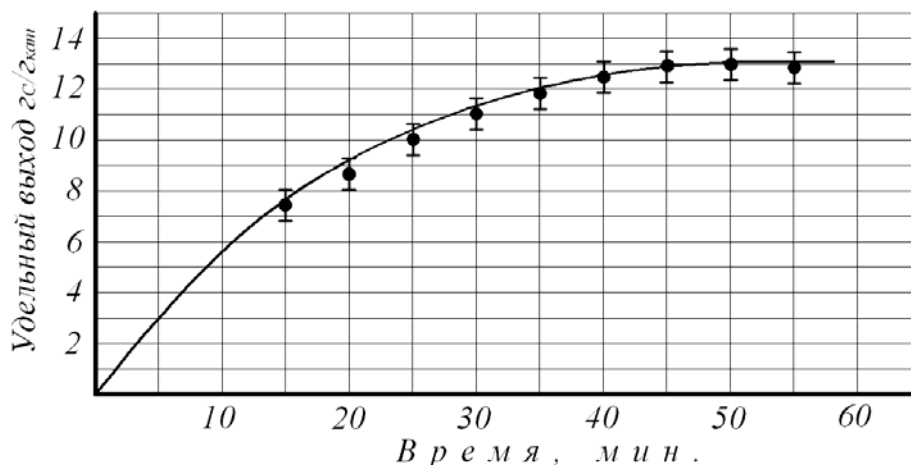


Рис. 2. Зависимость удельного выхода продукта от времени проведения процесса, при постоянном расходе газа

При изучении влияния времени проведения процесса на удельный выход продукта было установлено, что увеличение времени процесса способствует росту УНМ (рис. 3). При достижении значений 13,2 – 13,4 г<sub>с</sub>/г<sub>кит</sub> рост УНМ практически останавливается. Замедление роста УНМ и последующее практически полное его отсутствие свидетельствует о том, что катализатор теряет свою активность, и дальнейшее проведение процесса является нецелесообразным.

Как следствие, было принято решение о постепенном снижении расхода газа во время процесса синтеза УНМ, так как катализатор теряет свою активность, и все меньшее количество газа вступает в реакцию. Зависимость расхода газа от времени, была получена на основании зависимости, изображенной на рис. 2. А именно уменьшение расхода газа пропорционально уменьшению приращения удельного выхода УНМ. Данная зависимость представлена на рис. 3.

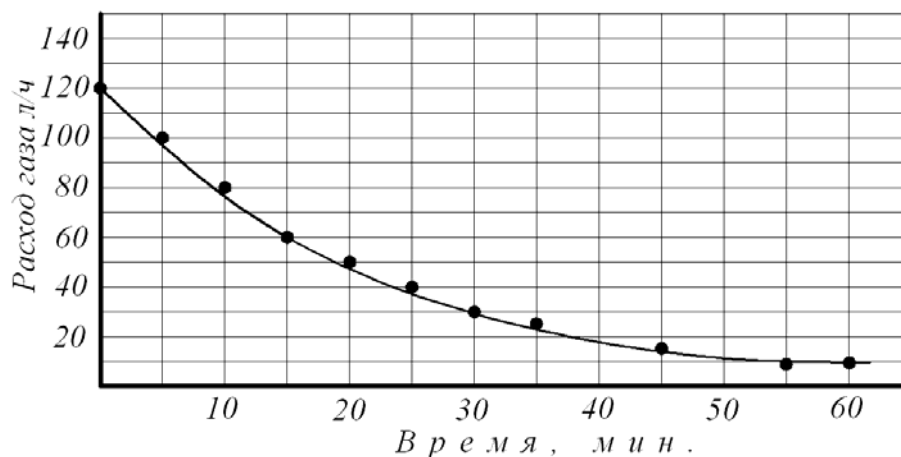


Рис. 3. Зависимость расхода газа от времени проведения процесса

Для изучения влияния частоты вибрации на удельный выход УНМ была собрана лабораторная установка (рис.4) на базе реактора для синтеза углеродных наноматериалов в виброоживленном слое [4]. Изменение частоты осуществлялось с помощью регулятора частоты «Altivar31»7, позволяющего регулировать частоту вибрации в диапазоне от 1 до 50 Гц. Расход углеродсодержащей смеси (баллон 3) и инертного газа (баллон 4) регулировался с помощью ротаметра РМ-Д-016Г 5. Контроль температуры осуществлялся ПИД-регулятором «ТРМ 101» 6. Для контроля массы унесенного материала после реактора 1 установлен барботер 2.

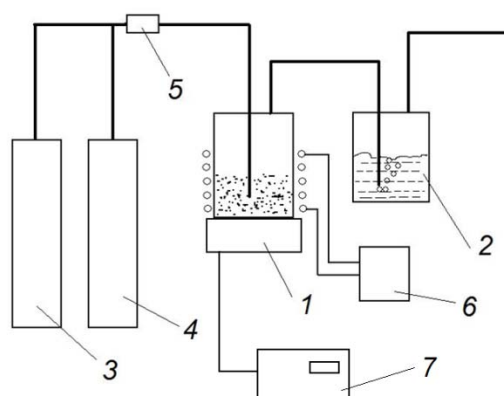


Рис. 4. Схема лабораторной установки

Методика определения массы унесенного из зоны реакции материала заключается в следующем. Углеродный наноматериал, который вылетает из реактора вместе с газом, проходя через слой воды, осаждается в барботере. Далее коллоидный раствор пропускается через предварительно высушенный и взвешенный

фильтр, который после высушивается и взвешивается. Разница масс фильтра после фильтрования и до фильтрования принималась за массу унесенного углеродного наноматериала.

Интенсивность виброкипения слоя материала зависит от относительного ускорения вибрации  $j$ . Виброкипящий слой образуется при  $j > 1$ . Но обычно ускорение вибрации берут в интервале от 1,2 до 5, что соответствует, при амплитуде равной 1 мм интервалу частоты от 24,5 до 50. В результате проведения опытов при различных частотах были получены зависимости удельного выхода УНМ (рис. 5) и массы унесенного материала (рис. 6) от частоты вибрации.

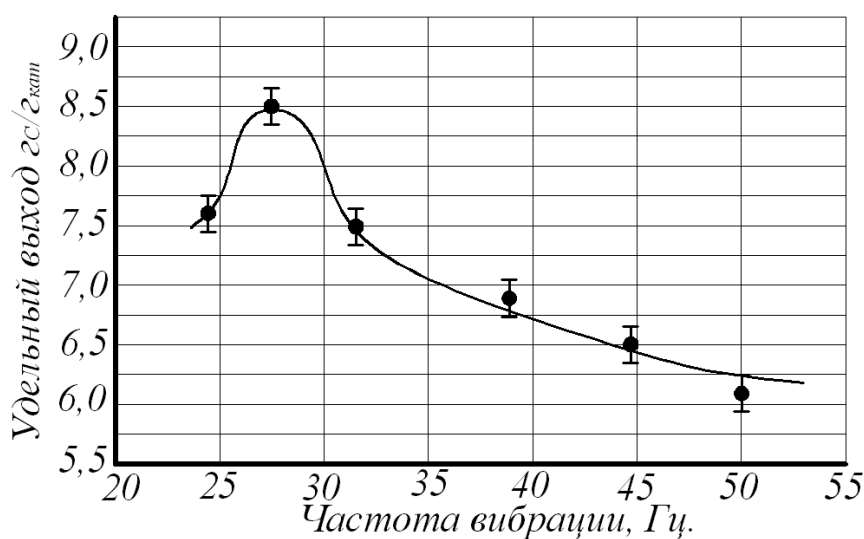


Рис. 5. Зависимость удельного выхода УНМ от частоты вибрации

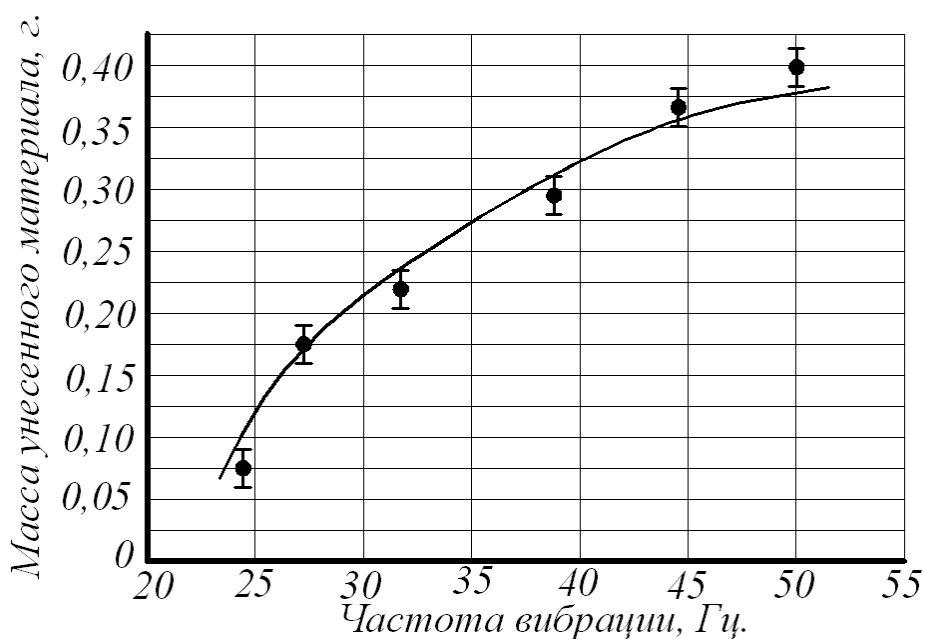


Рис. 6. Зависимость массы унесенного материала от частоты вибрации



При увеличении частоты вибрации интенсивность уноса растет, что наглядно показано на рис. 7. Это можно объяснить тем, что рост частоты вибрации приводит к увеличению вертикальной составляющей скорости частицы, способствуя повышению вероятности ее уноса из реактора.

Влияние изменения частоты на удельный выход получаемого углеродного наноматериала более сложное (рис. 6). На интервале частот от 24,5 до 27 Гц происходит увеличение удельного выхода углеродного наноматериала, а на интервале от 27 до 50 Гц происходит уменьшение удельного выхода.

Рост частоты вибрации способствует увеличению порозности продуваемого слоя, то есть увеличению площади контакта газа и катализатора, что способствует улучшению условий протекания процесса синтеза углеродных наноматериалов и, как следствие, увеличению удельного выхода целевого продукта. При дальнейшем увеличении частоты вибрации происходит интенсивный унос, что снижает удельный выход УНМ.

Дополнительным преимуществом синтеза УНМ в аппарате с виброкипящим слоем катализатора является снижение уноса материала и, как следствие, уменьшение выбросов в окружающую среду.

#### *Список используемой литературы*

1. Ткачев, А.Г. Углеродные наноматериалы на основе каталитического пиролиза углеводородов: состояние разработок и перспективы использования / А.Г. Ткачев, С.В. Блинов, Н.Р. Меметов // Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов: IX междунар. конф. - Киев, 2005. – С.474-475.
2. Технологический процесс получения наноматериалов пиролизом углеводородов / Н.Р. Меметов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – №5. – С. 70-71.
3. Катализ в кипящем слое / под общ. ред. И.П. Мухленова и В.М. Померанцева. – Л.: Химия, 1978. – 232 с.
4. Меметов, Н.Р. Конструкция и методика расчета для получения углеродных наноструктурных материалов в виброожиженном слое: дис. кан. тех. наук: 05.02.13: защищена 27.04.2006: утв. / Меметов Нариман Рустемович. – Тамбов, 2006. – 145 с.

**Основные направления и проблемы использования отходов  
сырных производств**

Богомолов В.Ю.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Молоко и молочные продукты традиционно играют значимую роль в питании людей. Одним из наиболее популярных продуктов переработки молока является сыр. Сыр – один из наиболее питательных и калорийных пищевых продуктов. Питательная ценность его обусловлена высокой концентрацией белка и жира, наличием незаменимых аминокислот, витаминов, солей кальция и фосфора, необходимых для нормального развития организма человека. В России на производстве масла и сыра специализируются немногим более 150 заводов, а около 100 выпускают только сыр. По оценке представителей Минсельхозпрода, производственные мощности отечественных сыроваренных предприятий сегодня используются, как максимум, на одну треть.

На территории Тамбовской области располагается сразу несколько сыродельных заводов, наиболее крупными из которых являются ОАО «Орбита» и Бондарский сыродельный завод. Учитывая сельскохозяйственную направленность региона, не оставляет сомнений тот факт, что производство сыра и иных продуктов переработки молока в нашем регионе будет расти.

Традиционные способы разделения молока, основанные на биотехнологии (закваски, ферменты) и использовании химических реагентов (кислоты, щелочи, соли), обеспечивают получение подсырной (сладкой), творожной (кислой) и казеиновой сыворотки. Процесс производства сыра упрощенно сводится к свертыванию сырной массы из молока. Однако масса сыра, творога и казеина составляет 10–20% массы молока, в то время как 80–90% приходится на молочную (подсырную) сыворотку, которая и является основным отходом сыродельных производств.

Помимо больших удельных объемов образования отхода – подсырной сыворотки, следует также отметить, что сыворотка является продуктом биологи-

чески активным и легко поддается брожению, что становится особенно актуальным в теплое время года. Эти факторы и обуславливают основные проблемы обращения с отходами сырных производств. При производстве сыров в сыворотку переходит в среднем 50 % сухих веществ молока, в том числе большая часть лактозы и минеральных веществ, что делает возможным ее использование для получения вторичных продуктов.

Состав подсырной сыворотки зависит от вида вырабатываемого сыра и его жирности. Среднее содержание основных компонентов (%) в ней: сухие вещества – 6,5; лактоза – 4,5; белковые вещества – 0,7; минеральные соли – 0,5. Содержание белков в молочной сыворотке зависит от способа коагуляции белков молока, принятого при получении основного продукта. Сывороточные белки содержат в своем составе больше незаменимых аминокислот, чем казеин, являются полноценными белками, которые используются организмом для структурного обмена, в основном для синтеза белков печени, образования гемоглобина и плазмы крови. В подсырную сыворотку переходят практически все соли и микроэлементы молока, а также водорастворимые витамины.

В целом, подсырная сыворотка оказывает положительное влияние на пищеварительную, нервную, сердечно-сосудистую системы человека и на сопротивляемость организма заболеваниям. Сыворотка, полученная при переработке пастеризованного молока с соблюдением санитарно-гигиенических условий, может считаться готовой к употреблению, однако при хранении состав и свойства сыворотки изменяются. Этому способствует действие молочнокислых бактерий в процессе производства, обсеменение микрофлорой. Лактоза, как наименее устойчивый компонент, подвергается ферментативному гидролизу. Изменяются также pH среды и мутность сыворотки. Кроме того, происходит гидролиз белков и жира, изменяется вкус сыворотки, могут накапливаться нежелательные и даже вредные вещества. Поэтому в промышленности сыворотка подвергается переработке.

Существуют различные методы переработки подсырной сыворотки. Тепловые методы используются для охлаждения сыворотки с целью сохранения ее качества при временном хранении, подогрева – с целью пастеризации, выделе-

ния сывороточных белков, проведения некоторых других технологических операций. Центробежные методы (сепарирование, центрифугирование) используются для выделения из сыворотки жира, казеиновой пыли, коагулированных сывороточных белков, отделения кристаллов сахара, некоторых других технологических процессов. Для сохранения первоначальных свойств сыворотки и некоторых полуфабрикатов помимо пастеризации и охлаждения могут применяться различные способы консервирования.

Наиболее перспективными на сегодняшний момент являются мембранные методы переработки подсырной сыворотки. Именно это направление сегодня принято приоритетным на Бондарском сыродельном заводе.

Применение мембранных методов позволяет осуществлять концентрирование сыворотки в 6-7 раз до содержания сухих веществ 11,5 % с возвратом ее в качестве заменителя молока в производство мягких сыров, либо наладить производство сухого концентрата сывороточного белка с содержанием белка 80% (КСБ-УФ-80). Возврат концентрированной сыворотки в качестве заменителя молока возможен только при производстве мягких сыров и творога. При этом требуется некоторая подработка технологии, связанная с определением соотношения в смеси молока и заменителя молока, при этом необходимо учитывать, что доля (содержание) сывороточных белков будет постепенно увеличиваться в сыворотке после каждого использования смеси.

Технологический процесс включает в себя предварительную обработку сыворотки перед ультрафильтрацией – осветление (отделение остатков жира и казеина) и пастеризацию с целью подавления заквасочных культур. Обычно отделение жира и казеина из сыворотки, производится на центробежном сепараторе-сливкоотделителе по исходному потоку сыворотки. Сепаратор делит поток на обезжиренную сыворотку и жирную сыворотку с содержанием жира около 9 %. Обезжиренная сыворотка после тепловой пастеризации, выдерживается в течение 30 мин при температуре 55-60 °С для того, чтобы высадить фосфат Са, являющийся основным источником забивания мембран, и направляется на стадию ультрафильтрации.

Извлечение неорганических ионов из концентрата возможно совместить со стадией ультрафильтрации, при условии проведения процесса в электробаро-

мембранном аппарате с наложением электрического поля. В таком случае, неорганические анионы и катионы направлено движутся к соответствующим электродам и удаляются с потоками пермеата. Таким образом достигается сокращение технологической схемы концентрирования сыворотки до стадии грубой механической предочистки и непосредственного концентрирования в мембранном аппарате.

Однако при проведении электробаромембранного процесса в промышленных условиях следует учитывать потери тепла, при прохождении через систему электрического тока, т.к. сыворотка активно подвергается брожению при повышении температуры раствора.

Отходом процесса является пермеат – раствор, в котором содержится около 82 % лактозы. Этот раствор, после концентрирования и/или сушки может быть использован для производства молочного сахара-сырца, лактулозы (лечебно-профилактического препарата, используемого для лечения заболеваний печени и нормализации работы желудочно-кишечного тракта), в качестве основы питательных сред на фармацевтических заводах, а также при производстве различных напитков.

Работа выполнена при поддержке Федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 гг.» и «Повышение научного потенциала высшей школы».

#### *Список использованной литературы*

1. Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.
2. Кунижев С.М., Шуваев В.А. Новые технологии в производстве молочных продуктов. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 203 с.
3. Храмцов А.Г. Молочная сыворотка. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
4. Полянский К.К., Шапошник В.А., Пономарев А.Н. Деминерализация молочной сыворотки электродиализом. – Молочная промышленность №10. – 2004. – С. 48 – 49.

УДК 66.081.6

ББК Л113.91я73

**Обезжелезивание и деманганация воды на хемосорбционных и мембранных фильтрующих элементах**

Браяловский Г.Б., Дуев С.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России*

*Б.Н. Ельцина (Россия, Екатеринбург)*

Извлечение из воды соединений железа и марганца является актуальной задачей для подготовки воды, как для питьевого, так и производственного назначения. Питьевая вода с высоким содержанием данных элементов обладает низкими органолептическими свойствами и способна вызывать аллергические и сердечно-сосудистые заболевания. Использование такой воды в производственном процессе приводит к появлению ржавых пятен и разводов на готовой продукции. При производстве бумаги, в текстильной промышленности, в прачечных использование воды, содержащей железо и марганец, недопустимо. Данные ионы загрязняют ионообменные смолы, поэтому при проведении большинства ионообменных процессов первой стадией обработки воды является их удаление.

Очистка воды от соединений железа является в ряде случаев довольно сложной задачей, которая может быть решена только комплексно. Это обстоятельство в первую очередь связано с многообразием форм существования железа в природных водах. Чтобы определить наиболее действенный и экономичный для конкретной воды метод обезжелезивания, нужно произвести пробное удаление железа.

В соответствии с требованиями СНиП метод обезжелезивания воды, расчетные параметры и дозы реагентов следует принимать на основе результатов технологических изысканий, выполненных непосредственно у источника водоснабжения.

В воде поверхностных источников железо находится обычно в форме органично-минеральных коллоидных комплексов, в частности в виде гуминовокислого железа, и тонкодисперсной взвеси гидроксида железа. В речной воде, загряз-

ненной кислотными стоками, встречается сульфат двухвалентного железа  $\text{FeSO}_4$ . Из-за наличия в речной воде растворенного кислорода двухвалентное железо  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется в трехвалентное  $\text{Fe}^{3+}$ . При появлении в воде сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$  образуется тонкодисперсная взвесь сульфида железа  $\text{FeS}$ .

Подземные источники воды в подавляющем большинстве характеризуются наличием растворенного бикарбоната двухвалентного железа  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , который вполне устойчив при отсутствии окислителей и при  $\text{pH} > 7,5$ . При высокой карбонатной жесткости,  $\text{pH} > 10$  и содержании  $\text{Fe}^{2+} > 10$  мг/л бикарбонат может гидролизаться с образованием углекислоты.

Российские санитарные нормы ограничивают общее содержание железа в воде для хозяйственно-питьевых нужд до 0,3 мг/л. В некоторых странах допустимое содержание составляет 0,2 мг/л. Фактически концентрация железа в подземных грунтовых водах находится в пределах от 0,5 до 50 мг/л. В центральном российском регионе, включая Подмоскowie, эта величина изменяется в диапазоне 0,3 – 10 мг/л, наиболее часто 3-5 мг/л, в зависимости от географического местоположения и глубины источника. Начиная с концентрации 1,0-1,5 мг/л вода имеет неприятный металлический привкус. При уровнях выше 0,3 мг/л железо оставляет пятна на белье и санитарно-технических изделиях. При концентрации железа ниже 0,3 мг/л запах обычно не ощущается, хотя может появляться мутность и цветность воды.

Анаэробная (не имеющая контакта с воздухом) прозрачная грунтовая вода может содержать соединения двухвалентного железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ) до нескольких миллиграммов на литр без ее помутнения при прямой подаче из источника. Однако при контакте с воздухом, а точнее с кислородом воздуха, двухвалентное железо окисляется до трехвалентного коллоидного состояния, что придает воде характерный красно-коричневый оттенок. Гидроксид трехвалентного железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  коагулирует и переходит в оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ , выпадающий в виде бурых хлопьев.

Пользователь зачастую наблюдает следующую картину: в первый момент вода, полученная из скважины, кажется абсолютно чистой и прозрачной, но в

течение нескольких минут она мутнеет с появлением специфического оттенка. При отстаивании воды муть оседает, образуя бурый рыхлый осадок (оксид трехвалентного железа).

Железо способствует также развитию «железобактерий», которые получают энергию при окислении  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ , в результате чего в трубопроводах и на оборудовании образуется скопление слизи. В процессе окисления на 1 мг  $\text{Fe}^{2+}$  затрачивается 0,143 мг кислорода ( $\text{O}_2$ ), увеличивается содержание свободной углекислоты на 1,6 мг/л, а щелочность снижается на 0,036 мг-экв/л.

Присутствие в воде солей меди, а также контакт воды с ранее выпавшим осадком  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , каталитически ускоряет процесс окисления  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ .

В зависимости от условий (значение pH, температура, наличие в воде окислителей или восстановителей, их концентрация) окисление может предшествовать гидролизу, идти параллельно с ним или окислению может подвергаться продукт гидролиза двухвалентного железа  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ .

Марганец присутствует в земной коре в большом количестве и обычно он встречается вместе с железом. Содержание растворимого марганца в подземных и поверхностных водах, бедных кислородом, достигает нескольких мг/л. Российские санитарные нормы ограничивают уровень предельно-допустимого содержания марганца в воде хозяйственно-питьевого назначения до 0,1 мг/л, а в некоторых странах Европы эта величина ниже 0,05 мг/л. Превышение содержания марганца ухудшает органолептические свойства воды. При уровне выше 0,1 мг/л марганец приводит к появлению пятен на санитарно-технических изделиях, а также нежелательного привкуса воды. На трубопроводах образуется пленка, которая отслаивается в виде черного осадка.

В подземных водах марганец находится в виде хорошо растворимых солей в двухвалентном состоянии. Для удаления марганца из воды его необходимо перевести в нерастворимое состояние окислением  $\text{Mn}^{2+}$  в  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$ . Окисленные формы марганца гидролизуются с образованием практически нерастворимых гидроксидов  $\text{Mn}(\text{OH})_3$  и  $\text{Mn}(\text{OH})_4$ . Последний при осаждении на зернистой загрузке фильтра проявляет каталитические свойства, т.е. ускоряет процесс окисления двухвалентного марганца растворенным кислородом.



Для эффективного окисления марганца необходимо, чтобы величина рН очищаемой воды была на уровне 8,0-8,5. В качестве окислителя применяют перманганат калия, хлор или его производные (гипохлорит натрия), озон, кислород воздуха.

Для обезжелезивания и деманганации поверхностных вод на практике используют только реагентные методы с последующей фильтрацией. Для очистки подземных вод осуществляют фильтрованием в сочетании с одним из способов предварительной обработки воды:

- упрощенная аэрация,
- аэрация на специальных устройствах,
- коагуляция и осветление,
- введение реагентов-окислителей, таких как хлор, гипохлорит натрия или кальция, озон, перманганат калия;

При мотивированном обосновании применяют и другие методы, например катионирование, диализ, флотация, электрокоагуляция и др.

Для удаления из воды железа, содержащегося в виде коллоида гидроксида железа  $Fe(OH)_3$  или в виде коллоидальных органических соединений, например гуматов железа, используют коагулирование сульфатом алюминия или железным купоросом с добавлением хлора или гипохлорита натрия.

Все большее распространение получают скорые фильтры с каталитическими наполнителями, ускоряющими процессы окисления железа и марганца до нерастворимых соединений:

- дробленый пиролюзит, «черный песок», сульфоуголь и МЖФ (отечественные загрузки);
- Manganese Greensand (MGS), Birm, MTM (зарубежные наполнители);

Это обусловлено как коммерческими аспектами, так и высокой технологичностью фильтров.

Наполнители загружаются в фильтры баллонного типа, снабженные автоматическими электронными блоками управления работой фильтра. В корпусе фильтра также размещены дренажно-распределительная система и поддержи-

вающий наполнитель слой гравия. При необходимости в комплект фильтра включают бак для приготовления и хранения раствора реагента.

В процессе работы фильтра загрязнения, в том числе и железо, задерживаются в слое зернистой фильтрующей каталитической загрузки и в дальнейшем, вымывается в дренажную линию при обратной промывке фильтра.

Анализ методов демангации и обезжелезивания показывает, что для простого потребителя решение задачи очистки воды от железа и марганца является крайне сложной. Установка автоматических напорных фильтров и аэрационных колонн в квартире, офисе или небольшом пункте питания затруднительна. Методы обратного осмоса и ионного обмена в бытовых установках применять возможно, но повышенное содержание железа сокращает их ресурс в несколько раз.

В ходе решения данной задачи авторам удалось разработать новый фильтрующий элемент для эффективного удаления из воды растворенных форм железа и марганца. Основной принцип работы элемента основан на окислении марганца и железа при помощи двуокиси марганца особой морфологии.

В данный момент, на базе научно-производственной организации «БМБ» осуществлен запуск опытного производства данных фильтров. Конструктивно готовые изделия представляют собой фильтрующие элементы, которые могут быть установлены в целый ряд известных типоразмеров корпусов-фильтров, включая широко распространенные Slim и Big Blue. Данные фильтры могут экономично и удобно использоваться для очистки воды, как в бытовых условиях, так и на больших производствах.

Исследования показали высокие технологические характеристики выпускаемых элементов. Предельный расход, при котором происходит эффективное удаление железа и марганца составляет более 3000 литров в час на один погонный метр фильтра. Рабочая сорбционная емкость составляет более 12 грамм железа или марганца на один погонный метр элемента. Исследования подтвердили возможность использования технологии, как на поверхностных водах, так и на подземных.

Также доказана способность фильтрующего элемента эффективно снижать цветность воды и содержание тяжелых металлов. Содержание нейтральных солей при очистке не изменяется.

Разработанный элемент может быть включен практически в любую бытовую трехступенчатую систему очистки воды между механическим и сорбционным фильтром. Для города Екатеринбурга, в такой схеме, его ресурс составит более 24 тысяч литров на метр материала.

Ряд районов Свердловской области практически не имеют источников воды питьевого качества. Поверхностные воды загрязнены промышленными выбросами, а подземные имеют многократные превышения по показателям железа, марганец, кремний, бром, бор, хлориды, солесодержание. Грамотное применение комбинированной баромембранной технологии с традиционными методами очистки позволяют получить воду питьевого качества. Предприятие БМБ ввело в эксплуатацию пилотную станцию очистки воды производительностью 0,8 куб.м./час в одном из отдаленных поселков Свердловской области. Станция находится в подсобном помещении водонапорной башни, питьевая вода подается в тару потребителей через трубопровод, выведенный за наружную стену, по сигналу клавиши. В течение первого месяца жителями окрестных поселков и районного центра было разобрано более 50 кубических метров очищенной воды.

Комплексные баромембранные и сорбционные технологии также нашли свое применение в подготовке воды питьевого качества для коттеджных поселков «Финский залив» и «Дубрава». Очистке подвергалась вся вода, поступающая к потребителю. С помощью обратноосмотических мембран удалось снизить содержание железа и кремния до ПДК.

УДК 662.75

ББК 35.51

**Молекулярная механоактивация углеводородных  
моторных топлив**

Воробьев Ю.В.

*Тамбовский государственный технический университет*

*(Россия, г. Тамбов)*

Механоактивация органических жидкостей в комплексе оказывает все виды воздействия на жидкую среду: тепловое, магнитночастотное, электромагнитное, а также инициирует химические реакции. Но основополагающими факторами механоактивации является непосредственное силовое воздействие на молекулярные образования, приводящее к необратимому изменению свойств и состава жидкой среды и запуск процесса самоактивации с выделением внутренней энергии.

В соответствии с этими составляющими механоактивации проявляется механическое воздействие на исследуемую жидкую среду, приводящее к неупорядоченному состоянию, получившему название «квантового хаоса», вызывающего ослабление и разрыв межмолекулярных связей и самоорганизацию на молекулярном уровне до достижения энергетического равновесного состояния. При механоактивации затрачиваемая энергия возмещается и дополняется за счет образования новых молекулярных цепей, которые восстанавливают энергетический баланс.

В ТГТУ была проведена серия опытов с применением разработанного и запатентованного механоактиватора на моторных топливах: дизельном и бензине марки АИ-92. Результаты опытов оценивались посредством хроматограмм, экологических показателей расхода топлива и экологических показателей выхлопных газов. Хроматограммы номенклатурного дизельного топлива до и после механоактивации показали, что в активированном топливе уменьшилась концентрация тяжелых углеводородов и значительно возросла концентрация

легких углеводородов. Кроме того в активаторном дизельном топливе появились новые компоненты, а именно, более легкие углеводороды: гексан, гептан, зм-пентан, концентрация которых достигала 37%. Это означает, что механоактивация способна существенно изменить свойства и состав моторных топлив.

Экологические исследования дизельного топлива, активированного посредством указанного механоактиватора, проведенные в Объединенном центре промышленных исследований США показали снижение в результате активации NO до 15%, NO<sub>2</sub> до 14% и CO до 79%. Исследования, проведенные в Испытательной лаборатории нефтепродуктов «Тамбов-Терминал» показали снижение после активации номенклатурного дизельного топлива массовой доли серы с 0,032% до 0,015% и концентрации фактических смол – с 7,4 мг/100 см<sup>3</sup> до 0,8мг/см<sup>3</sup>.

Отсюда следует вывод, что механоактивация жидких органических сред осуществляет перестройку их структуры по принципу «упрощения» – деления длинных молекулярных цепей и образования более коротких, что, в свою очередь, приводит к увеличению масс-долей легких компонентов и связанной с этим плотности жидкой среды в фиксированном объеме.

Проведенные стендовые испытания показали снижения расхода в результате активации дизельного топлива на 28,6% и бензинового топлива на 31,9%. Разрыв молекулярной цепи фактически означает её деление на более короткие молекулярные цепи вплоть до свободных радикалов.

Критерием окончания процесса является получение равновесного термодинамического состояния в занимаемом объеме за счет закачки потока энергии необходимой плотности для локального воздействия на молекулярную цепь. Этот критерий может быть удовлетворен посредством активации, среди вариантов которой на первое место следует поставить механическую активацию, так как она осуществляется способом, позволяющим избирательно и локально воздействовать на обрабатываемую среду.

Чтобы активировать жидкость, надо закачать энергию, часть которой сосредотачивается в узловых точках, называемых также, особыми точками. Они об-

разуются при раздвоении молекулярных цепей, слипании двух цепей, внедрении атомов кислорода, наличии таких дефектов, как двойная связь и нелинейность строения молекулы.

Поступающая энергия накапливается в узловых точках и при достижении пороговой плотности разрывает молекулярную цепь. При этом чем длиннее молекулярная цепь, тем меньшая плотность энергии требуется. Выделившаяся молекулярная энергия частично идет на дальнейшее деление образовавшихся структур на ещё более короткие молекулярные цепи, а частично на образование новых молекулярных цепей, в том числе таких, которые отсутствовали в исходной среде. Таким образом, можно создать и поддерживать равновесие при сравнительно небольшом постоянном поступлении внешней энергии и выделения дополнительной энергии, запуская процесс разрыва молекулярных цепей и образования новых молекулярных цепей посредством самоорганизации.

Самоорганизация в данном случае – процесс изменения фазового состояния или состава вещества при переходе в равновесное состояние.

При постоянной подаче энергии процесс этот начинает протекать с одной стороны самопроизвольно, а с другой стороны избирательно, пока не накопится некоторое количество свободных радикалов. После этого активизируется стадия самоорганизации.

У свободных радикалов большая активность и они стремятся объединиться или оторваться с каким-либо атомом и, таким образом, появляются новые, более короткие молекулярные цепи.

Этот процесс продолжается до достижения некоторого равновесного состояния в занимаемом объеме. Очевидно, чем больше объем и длиннее молекулярные цепи, тем легче происходит деление молекулярных цепей на куски. Это можно объяснить тем, что, в этих случаях, количество спутанных молекулярных цепей уменьшается и снижается плотность энергии, требуемая для достижения равновесного состояния.

Частным случаем самоорганизации является рекомбинация – объединение свободных радикалов или присоединение сорбированных атомов на поверхно-

сти, в том числе пристенной. Однако в большом объеме, как было указано, атомы легче рекомбинируют. Так же возможно образование новых химических соединений, отсутствующих в исходном веществе.

В пристенном слое рекомбинация будет происходить быстрее. Возможна организация каталитических процессов на поверхности, при которых на активном центре происходит адсорбция с последующим химическим разложением. На рекомбинацию оказывает влияние шероховатость стенок корпуса активатора.

Изменение энергии системы за счет диссоциации и последующей рекомбинации, оказывается намного больше, чем расход энергии на создание неупорядоченного состояния, например, посредством турбулизации, кавитации и трения.

Процесс объединения свободных радикалов может некоторое время продолжаться и в ламинарном потоке за счет того, что в ламинарном потоке молекулярные цепи растягиваются.

Основной вывод: самоорганизация происходит посредством цепных реакций с участием свободных радикалов, растворенного кислорода и гидропероксидов с последующим изменением состава углеводородного топлива.

УДК 66.021.4:621.357

ББК 34.663

**Технология нанесения наномодифицированных гальванических оксидированных покрытий на алюминиевые теплоотдающие элементы энергетического оборудования для повышения их энергоэффективности**

Гравин А.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Тепловые взаимодействия играют ключевую роль в большинстве процессов, используемых в промышленных производствах, энергетике, при эксплуатации оборудования и сооружений, а также в других областях человеческой деятельности. Интенсивность тепловых процессов в промышленных технологиях определяет производительность, качество продуктов, затраты на производство и многое другое.

Изучением тепловых процессов учёные занимаются уже не одно столетие, однако в настоящее время исследования в области интенсификации процессов теплоотдачи становятся всё более актуальными ввиду постоянно возрастающих требований к повышению эффективности, компактности, технологичности изготовления, надёжности; снижению материалоемкости, тепловых и гидродинамических потерь производственного оборудования различного назначения.

На интенсивность теплоотдачи прямо или опосредствованно влияет значительное количество теплофизических, кинетических, геометрических и внешних факторов. Но наряду с традиционными методами интенсификации теплоотдачи всё большее внимание уделяется принципиально новым подходам. В данной работе исследуется гальваническое изменение алюминиевых поверхностей с использованием нанодисперсных материалов для интенсификации теплоотдачи. В качестве нанодисперсного материала был выбран углеродный наноматериал – углеродные нанотрубки (УНТ) «Таунит» [1].



Теплообмен можно повысить путем развития поверхности покрытия или добавлением в него более теплопроводящей компоненты. С одной стороны модифицирование УНТ оксидированного гальванического покрытия алюминия способно повысить его теплопроводящие свойства, поскольку УНТ имеют коэффициент теплопроводности значительно больший, чем у алюминия. С другой стороны, агломераты УНТ, встраиваясь в оксид алюминия в процессе анодирования, развивают его поверхность, и повышают значение коэффициента теплоотдачи наномодифицированного гальванического оксидированного покрытия.

Целью данной работы является разработка технологии нанесения наномодифицированных гальванических оксидированных покрытий на алюминиевые теплоотдающие элементы энергетического оборудования для повышения их энергоэффективности.

В экспериментах по анодированию алюминия использовались круглые плоские образцы из алюминия марки АМг3 диаметром 28 мм, толщиной 1,6 мм. Процесс нанесения оксидированного покрытия отличался от традиционного введением в водный раствор 100-1600 мг/л порошка УНТ «Таунит». Перемешивание производилось в ультразвуковом диспергаторе в течение 5 минут.

В результате проведенных экспериментальных исследований и расчетов, описанных в [2] было установлено, что значение коэффициента теплоотдачи к воздуху увеличивается на 17% при скорости обдува 1 м/с, на 24% при скорости обдува 5 м/с у наномодифицированных оксидированных покрытий алюминия с концентрацией УНТ «Таунит» в электролите анодирования 600 мг/л по сравнению с чистыми оксидированными покрытиями алюминия. Кривые нагрева в воздушной среде образцов с описанными выше покрытиями приведены на рис. 1.

Результаты данного исследования могут быть использованы в промышленности, например, в виде покрытия для радиаторов, испарителей, конденсаторов, теплообменников, использующих жидкие и газовые фазы с целью увеличения их теплоотдающих свойств.

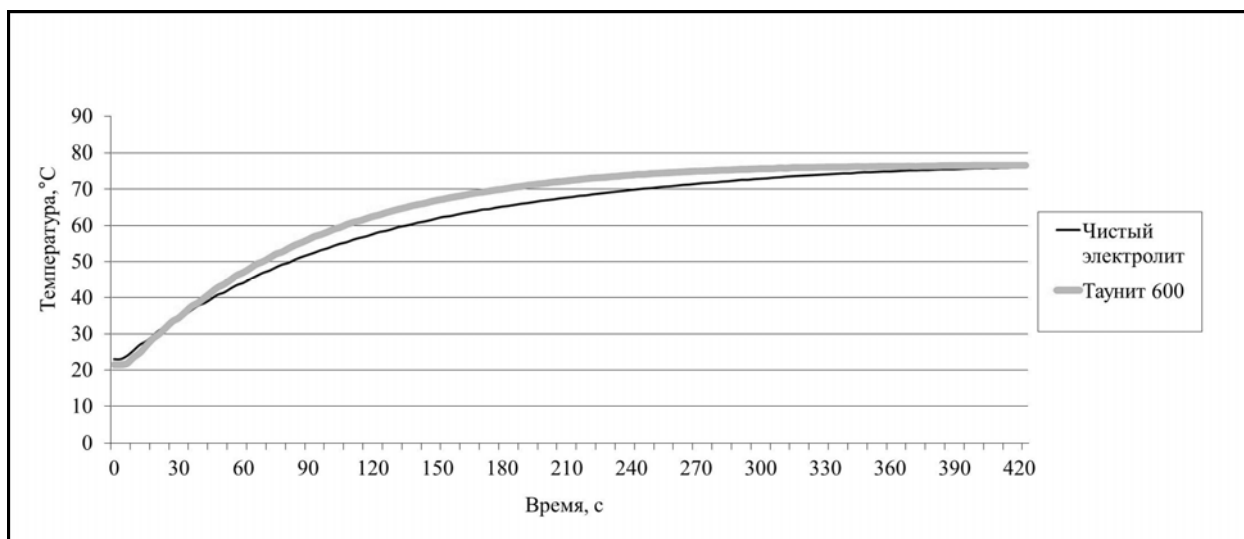


Рис. 1. Пример кривых нагрева в воздушной среде чистых оксидированных (чёрная кривая) и наномодифицированных гальванических оксидированных (серая кривая) поверхностей алюминия

*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы при поддержке Государственного контракта № 14.740.11.1372.*

#### *Список использованной литературы*

1. Ткачев, А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / А.Г. Ткачев, С.В. Мищенко. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Гравин, А.А. Метод нанесения наномодифицированных оксидированных покрытий на алюминиевые теплоотдающие поверхности для интенсификации теплообмена / А.А. Гравин // Тез. Докл. XV Междунар. Сов. «Совершенствование технологии гальванических покрытий». – Киров, 2012. – С. 24 – 25.

УДК 541.13

ББК 24.57

**Оптический метод измерения концентрации углеродного наноматериала  
«Таунит» в растворе электролита оловянирования (Sn-Bi)**

Давыдова Д.В.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Покрyтия сплавом олово-висмут обладают высокой коррозионной стойкостью при эксплуатации изделий в присутствии сероводорода и других агрессивных сред, имеют высокую пластичность, электропроводны, сохраняют хорошую паяемость после длительного срока хранения (до одного года).

Применение углеродных наноматериалов в гальваническом производстве изменяет свойства электролитов и получаемых покрытий. В процессе электрохимических реакций концентрация наноматериала уменьшается, а оптимальные концентрации наноматериалов в электролите невелики и должны быть стабильны. Появляется необходимость измерения точных значений концентрации. Предложен оптический метод измерения, основанный на знании оптической плотности и степени прозрачности. При нанесении гальванических покрытий в электролит добавляются фуллереноподобные углеродные нанотрубки (УНТ) – наноуглеродный материал, зарегистрированный под торговой маркой «Таунит», который производится в ООО «НаноТехЦентр».

Цель работы можно определить следующим образом – измерение концентрации УНТ «Таунит» в электролите для последующей её стабилизации.

Данные получены в результате серий экспериментов. Измерения проводились до получения устойчивого повторения результатов.

Использовались различные пробы электролитов, свежеприготовленных и находящихся в пробирках в течение месяца после приготовления и эксплуатации. Пробы электролитов: чистый, не бывший в эксплуатации; чистый бывший в эксплуатации, эксплуатируемый с различными концентрациями УНТ «Таунит».

Чистый, не бывший в эксплуатации электролит, необходим для построения функции оптической плотности и определения рабочей длины волны.

Бывший в эксплуатации электролит, необходим для определения погрешности измерений связанных с загрязнением электролита оксидами, шламами деталей, осадками, связанными с кристаллизацией компонент электролита.

Эксплуатируемые электролиты с различными концентрациями УНТ «Таунит», необходим для определения концентрации УНТ как функции от оптической плотности.

Для достижения цели были решены следующие задачи: изучены оптические свойства чистых электролитов; изучены погрешности измерения оптических свойств электролитов, возникающих в процессе эксплуатации; изучены изменения оптических свойств электролитов при добавлении УНТ «Таунит»; получены функциональные зависимости концентрации УНТ «Таунит» от оптических свойств электролитов. Исследования проводились с помощью фотометра КФК-3.

Состав электролита для покрытия сплавом олово-висмут: сульфат олова  $\text{SnSO}_4$  24-35 г/л; сульфат висмута  $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,8-1,5 г/л; серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$  170-180 г/л; формалин 40%-ный  $\text{CH}_2\text{O}$  5-6 мл/л; блескообразующая добавка «ЭКОМЕТ-Л6» 40-45 мл/л.

Режим осаждения: катодная плотность тока 1-3 А/дм<sup>2</sup>; температура 18-25 °С; аноды – оловянные в чехлах из полипропиленовой ткани; в отсутствии тока аноды необходимо вынимать из ванны.

По полученным данным нашли функцию зависимости оптической плотности (Е) и коэффициента пропускания (П) от концентрации УНТ ( $C_{\text{УНТ}}$ ), имеющую наименьшую погрешность ( $R^2$ ):

$$E = 0.012C_{\text{УНТ}}^5 - 0.148 C_{\text{УНТ}}^4 + 0.882 C_{\text{УНТ}}^3 - 2.783 C_{\text{УНТ}}^2 + 4.757 C_{\text{УНТ}} - 1.951$$

при  $R^2 = 0.896$

$$\begin{aligned} \Pi = & 0.001 C_{\text{УНТ}}^6 - 0.058 C_{\text{УНТ}}^5 + 0.873 C_{\text{УНТ}}^4 - 6.718 C_{\text{УНТ}}^3 + 28.01 C_{\text{УНТ}}^2 - \\ & - 60.77 C_{\text{УНТ}} + 55.36 \\ & \text{при } R^2 = 0.999 \end{aligned}$$

$R^2$  – это коэффициент детерминированности. Если он равен 1, то имеет место полная корреляция с моделью, т.е. нет различия между фактическим и оценочным значениями  $y$ . В противоположном случае, если коэффициент детерминированности равен 0, то уравнение регрессии неудачно для предсказания значений  $y$ .

УДК 621

ББК 331

## **Тригенерационная водородная паротурбинная установка**

Дахин С.В., Дроздов И.Г.

*Воронежский государственный технический университет (Россия, г. Воронеж)*

Тема водородно-кислородной генерации пара начала встречаться в научных публикациях с начала 1980-х годов. Анализ научно-технической литературы показал, что работы в данном направлении проводились очень ограниченным количеством развитых стран. Это обусловлено в первую очередь тем, что разработки подобных водородосжигающих установок требуют большого опыта во многих областях науки и техники.

Для энергетики имеет большое значение то обстоятельство, что при сгорании стехиометрической смеси водорода в кислороде образуется чистый перегретый водяной пар – рабочее тело современных паротурбинных установок. Поскольку водород является вторичным энергоносителем, т.е. довольно дорогим топливом, рабочий цикл энергоустановок должен быть организован так, чтобы использовать его с максимальной эффективностью. Это означает, что начальная температура рабочего тела при сжигании водорода должна быть максимально высокой, а теплота выхлопа турбины эффективно утилизироваться.

Предлагаемая схема когенерационного и тригенерационного использования водородной паротурбинной установки (ВПУ), может быть реализована при работе ВПУ как в составе ТЭС (АЭС), так и в автономном режиме [1, 2].

На рис. 1 показана принципиальная схема возможного использования теплоты рабочего тела при тригенерации (когенерации), которая работает следующим образом [3].

В камере сгорания водородного парогенератора (ВПГ) 1 происходит сжигание газообразного водорода в среде газообразного кислорода с образованием парогаса с температурой порядка 2500 – 2700 К. Для тепловой

защиты в камере сгорания предусмотрено водяное охлаждение. Затем парогаз и неиспарившаяся охлаждающая вода попадают в камеру испарения ВПГ, где за счёт испарения балластировочной воды понижается температура парогаса до заданного значения в области перегретого или сверхперегретого водяного пара, который совершает работу в высокооборотной паровой турбине (ВПТ) 2 за счет чего в электрогенераторе вырабатывается электрическая мощность. ВПГ непосредственно присоединён к ВПТ, это исключает наличие протяженных паропроводов. А вариант двухступенчатой сверхзвуковой ВПТ с противодавлением позволяет быстро запускать установку из холодного состояния, около 10 с, и утилизировать теплоту выхлопа турбины для нужд теплофикации. Всё это делает ВПУ очень компактной и манёвренной.

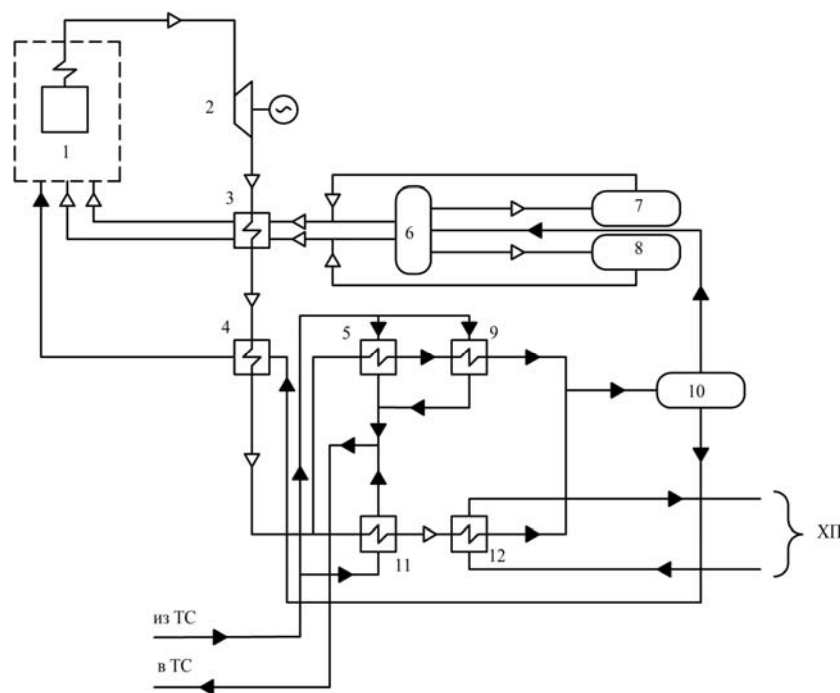


Рис. 1. Принципиальная схема тригенерации (когенерации):

1 – водородный парогенератор; 2 – высокооборотная паровая турбина;  
 3 – газовый регенеративный подогреватель; 4 – водяной регенеративный  
 подогреватель; 5 – конденсатор; 6 – электролизёр; 7 – бак-аккумулятор кислорода;  
 8 – бак-аккумулятор водорода; 9 – охладитель конденсата; 10 – бак подпитки  
 подготовленной воды; 11 – охладитель пара; 12 – абсорбционная холодильная машина;  
 ТС – тепловая сеть; ХП – холодопровод

Сильно перегретый водяной пар но с меньшим давлением из ВПТ поступает в газовый регенеративный подогреватель (ГРП) 3, где за счет избыточной физической теплоты пара подогреваются горючее (водород  $H_2$ ) и окислитель (кислород  $O_2$ ). Подогретые газообразные  $H_2$  и  $O_2$  подаются в ВПГ.

Из ГРП водяной пар, имеющий большой перегрев, поступает в водяной регенеративный подогреватель (ВРП) 4, где подогревает воду, подаваемую в ВПГ на завесу, регенеративное охлаждение камеры сгорания и на балластировку в камеру испарения. Для исключения конденсации греющего пара в ВРП его температура на выходе из ВРП поддерживается несколько выше температуры насыщения. Газовый и водяной регенеративные подогреватели конструктивно выполняются по одинаковой схеме, поэтому могут быть объединены в регенеративный моноблок.

Затем поток греющего, немного перегретого, пара распределяется в зависимости от режима работы схемы – когенерационного или тригенерационного.

При когенерационном режиме, пар после ВРП 4 подаётся в конденсатор 5, где конденсируясь, отдаёт теплоту фазового перехода воде из тепловой сети. Так как конденсат греющего пара после конденсатора может иметь достаточно высокую температуру (в зависимости от противодавления), а сильное переохлаждение его в конденсаторе нецелесообразно, то последовательно по греющему теплоносителю и параллельно по сетевой воде устанавливается охладитель конденсата 9, в котором избыточная теплота конденсата передаётся сетевой воде. Охлаждённый конденсат поступает в бак подпитки подготовленной воды (БППВ) 10. В чистом виде когенерационный режим может быть осуществлён в отопительный период, когда теплота используется в тепловой сети для отопления и горячего водоснабжения, или круглогодично – когда имеется постоянная потребность в достаточно большом количестве горячей воды (например, крупные крытые аквапарки).

В случае тригенерационного режима, пар после ВРП 4 подаётся в охладитель пара (ОП) 11, где сетевая вода охлаждает греющий пар до температуры насыщения. Полученная теплота расходуется на горячее



водоснабжение. После ОП, насыщенный пар попадает в абсорбционную холодильную машину (АБХМ) 12, где вырабатывается холод, который по холодопроводу подаётся потребителю (система кондиционирования). Конденсат греющего пара после АБХМ направляется в БППВ 10.

При сгорании водорода в кислородной среде образуется водяной пар, который вместе с испарившейся водой является рабочим телом ВПТ. Чтобы не допустить перегрузку системы по рабочему телу, в БППВ предусмотрен отбор конденсата, в количестве равном суммарному расходу горючего и окислителя ( $V_{H_2} + V_{O_2}$ ) в электролизёр 6. Где, например, в ночное время, когда потребность в электроэнергии снижается, за счёт невостребованной «провальной электроэнергии» получают водород и кислород с последующим их аккумулярованием в баках-аккумуляторах 7 и 8. Оставшаяся часть конденсата через ВРП попадает в ВПГ.

Таким образом, работа ВПУ по предлагаемой схеме позволяет в зимний (отопительный) период вырабатывать электроэнергию и тепловую энергию для нужд теплоснабжения, а в летний период вырабатывать электроэнергию, тепловую энергию для горячего водоснабжения и холод для системы кондиционирования.

Работа ВПУ подобна и паротурбинным (ПТУ) и газотурбинным (ГТУ) установкам. С одной стороны, в ВПУ рабочим телом является водяной пар и реализуется цикл Ренкина для турбины с противодавлением как у ПТУ. С другой стороны, рабочим телом ВПУ являются продукты сгорания горючего (водорода) в среде окислителя (кислорода), что подобно работе ПГУ. Поэтому любые изменения параметров рабочего тела будут влиять на экономичность ВПУ в большей степени, чем на ПТУ. Например, для ПТУ регенеративный подогрев питательной воды парогенератора приведёт к пропорциональному уменьшению расхода топлива в последнем при неизменных параметрах свежего пара. А для ВПУ уменьшение расхода горючего и окислителя, пропорционально теплоте регенеративного подогрева компонентов топлива и балластировочной воды, приведёт к уменьшению массового расхода пара на турбину, что, безусловно, скажется на производстве полезной работы.

Для противодавленческой теплофикационной ПТУ характерно, что для нужд теплофикации отводится весь отработавший в турбине пар, поэтому мощность турбины связана с нагрузкой теплового потребителя. При постоянном расходе пара, мощность турбины с противодавлением однозначно определяется используемым теплоперепадом, который зависит от начальной температуры пара. Если начальное давление и противодавление турбины постоянны, повышение температуры пара приводит к увеличению работы пара, повышению термического и внутреннего КПД, а величина повышения начальной температуры пара ограничена только прочностными свойствами металла и удорожанием турбины.

Известно, что максимально повысить эффективность турбоустановки можно одновременным повышением начальных параметров пара и понижением давления в конденсаторе турбины. Повышение начальных параметров пара перед турбиной для ВПУ ограничено только прочностными характеристиками конструкции – ведь горение водорода в кислороде происходит при температуре порядка 2500 – 2700 К. А возможность понижения давления в конденсаторе определяется противодавлением и минимальным температурным напором в теплофикационном подогревателе (холодильной машине). Поэтому, если не рассматривать низкотемпературный бинарный цикл, минимальные (предельные) давление и температура в конденсаторе составят 0,1 МПа и 70 °С.

Влияние регенеративного подогрева на эффективность работы ВПУ рассмотрим на примере установки со сверхзвуковой двухступенчатой турбиной и исходными данными: электрическая мощность  $N = 4,5$  МВт; расход пара (парогаза) на турбину  $D_0 = 5,95$  кг/с; расход водорода  $V_{H_2} = 0,178$  кг/с; низшая рабочая теплота сгорания водорода в кислороде  $Q_H^P = 120$  МДж/кг; давление до и после турбины соответственно  $p_0 = 7,5$  МПа,  $p_1 = 0,15$  МПа; температура до и после турбины соответственно  $T_0 = 950$  К,  $T_1 = 570$  К; температура воды перед питательным насосом ВПУ  $T_2 = 353$  К.

Поскольку для определения эффективности работы ВПУ нет универсального показателя, то рассмотрим следующие:

коэффициент использования топлива (КИТ)

$$\eta_m = \frac{N + Q_m}{Q_0},$$

где  $Q_m$  – выработка тепловой энергии, МВт;  $Q_0 = V_{H_2} Q_H^P$  – теплота подводимая к установке, МВт;

удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении

$$y = \frac{N}{Q_m};$$

электрический КПД

$$\eta_2 = \frac{N}{Q_0 - Q_m/\eta_{th}},$$

где  $\eta_{th}$  – КПД теплофикационной установки;

энергетический КПД

$$\eta^a = \frac{N + E_Q^T}{Q_0},$$

где  $E_Q^T$  – эксергия отпущенной теплоты, МВт.

Для удобства дальнейших выкладок, введем понятие степени регенерации ВПУ как отношение теплоты затрачиваемой на регенерацию ( $Q_P$ ) к максимальной ( $Q_1$ ):

$$\sigma = \frac{Q_P}{Q_1} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3},$$

где  $h_1, h_2$  – энтальпия рабочего тела на входе и выходе из РП соответственно, кДж/кг;  $h_3$  – энтальпия рабочего тела на выходе из конденсатора, кДж/кг.

Естественно, что

$$Q_1 = Q_p + Q_m, \quad Q_m = D_0(h_2 - h_3),$$

где  $Q_1$  – тепловая мощность, затрачиваемая на теплофикацию, МВт.

Если не рассматривать возможность практической реализации, то в предельном случае при  $\sigma = 0 \rightarrow Q_m = Q_1$ , а при  $\sigma = 1 \rightarrow Q_m = 0$ .

Для ВПУ принципиально возможны три варианта использования регенеративной теплоты (или их комбинации): увеличение температуры пара перед турбиной; уменьшение расхода топлива; увеличение расхода пара за счет увеличения расхода балластировочной воды.

#### Увеличение температуры пара перед турбиной.

Увеличение температуры пара перед турбиной с одной стороны приведет к увеличению располагаемой работы в турбине, следовательно, к увеличению электрической мощности, а с другой стороны к уменьшению теплоты на теплофикацию из-за отбора части теплоты на регенерацию.

#### Уменьшение расхода топлива.

Если всю регенеративную теплоту использовать для уменьшения расхода топлива, то помимо экономии водорода и пропорционального количества кислорода, это приведет к снижению расхода свежего пара на величину экономии топлива, и, как следствие, к уменьшению электрической мощности установки. А отбор части теплоты на регенерацию приведет к уменьшению теплофикационной составляющей.

Увеличение расхода пара за счет увеличения расхода балластировочной воды при регенеративном подогреве приводит к увеличению расхода пара на турбину, следовательно, располагаемой мощности турбины, и соответствующему (равному теплоте регенерации) уменьшению теплофикационной мощности.

Изменение показателей эффективности проиллюстрировано на рис. 2.

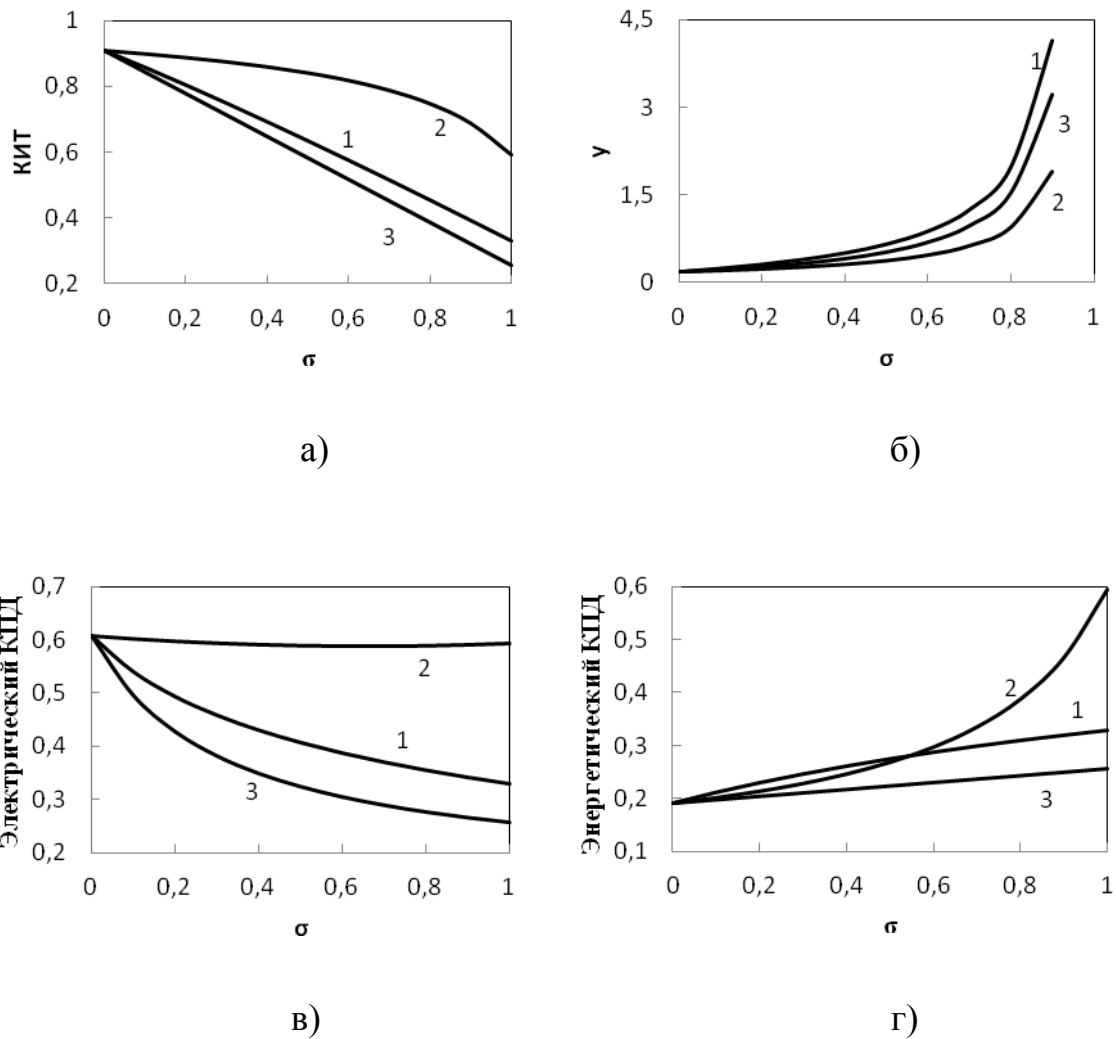


Рис. 2. Изменение показателей эффективности в зависимости от степени регенерации:

**а:** 1 –  $\eta_{T_T}$ ; 2 –  $\eta_{T_B}$ ; 3 –  $\eta_{T_D}$ ; **б:** 1 –  $y_T$ ; 2 –  $y_B$ ; 3 –  $y_D$ ;

**в:** 1 –  $\eta_{эТ}$ ; 2 –  $\eta_{эБ}$ ; 3 –  $\eta_{эD}$ ; **г:** 1 –  $\eta_T^э$ ; 2 –  $\eta_B^э$ ; 3 –  $\eta_D^э$

Анализ рисунков позволяет разделить показатели эффективности на две группы. Первая, сюда относятся  $y$  и  $\eta^э$ , в которой при увеличении  $\sigma$  – эффективность ВПУ увеличивается, и вторая, куда относятся  $\eta_m$  и  $\eta_s$ , где при увеличении  $\sigma$  – эффективность ВПУ уменьшается. Рассмотрим изменение каждого показателя в отдельности.

КИТ однозначно уменьшается при увеличении степени регенерации для любого варианта использования регенеративной теплоты (рис. 2, а). Очевидно, это связано со схемой отпуска теплофикационной мощности – теплота на регенерацию может отбираться только из теплофикационного потока. Выделяется вариант с уменьшением расхода топлива – тенденция падения КИТ при увеличении  $\sigma$  сохраняется, но из-за уменьшения  $Q_0$  это падение не такое быстрое, как в других вариантах. КИТ является балансовым показателем и учитывает только количественную составляющую работы ВПУ.

Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении для всех вариантов использования регенеративной теплоты увеличивается с увеличением  $\sigma$ , причем, при  $\sigma \rightarrow 1$   $y \rightarrow \infty$  (рис. 2, б). В данном случае, рост  $y$  происходит из-за увеличения электрической мощности и одновременного опережающего уменьшения отпуска теплоты на теплофикацию. Причем, рост данного показателя является формальным, так как в большей степени спровоцирован не качественными изменениями в ВПУ, а лишь автоматическим уменьшением теплового потребления при регенерации теплоты –  $\max_{\sigma} y = 1$ .

Поэтому для оценки эффективности ВПУ с регенерацией теплоты за счет теплофикационного потока, данный показатель не применим.

Электрический КПД. Очевидно (рис. 2, в), что в рамках отдельного варианта использования регенеративной теплоты,  $\min_{\sigma} \eta_{\Sigma} = 1$  и  $\eta_{\Sigma}$  фактически равен КПД ВПТ. Но в отличие от  $y$ ,  $\max \eta_{\Sigma}$  имеет конечный предел, который характеризует совершенство конструкции турбины при максимальном отпуске теплоты. Неудобство применения данного показателя связано с наличием в формуле  $\eta_{\text{max}}$ , который может существенно изменяться в зависимости от вида отпускаемой теплоты: для теплофикационных подогревателей тепловой сети  $\eta_{\text{max}} \approx 1$ ; для АБХМ при холодоснабжении потребителей  $\eta_{\text{max}} \approx \varepsilon_x = 0,6 \div 1,2$ , где  $\varepsilon_x$  – холодильный коэффициент АБХМ, зависящий от ее конструкции.

Энергетический КПД ввели для устранения несовершенства КИТ, в числителе которого складываются качественно разные величины – работа и теплота. Для ВПУ (рис. 2г)  $\max_{\sigma} \eta^3 = 1$  для всех вариантов использования регенеративной теплоты за счет того, что из-за небольшой разности  $\overline{T_{мс}}$  и  $\overline{T_{рт}}$  работоспособность теплофикационного потока достаточно мала, например, при  $\sigma = 0$   $Q_m = 16,293 \text{ МВт}$ ,  $E_Q^I = 1,018 \text{ МВт}$ , в силу чего оценка влияния отпуска теплоты на энергетический КПД затруднительна.

Так как ни один из рассмотренных показателей однозначно не отражает качественную и количественную стороны изменения эффективности ВПУ при регенерации теплоты, то, на наш взгляд, целесообразно применение двух показателей: КИТ – для количественной оценки; энергетический КПД – для качественной оценки совершенства ВПУ.

При практической реализации регенеративного подогрева, из-за конструктивных ограничений для турбины, всегда  $\sigma < 1$ . Действительно, увеличение диапазона изменения основных параметров,  $D_0$  и  $T_0$ , потребует применения регулируемого соплового аппарата первой ступени, что, например, для сверхзвуковой турбины конструктивно практически не реализуемо. Поэтому практически достижимая степень регенерации для ВПУ ограничена пределом  $\max \sigma = 0,15 : 0,2$ , а для этого диапазона изменение КИТ и энергетического КПД незначительно.

Таким образом, можно сделать вывод, что реализация регенеративного подогрева для ВПУ возможна не для улучшения энергетической эффективности, а как средство повышения маневренности установки через дополнительное регулирование отпуском энергии различных видов.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 16.526.12.6004 от "13" мая 2011 г. по федеральной целевой программе "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического ком-

плекса России на 2007-2012 годы", опытно-конструкторские работы по теме: "Разработка опытной универсальной модульной экологически чистой водородной паротурбинной энергоустановки с механическим приводом на валу мощностью до 5 МВт".

*Список использованной литературы*

1. Турбоводородная энергоустановка / Пат. RU 92473 U1 – 2009138575/22; Бюл. № 8.
2. Автономная турбоводородная энергоустановка / Пат. RU 92474 U1 – 2009138575/22; Бюл. № 8.
3. Дахин, С.В. Когенерационное и тригенерационное использование водородной паротурбинной установки / С.В. Дахин, И.Г. Дроздов, А.А. Пригожин // Промышленная энергетика. – 2012. – № 8. – С. 34 – 37.



УДК 664

ББК Л80-1

**Ресурсосберегающие технологии – основа конкурентоспособности  
современной пищевой и перерабатывающей промышленности**

Дворецкий Д.С.<sup>1</sup>, Долгунин В.Н.<sup>1</sup>, Зюзина О.В.<sup>1</sup>, Муратова Е.И.<sup>1</sup>,

Нагорнов С.А.<sup>2</sup>, Страшнов Н.М.<sup>1</sup>, Хабарова Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов),*

<sup>2</sup>*ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» РАСХН (Россия, г. Тамбов)*

Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. № 559-р, предусматривает в числе приоритетов среднесрочного периода проведение технического перевооружения организаций с внедрением современных достижений научно-технического прогресса для снижения энергопотребления, уменьшения вредных выбросов в окружающую среду; а в числе приоритетов долгосрочного периода – переход пищевой и перерабатывающей промышленности к ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим безотходное производство и производство с минимальным воздействием на экологию. Вопросы ресурсосбережения и снижения экологической нагрузки решаются как на отраслевом, так и на региональном уровнях и являются важной составляющей частью стратегических программ развития предприятий АПК, пищевого и перерабатывающего кластеров Тамбовской области.

Традиционно под ресурсосбережением понимается рост эффективности использования природных, сырьевых и энергетических ресурсов. Для пищевой промышленности проблема ресурсосбережения, комплексного использования сельскохозяйственного сырья очень важна также с позиций обеспечения продовольственной безопасности и повышения конкурентоспособности вырабатываемой продукции на внутреннем и внешнем рынках. В большинстве отраслей пищевой промышленности при получении целевого продукта сырье использу-

ется только на 15-30 %, а остальная часть сырья переходит в отходы и вторичные сырьевые ресурсы [1]. В связи с этим решение задач трансформации традиционных технологий в малоотходные и ресурсосберегающие должно стать неотъемлемой частью проектов по модернизации АПК. Такие разработки ведутся сотрудниками кафедры «Технологии продовольственных продуктов» в рамках технологических платформ «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания» и «Биоэнергетика». Ниже представлен краткий обзор результатов научных исследований, направленных на создание энерго- и ресурсосберегающих технологий переработки регионального сырья растительного и животного происхождения.

### **Многофункциональное ресурсосберегающее оборудование для обработки зерна и зерноматериалов**

На предприятиях агропромышленного комплекса, производящих и перерабатывающих зерно злаковых, бобовых, крупяных и масличных культур, востребованными технологическими операциями являются сепарация трудно отделяемых зерновых примесей, выделение наиболее сильных (продуктивных) семян и их обработка микроэлементами перед хранением и использованием, сушка термическая, термовлажностная обработка зернового сырья и семян, приготовление смесей из трудно смешиваемых (имеющих высокую склонность к разделению) компонентов (посевных смесей, комбикормов, комбинированных продуктов питания, смесей зерна с микроэлементами и др.).

Для выполнения каждой из перечисленных операций требуется специальное оборудование, что приводит к необходимости использования комплекса машин и аппаратов и сопровождается ростом капитальных затрат на организацию производства. В условиях же предприятий малого и среднего бизнеса снижается технико-экономическая эффективность производства вследствие низких значений коэффициента использования специального оборудования.

Исследования и промышленный опыт показывают, что для решения этой проблемы в условиях предприятий малого и среднего бизнеса целесообразно использовать принцип управления сегрегированными технологическими потоками [2]. При этом, сегрегированные потоки образуются в рабочем объеме обо-

рудования в результате либо спонтанного, либо искусственного инициирования эффектов разделения (сегрегации, миграции) в неоднородном материале.

В зависимости от управляющего воздействия изменяется величина и направление сегрегированных частей технологического потока в рабочем объеме и, в результате, достигается выполнение различных, в т.ч. совмещенных гидромеханических и тепломассобменных процессов.

Проведенные исследования и промышленная апробация свидетельствуют об эффективности использования принципа управления сегрегированными потоками в барабанном аппарате с периферийной лопастной насадкой [3].

В засыпке материала над лопастями в нижней части барабана такого аппарата образуется сегрегированный сдвиговый гравитационный поток. При этом вблизи открытой поверхности засыпки поток обогащен крупными и менее плотными, а в глубинных слоях – мелкими и более плотными частицами. Вследствие этого лопасть заполняется первоначально преимущественно крупными и менее плотными частицами с поверхности потока и затем более мелкими и плотными частицами из глубинных его слоев. В результате с поднимающихся лопастей ссыпаются мелкие и более плотные, а с опускающихся – крупные и менее плотные частицы. Таким образом, сегрегированный поток, зарождающийся на поверхности засыпки материала в барабане, распространяется на весь рабочий объем аппарата.

Для решения комплекса перечисленных технологических задач в барабанном аппарате использованы различные варианты управления сегрегированными потоками. Варианты реализуются путем сообщения сегрегированным потокам падающих частиц управляющих импульсов с использованием устройств управления. Устройства выполнены в виде системы отклоняющих элементов, установленных неподвижно в горизонтальной плоскости параллельными продольными рядами с возможностью изменения направления их наклона и действуют автономно на сегрегированные части технологического потока, сообщая им необходимые продольные и радиальные импульсы.

В результате реализации различных вариантов схем ориентации отклоняющих элементов управляющей насадки аппарата, обеспечивается возможность использования аппарата для обработки материалов методами как разделения

так и соединения (смешения) при сохранении функций тепломассообменного устройства. Опыт показывает, что варианты управления позволяют: – целенаправленно изменять интенсивность продольного, поперечного или объемного перемешивания; – организовывать очистку, сепарацию, классификацию и калибровку зерна по комплексу физико-механических свойств (размеру, плотности, форме, шероховатости); изменять соотношение средних значений времени пребывания неоднородных частиц для повышения однородности и интенсификации обработки неоднородного материала при организации процессов сушки, термовлажностной обработки, гранулирования и др.

Эффективность предложенных вариантов управления сегрегированными потоками исследована экспериментально с использованием опытной модели аппарата с диаметром барабана 0,3 м. В качестве модельных материалов использованы зерновые смеси: горох – овес, ячмень – овсюг и гранулированные полимерные материалы. Эффективность определена путем оценки технологических показателей процессов сепарации трудноразделяемых смесей по комплексу физико-механических свойств частиц, непрерывного и периодического смешения [4] и тепломассообмена с регулируемым соотношением времени обработки неоднородных частиц в сравнении с традиционными вариантами организации процессов.

Итоговым результатом работы является технический проект промышленного аппарата многоцелевого назначения, в котором путем управления сегрегированными потоками зернистых материалов обеспечивается возможность организации процессов их переработки методами разделения и соединения, а также совмещенных тепломассообменных и гидромеханических процессов с управлением временем обработки неоднородных частиц для производств малого и среднего бизнеса АПК.

Реализация данного проекта, с одной стороны, обеспечивает расширение функциональных свойств оборудования и возможность совмещения технологических операций при его использовании и, как следствие, ресурсо – и энерго-сбережение, которое в рамках конкретного предприятия выражается в снижении капитальных и эксплуатационных затрат на организацию производства. С другой стороны, повышение качества семенного материала, которое достига-

ется с применением новой технологии его подготовки в управляемых сегрегированных потоках, обеспечивает повышение эффективности сельскохозяйственного землепользования.

### **Использование вторичных ресурсов молокоперерабатывающим предприятием**

Целевое использование молочной сыворотки как вторичного сырья молокоперерабатывающими заводами касается решения ряда насущных для их деятельности задач по ресурсосбережению, снижению экологической нагрузки, повышению эффективности производства. Планируемый прирост объемов производства сыров и сырных продуктов к 2020 году на сыродельных заводах в Тамбовской области с 11,3 до 13,2 тыс. тонн приведет к возрастанию объемов сыворотки, количество которой составляет около 60 % от перерабатываемого молока. Современные прогрессивные технологии переработки молочной сыворотки позволяют предприятиям выпускать конкурентно способную продукцию и осваивать новые сегменты рынка продуктов для здорового питания в виде полноценных белковых продуктов, общеукрепляющих и профилактических напитков на натуральной основе. Адаптация к промышленным условиям инновационных разработок в этом направлении, как правило, сопряжена с предварительной их апробацией и технико-экономической оценкой эффективности и становится объектом научно-практических работ. В таком направлении организуется деятельность кафедры «Технологии продовольственных продуктов» в условиях ее филиала на тамбовском заводе плавленых сыров «Орбита». Имеющиеся производственные мощности молочного цеха данного предприятия при реализации технологий мягкого сыра, творога жирного, брынзы образуют отличающиеся по количеству, составу и свойствам разные виды сыворотки. В соответствии с темой проекта технологической платформы «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания» студентами, магистрантами под руководством преподавателей совместно со специалистами предприятия выполняются научно-практические работы по отработке технологических приемов переработки сыворотки и модификации состава выпускаемой продукции, созданию рецептуры новых продуктов на ее основе [5].

Наибольший практический интерес представляет использование сыворотки в другом цехе предприятия, специализирующегося на производстве плавленых сыров, в качестве рецептурного компонента для дополнения или полной замены воды. Сыворотка, образующаяся при изготовлении мягкого сыра методом термокислотной коагуляции, имеет в своем составе 5,2-5,8 % сухих веществ из лактозы, минеральных солей, а-лактоальбуминов и незначительного количества других азотсодержащих соединений, они имеют биологическую ценность, но, учитывая их способность к ренатурации, извлечение их представляет технологическую сложность. Поэтому целесообразно добавление ее в состав сырной смеси при изготовлении ломтевых колбасных сыров вместо воды, что позволяет экономить кроме нее около 18 % сухих веществ нежирного сыра. Однако более 80 % сухих веществ такой сыворотки приходится на долю лактозы и увеличение ее концентрации в составе продукта приводит к формированию мягкой консистенции сырного теста. Положительный эффект от введения такого вида сыворотки достигается в производстве сладких пастообразных сыров. Присутствующие углеводы и некоторое количество сывороточных белков приводит к необходимости уменьшения на 5-7 % сахаросодержащей исходной фракции в данной категории продукции.

Подсырная сыворотка от производства творога жирного, брынзы, сырной массы рассматривается именно как вторичное молочное сырье. Использование ее в качестве жидкого компонента сырной смеси для изготовления плавленых сыров из-за присутствия сухих веществ в виде сывороточных белков и некоторого количества лактозы позволяет экономить до 5 % белкового сырья, а это позволяет сократить расходы на сыры для плавления, сухую сыворотку, СОМ. Одним из осваиваемых специалистами предприятия направлений переработки подсырной сыворотки на сегодняшний день можно назвать производство сыра типа рикотта. Технология этого белкового продукта воспроизводится с использованием технопарка молочного цеха предприятия при наличии достаточного количества и качества творожной и подсырной сыворотки. Кроме того, на основе этой сыворотки была разработана рецептура кремообразного десерта с пищевыми волокнами для функционального питания из альбуминовой массы. Из 1000 кг сыворотки можно получить 62-75 кг альбуминовой массы и превратить ее примерно в 200 кг полезного продукта.

В качестве перспективного направления рассматривается организация производства напитков из сыворотки для здорового питания с натуральными овощными и фруктовыми соками, пюре произведенных из плодоовощной продукции региона. Практические разработки, нацеленные на эффективное использование молочного сырья, позволяют резко сократить количество сбрасываемых сточных вод и изменить их состав, что снижает некоторым образом нагрузку на работу городских очистных сооружений.

### **Ресурсосберегающие технологии в производстве кондитерских изделий**

При разработке технологий получения новых видов кондитерских изделий функционального назначения большое внимание уделяется не только вопросам повышения качества, но и вопросам энерго- и ресурсосбережения, позволяющим снизить себестоимость готовой продукции и получить конкурентные преимущества на потребительском рынке. В ходе многолетнего сотрудничества с кондитерскими предприятиями региона решались задачи обоснования оптимальных режимов получения, формования и структурообразования конфетных масс, модернизации темперирующих машин, установок для приготовления сиропов, жировых начинок, ускоренной выстойки корпусов конфет и другие задачи, связанные со снижением расходов теплоносителя и хладагента, сокращением продолжительности производственного цикла и уменьшением потерь полуфабрикатов. В качестве примера остановимся на решении проблем энерго- и ресурсосбережения при производстве пастообразных продуктов на основе меда.

При переработке различных сортов меда, отличающихся химическим составом, биохимическими, физико-химическими и реологическими свойствами, необходимо учитывать большое количество различных факторов и ограничений [7]. Обоснование режимов термомеханической обработки меда при производстве медовых паст с целью снижения энергозатрат и потерь меда, сохранения термолабильных БАВ проводилось с учетом его палинологического состава и физико-химических характеристик.

Использование термомеханической обработки меда для доведения его до пластической консистенции в емкости, снабженной тепловой рубашкой и перемешивающим устройством, в отличие от ранее используемой подготовки меда в суховоздушной термокамере, позволяет интенсифицировать процессы тепло- и массообмена и значительно, с 10-14 до 2-6 часов, сократить продолжительность процесса темперирования меда с одновременным снижением температуры с 50-55 до 40-45 °С. Эффективность предлагаемого способа термомеханической обработки меда подтверждена экспериментальными исследованиями. В таблице 1 приведены значения вязкости для образцов меда, отличающихся влажностью и палинологическим составом, измеренные с помощью ротационного вискозиметра HAAKE VT7R-plus при фиксированной скорости деформации 10 с<sup>-1</sup>.

Таблица 1

Результаты исследования влияния состава меда и режимов обработки на его реологические показатели

Сорт меда	Влажность меда, %	Начальная вязкость меда, Па·с	Вязкость после термостатирования, Па·с	Вязкость после термомеханической обработки. Па·с
Подсолнечниковый	16,7	326,4	241,2	104,3
Гречишный	17,2	130,7	85,6	34,5
Подсолнечниковый	18,1	240,1	146,1	62,4
Гречишный	18,8	98,3	50,5	19,2

Сравнение результатов реологических исследований образцов после термостатирования в суховоздушной термокамере при 50 °С в течение 3 часов для подсолнечникового меда и 2 часов для гречишного и после термомеханической обработки при температуре 40 °С и частоте вращения перемешивающего устройства со спиральной насадкой 20-30 об/мин при той же продолжительности процесса показывает значительное снижение вязкости меда в последнем случае. Таким образом, анализ влажности и пыльцевого состава меда на стадии приемки сырья позволяет оптимизировать процесс термомеханической обработки меда, минимизировав энергозатраты и потери БАВ.



Учитывая, что в АПК Российской Федерации недостаточно полно используются вторичные сырьевые ресурсы, были разработаны и запатентованы различные варианты рецептур медовых паст: с использованием измельченных жмыхов ядер орехов и/или семян, порошкообразных фитодобавок, овощных, фруктовых и/или ягодных порошков [8].

Применение морковных, яблочных и других порошков из выжимок, полученных при производстве соков прямого отжима, в первую очередь как пектинсодержащих добавок, а также в качестве дополнительных источников витаминов и минеральных веществ при производстве пастообразных продуктов на основе меда позволит повысить пищевую ценность готовой продукции и расширит их ассортимент. Использование жмыхов, являющихся вторичными сырьевыми ресурсами, позволяет снизить энергетическую ценность конечного продукта, обогатить продукт белком и сбалансировать по аминокислотному составу при снижении себестоимости.

Таким образом, решение проблем ресурсосбережения в кондитерской отрасли за счет более рационального использования региональных сырьевых ресурсов и обоснования энергосберегающих технологий будет способствовать созданию конкурентоспособной продукции.

### **Биотопливо – основа энергонезависимости крестьянских хозяйств**

Наращивание объемов переработки и хранения сельхозпродукции неизбежно потребует решения вопросов энергоснабжения и утилизации отходов. Увеличение поголовья животных и строительство крупных животноводческих и перерабатывающих комплексов в Тамбовской области заставляет задуматься над проблемой утилизации значительного количества отходов органического происхождения. В качестве одного из перспективных и доступных технологических направлений решения этой проблемы можно рассматривать использование современных методов биотехнологии, позволяющих переработать органические отходы в альтернативные источники энергии (биогаз, биотопливо, биоэтанол) и полезные продукты (органические удобрения, кормовые добавки и т.д.).

В рамках работы научно-образовательного центра «ТамбГТУ-ВИИТиН» в области безотходных и малоотходных технологий проведены комплексные исследования процесса метанолиза триацилглицеринов растительных масел, разработана технология и предложена её реализация в аппарате вихревого слоя (АВС) [9]. Математическая модель состоящая из уравнений кинетики процесса метанолиза, гидродинамики и электромагнитодинамики дает возможность сократить время проектирования АВС с оптимальными с точки зрения энерго- и ресурсосбережения характеристиками. Предложенный реактор позволяет на порядок сократить время пребывания реакционной смеси в реакторе метанолиза. Спроектированная на основе проведенных исследований установка по производству биодизельного топлива позволяет получать экологически чистое и энергетически эффективное органическое топливо. Тамбовская область является в значительной степени аграрной, поэтому в ней имеется достаточное количество сельскохозяйственного сырья для производства биотоплива из масличных культур. Одновременно, крестьянские хозяйства сильно заинтересованы в снижении издержек и зависимости от сезонных колебаний цен на топливо. Предлагаемая технология и аппаратное оформление для производства биодизельного топлива из масличного сырья позволяют снизить эту зависимость, т.к. его производство может проводиться силами самих сельхоз производителей из собственного сырья и отходов перерабатывающих производств.

### **Подготовка будущих специалистов к решению задач ресурсо- и энергосбережения**

Научно-практические задачи по энерго- и ресурсосбережению, созданию мало- и безотходных технологий решаются в выпускных квалификационных работах магистров, специалистов и бакалавров по направлениям 240700 – Биотехнология, 260100 – Продукты питания из растительного сырья, выполняемых на кафедре «Технологии продовольственных продуктов». Теоретической основой для выполнения такого рода проектных заданий являются учебные дисциплины профессионального и естественно-научного циклов ГОС, ФГОС: эколо-

гия, биоремедитация природной среды, биоконверсия растительного сырья, технологии переработки вторичных сырьевых ресурсов, современные проблемы науки в пищевых и перерабатывающих отраслях АПК, системный анализ и оптимизация процессов пищевой технологии. Учебные программы этих дисциплин направлены на формирования знаний о воздействии различных технических систем на природную среду и о методах оценки возникающего экологического риска, о мерах предотвращения экологически опасных ситуаций или катастроф; экологического мировоззрения при решении поставленных задач в профессиональной сфере деятельности; способности оценивать и выбирать эффективность инноваций с экологической точки зрения в области профессиональной деятельности.

В процессе изучения при прохождении производственной практики на предприятиях АПК функционирования действующих технологических линий осуществляется сбор информации о видах, количестве, свойствах всех отходов и побочных продуктов производства. На основе анализа массива данных и информационных источников по способам утилизации и переработки отходов выбирается техническое решение, которое разрабатывается в виде проектного решения в выпускной квалификационной работе. При этом на первый план выдвигаются вопросы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, повышения надежности и снижения энергоемкости технологического оборудования, улучшения качества и снижения себестоимости пищевой продукции, а также разработки методов совершенствования и оптимизации действующего технологического оборудования, агрегатов и линий. Отдельные, достаточно представительные разделы выпускных квалификационных работ посвящены вопросам защиты окружающей среды от техногенного воздействия пищевых и перерабатывающих предприятий, технико-экономическому обоснованию проектных решений.

Актуальность и качество разработки оценивается ведущим специалистом предприятия на этапе рецензирования работы и дается заключение о возможности его использования. По опыту работы Государственной аттестационной ко-

миссии до 45 % выпускных квалификационных работ имеют заключение «может быть рекомендовано к внедрению». Работы студентов, магистрантов и аспирантов, посвященные решению вопросов ресурсосбережения, экологической безопасности неоднократно отмечались дипломами и грамотами.

Системный подход к организации научной и образовательной деятельности кафедры «Технологии продовольственных продуктов» в сотрудничестве с предприятиями АПК в области ресурсо- и энергосбережения позволяет обеспечить активизацию процессов ресурсосбережения и является необходимым условием формирования инновационного ядра пищевой и перерабатывающей промышленности региона [6].

В заключение отметим, что аспекты ресурсосбережения и снижения экологической нагрузки чрезвычайно важны не только для устойчивого развития пищевой и перерабатывающей промышленности, но и региональной экономики в целом, поскольку переход от техногенного к ресурсосберегающему типу развития позволит сэкономить значительное количество природных ресурсов, уменьшить объем загрязнений и отходов при повышении эффективности производства и конкурентоспособности продукции местных производителей на потребительском рынке.

#### *Список использованных источников*

1. Комаров, В.И. Ресурсосберегающие технологии и экологизация пищевой и перерабатывающей промышленности. / В.И. Комаров // Пищевая промышленность. – 2001. – № 2. – С. 44-48.
2. Карев, В.И. Развитие принципов управления сегрегированными технологическими потоками зернистых материалов / В.И. Карев, В.Н. Долгунин // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 588-596.
3. Долгунин, В.Н., Повышение эффективности барабанного аппарата путем управления сегрегированными потоками зернистых материалов / В.Н. Долгунин, О.О. Иванов, А.Н. Куди // Изв. вузов «Пищевая технология». – 2011. – № 2-3. – С. 89-92.

4. Dolgunin, V.N. Organization of mixing process of granular materials with portion dosage of some component / V.N. Dolgunin, O.O. Ivanov, A.A. Ukolov, V.A. Pronin, E.A. Ryabova, E.P. Larionova // Вестник ТГТУ – 2012. – Vol. 18, № 1. – P. 108-114.

5. Зюзина, О.В., Особенности использования вторичного сырья в условиях предприятия средней мощности / О.В. Зюзина, Д.Ю. Сучков, И.И. Голикова, Н.М. Страшнов // Фундаментальные и прикладные исследования, инновационные технологии, профессиональное образование: сб. трудов XIII науч. конф. ТГТУ / Тамб. гос. техн. ун. – Тамбов, 2008. – С. 123 – 127.

6. Мищенко, С.В. Системный подход к организации подготовки специалистов для пищевой и перерабатывающей промышленности региона / С.В. Мищенко, С.И. Дворецкий, А.А. Коренчук, Е.И. Муратова // Пищевая промышленность. – 2008. – № 10. – С. 30-31.

7. Муратова, Е.И. Системный подход к проектированию производства новых продуктов на основе меда / Е.И. Муратова, Е.В. Артамонова // Вопросы современной науки и практики. – 2012. – № 1(37). – С. 342-352.

8. Пат. 2451454 Российская Федерация, RU 2451454 С2 МПК А23L1/00 Способ производства пастообразных продуктов на основе меда (варианты) [Текст] / Е.В. Артамонова, Е.И. Муратова, Д.В. Леонов, заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. заявл. № 2010152689 от 11.03.10; опубл. 27.05.12.

9. Акулинин, Е.И. Аппарат вихревого слоя для производства биодизельного топлива / Е.И. Акулинин, Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, А.А. Ермаков, С.А. Нагорнов // Патент на полезную модель № 116789 от 10 июня 2012 г.

10. Нагорнов, С.А. Моделирование процесса метанолиза растительных масел в аппарате вихревого слоя ферромагнитных части / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, А.А. Ермаков // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 895-904.

**Применение наноструктурированных хемосорбентов  
для удаления диоксида углерода в обитаемых космических объектах**

Дворецкий С.И.<sup>1</sup>, Гладышев Н.Ф.<sup>2</sup>, Краснянский М.Н.<sup>1</sup>,

Таров В.П.<sup>1</sup>, Галыгин В.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

<sup>2</sup> *ОАО «Корпорация «Росхимзащита» (Россия, г. Тамбов)*

**Введение**

Система обеспечения жизнедеятельности обитаемых космических объектов является одним из важнейших условий успешного выполнения любой программы пилотируемой космонавтики. Большое значение системе обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) придавали К.Э. Циолковский, С.П. Королев и многие другие основоположники космических исследований.

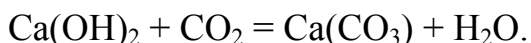
Под СОЖ понимается совокупность функционально взаимосвязанных средств и мероприятий, предназначенных для создания в обитаемом отсеке пилотируемого космического аппарата условий, обеспечивающих поддержание энергомассообмена организма космонавта с окружающей средой на уровне, необходимом для сохранения его здоровья и работоспособности [1].

СОЖ обитаемых космических объектов предназначена для решения следующих задач: обеспечение экипажа кислородом, удаление диоксида углерода, удаление вредных микропримесей, поддержание физических и химических характеристик атмосферы, снабжение экипажа необходимым количеством питьевой воды и воды для санитарно-гигиенических и бытовых нужд и др.

**Историческая справка**

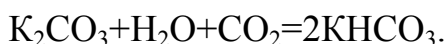
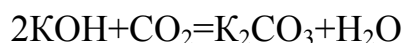
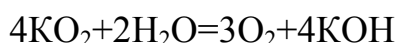
Первому полету человека в космическом корабле предшествовали запуски стратостатов, ракет и искусственных спутников Земли, в которых имелись СОЖ для людей и животных (большой частью для собак).

В стратостатах «СССР-1» (1933 г.) и «Осоавиахим-1» (1934 г.) СОЖ включали запасы криогенного и газообразного кислорода (последний находился в баллонах под давлением 150 атм.). Диоксид углерода удалялся с помощью химического поглотителя известкового (95 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 5 % асбеста) по реакции:



В ракетах, с помощью которых производилось зондирование ближнего космоса, находилась герметичная кабина с животными, имеющая в своем составе три баллона для смеси воздуха и кислорода. Диоксид углерода, выделяемый животными, удалялся с помощью химического поглотителя известкового.

Очистка атмосферы и обеспечение кислородом осуществлялось с помощью надперекисных соединений, которые при поглощении паров воды выделяли кислород и связывали диоксид углерода по реакциям:



На борту первых искусственных спутников Земли в состав СОЖ для собак входили некоторые элементы будущих СОЖ для космонавтов: устройство для приема пищи, ассенизационное устройство.

### **Состав газообеспечивающей системы и принцип ее работы**

Система обеспечения газового состава автоматических космических аппаратов «БИОН» и «ФОТОН» предназначена для снабжения кислородом животных, удаления диоксида углерода и газообразных микропримесей в спускаемом аппарате состоит из:

- патронов с кислородосодержащим веществом и поглотителем вредных микропримесей;
- патрона с поглотителем диоксида углерода и вредных микропримесей;
- вентиляторов;
- блока управления и контроля.

Она обеспечивает комфортную газовую среду в спускаемом аппарате и работает следующим образом.

Газо-воздушная смесь вентилятором прокачивается через регенеративный патрон, где очищается от диоксида углерода и вредных примесей и обогащается кислородом. Избыток диоксида углерода удаляется путем периодического включения поглотительного патрона. Поглотительный патрон также обеспечивает очистку от вредных примесей. Система работает с блоком управления и контроля и газоанализатором по кислороду и диоксиду углерода.

В состав СОЖ на борту кораблей «Восток» и «Восход» для удаления диоксида углерода и очистки атмосферы входило устройство с использованием надпероксид калия и активированных углей. В корабле «Союз» для этих целей дополнительно применялся гидроксид лития. Для обеспечения кислородом использовали надпероксид калия и запасы кислорода и воздуха в баллонах под высоким давлением. Состав атмосферы (смесь азота и кислорода) в этих условиях контролировался с помощью газоанализатора на кислород и диоксид углерода.

Несмотря на повышенную безопасность и надежность, незначительные энергетические потребности при функционировании СОЖ на основе запасов расходуемых веществ, взятых с Земли, они имели существенный недостаток: их масса и габариты увеличиваются пропорционально длительности космической экспедиции и количеству членов экипажа. По достижении определенной продолжительности полета СОЖ на основе запасов являются препятствием для реализации экспедиции.

Основываясь на нормах потребления основных компонентов СОЖ, полученных в результате многолетней практики длительных орбитальных полетов на станциях типа «САЛЮТ», «МИР» и «МКС» (кислород – 0,96 кг/чел. сутки, питьевая вода – 2,5 кг/чел. сутки, пища – 1,75 кг/чел. сутки и т.д.), легко подсчитать, что необходимая масса запасов для экипажа, состоящего из 6-и человек в условиях 500-суточного полета без учета массы тары и систем хранения составило бы величину более 58 тонн.

Полученные данные свидетельствуют о том, что системы жизнеобеспечения на основе запасов практически исключают реализацию длительных экспедиций. Габаритно-массовые ограничения могут быть преодолены за счет применения регенерационных систем жизнеобеспечения.



## Применение наноструктурированных листовых поглотителей для удаления диоксида углерода

Одним из способов улучшения технических характеристик поглотителей  $\text{CO}_2$  в последнее десятилетие является переход от гранул к наноструктурированным листовым материалам в виде ленты, рулона и др. Такой прием позволит развернуть и увеличить активную поверхность для успешного протекания процесса хемосорбции, снизить массогабаритные характеристики изделий, в которых он будет использоваться.

Для изготовления листовой формы наноструктурированного поглотителя  $\text{CO}_2$  применяется, выпускаемый промышленностью России химический поглотитель известковый (ХПИ) по ГОСТ 6755–88, который содержит не менее 96 % гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 4 % гидроксида натрия  $\text{NaOH}$  (в пересчете на сухое вещество), имеет влажность 13 – 19 %. Он представляет собой гранулы белого или светло-серого цвета, полученные из маломagneзиальной извести и гидроксида натрия по традиционной технологии и имеет следующие технические характеристики:

- время защитного действия до проскоковой объемной доли  $\text{CO}_2$  в воздухе на выходе из патрона 0,1 % не менее 40 мин; до 0,5 % – не менее 120 мин от начала опыта;
- максимальное сопротивление не более 147 Па;
- максимальная температура воздуха не более 50 °С;
- массовая доля влаги 16 – 21 %;
- массовая доля связанного диоксида углерода не более 4 %;
- основная фракция от 2,80 до 5,50 мм не менее 90 %;
- прочность на истирание не менее 65 %;
- насыпная плотность продукта около 950 г/дм<sup>3</sup>.

Существенными недостатками гранулированных поглотителей являются: низкая прочность и, как следствие, пыление и разрушение поглотителя в процессе эксплуатации, что приводит к снижению сорбционной емкости. Техноло-

гический процесс производства гранулированных поглотителей в течение многих лет остается неизменным и отличается высокой трудоемкостью, наличием большого количества отходов, требующих дополнительных технологических операций по утилизации и т.д. Ведущими странами в области создания известковых хемосорбентов являются Россия, Великобритания, Германия, США.

В России разработка новых химических поглотителей, а также исследования по созданию химического поглотителя диоксида углерода в форме листа на основе гидроксидов щелочных и/или щелочноземельных металлов проводятся в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» совместно с учеными ТГТУ.

Достоинствами хемосорбента в виде гибкого материала являются: организованная газопроницаемость (порообразование), высокая механическая прочность (поглотитель не пылит), удобство переснаряжения и др.

Введение полимерной добавки позволяет получать листовой микропористый материал различной толщины и ширины, его химический состав не отличается от традиционного известкового поглотителя в форме гранул. Следует отметить, что в отличие от способа получения гранулированных продуктов, где хемосорбент полностью высушивают, а затем вновь увлажняют, в способе по патенту [2] листовой материал частично дегидратируют до заданной остаточной влаги. Этот прием не ухудшает хемосорбционных свойств поглотителя, но обеспечивает его прочность. Хемосорбент получил название ХЭЛП-ИК (химический эластичный листовой поглотитель – известково-калиевый). Поглотитель диоксида углерода ХЭЛП-ИК выпускается по ТУ 2165-235-05807954–2008 «Хемосорбент ХЭЛП-ИК» и имеет санитарно-эпидемиологическое заключение и Сертификат о типовом одобрении «Морского регистра РФ» № 10.00007.003. Основной химический состав ХЭЛП-ИК включает: 73 – 85 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 2 – 10 % КОН и 17 – 21 %  $\text{H}_2\text{O}$ . Дополнительно в состав могут быть введены структуро- или волокнообразующие компоненты, которые обеспечивают эластичность и прочность листового материала без снижения хемосорбционных свойств.

Одной из целей разработки листового поглотителя  $\text{CO}_2$  является активность хемосорбента к диоксиду углерода в широком диапазоне температур, как при

положительных, так и при отрицательных температурах вплоть до минус 40 °С. Выпускаемый отечественной промышленностью гранулированный ХПИ, содержащий около 4 % гидроксида натрия, резко снижает свою активность при температурах ниже 0 °С, и при более низких температурах реакция взаимодействия с CO<sub>2</sub> не протекает вследствие вымораживания свободной воды. Этот недостаток относится и к ряду других составов известных зарубежных марок хемосорбентов, содержащих гидроксид натрия. Хемосорбент ХЭЛП-ИК получают в форме листа, используя подложку (матрицу) из различных нетканых материалов, например, стекловоломата или волокнистого полипропиленового материала спанбонд – это общее название нетканых материалов, изготовленных из термоскрепленных бесконечных волокон. Плотность материала варьируется от 13 до 150 г/м<sup>2</sup>. Нетканый полимерный материал представляет собой систему хаотично переплетенных волокон толщиной 20 – 30 мкм, что обеспечивает его пористую структуру и благодаря чему он может выполнять функцию армирующего компонента в составах композиционных материалов. Листовой поглотитель ХЭЛП-ИК получают путем размещения пасты между двумя слоями волокнистого материала, прокатывают, затем дегидратируют до заданной остаточной влаги [3]. Пористая структура полимерной оболочки обеспечивает высокую газопроницаемость хемосорбента. Поскольку размер частиц гидроксида кальция соизмерим или больше размера пор спанбонда, слой хемосорбента, содержащий примерно 20 % влаги, находится между листами матрицы как в «сетке». При таком способе получения листовой поглотитель не осыпается, практически не пылит, легко гнется, сворачивается в рулон без деформаций.

Проведенные сравнительные испытания разработанного хемосорбента с его американским аналогом показали, что динамическая активность известкового поглотителя ХЭЛП-ИК при толщине листа примерно 1,5 мм (средняя толщина поглотителя ExtendAir) составляет около 115 дм<sup>3</sup>/кг, а образца поглотителя ExtendAir (США) 80 – 90 дм<sup>3</sup>/кг.

Экспериментальные исследования активности разработанного хемосорбента в статических условиях показывают, что хемосорбент на эластичной подложке

ХЭЛП-ИК по скорости поглощения диоксида углерода в статических условиях превосходит серийные хемосорбенты как минимум в два раза.

### **Заключение**

Использование хемосорбента на эластичной подложке для очистки воздуха от диоксида углерода в герметичных объектах в условиях отсутствия энергетики позволит:

- снизить объемную долю диоксида углерода и, тем самым, повысить комфортность пребывания пользователей в герметичном объекте;
- снизить количество хемосорбента, необходимого для очистки воздуха от диоксида углерода вследствие более полной отработки продукта и, как следствие, уменьшить массо-габаритные характеристики изделий, в состав которых будет входить разработанный хемосорбент.

На основании изложенного можно сделать вывод о возможности использования листовых поглотителей для удаления диоксида углерода в обитаемых космических объектах.

### *Список использованной литературы*

1. ГОСТ 28040-89 «Система жизнеобеспечения космонавта в пилотируемом космическом аппарате».
2. Пат. 2381831 Российской Федерации, МПК В01J20/04. Способ изготовления химического адсорбента диоксида углерода / М.П. Архипова, Н.Ф. Гладышев и др. – № 2008118664/15; заявл. 12.05.2008; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5. – 8 с.
3. Поглотитель диоксида углерода на эластичной подложке / Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева, Э.И. Симаненков, М.А. Архипова // Системы жизнеобеспечения как средство освоения человеком дальнего космоса: тез. докл. Междунар. конф. 24 – 27 сентября 2008 года. – М., 2008.

УДК 631.354

ББК 40.728

## **Надежность работы современных зерноуборочных комбайнов**

Ерохин Г.Н., Коновский В.В.

*Государственное научное учреждение Всероссийский  
научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук  
(Россия, г. Тамбов)*

Надежность работы зерноуборочного комбайна во многом определяет эффективность его использования у потребителя [1]. Неудовлетворительная надежность проявляется частыми и продолжительными простоями машины, вызванными устранением последствий отказов. Как следствие, снижается эксплуатационная производительность зерноуборочного комбайна, увеличиваются затраты на поддержание его в работоспособном состоянии.

Поэтому при комплектовании парка зерноуборочных комбайнов потребителю очень важно иметь информацию о надежности их работы в условиях реальной эксплуатации. В настоящее время аграрному товаропроизводителю предлагается широкий спектр высокопроизводительных машин отечественного и зарубежного производства. Однако объективных данных об их надежности потребитель в большинстве случаев не имеет.

Задачей рассматриваемой работы было проведение сравнительной оценки надежности современных марок отечественных и зарубежных комбайнов.

Наблюдения проводились в условиях Тамбовской области за отечественными комбайнами «Acros 530» производства «Ростсельмаш» в количестве 7 шт.; за белорусскими комбайнами компании «Гомсельмаш» «Полесье 1218» – 8 шт. Комбайны дальнего зарубежья были представлены компанией «John Deere»: барабанный «John Deere 9675 WTS» – 1 шт., роторный «John Deere 9660 STS» – 2 шт.; компанией «CLAAS»: барабанные «TUCANO 450» – 1 шт. и «Mega 370» – 1 шт.; корпорацией CNH: роторный «Case 2388» – 2 шт. Сезон эксплуатации наблюдаемых комбайнов находился в интервале 1...4 года.

Комбайны работали на уборке ячменя, озимой и яровой пшеницы при урожайности 22...36 ц/га. Полеглость и засоренность составляла от 2 до 5%. Отношение зерна к солоистой массе 1:1,2 – 1:1,5. Уборочные работы проводились прямым комбайнированием.

В данной работе надежность зерноуборочных комбайнов оценивалась коэффициентом готовности по общему и оперативному времени:

$$K_{гi}^{об} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i=1}^N t_{vi}^{об}}; \quad K_{гi}^{оп} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i=1}^N t_{vi}^{оп}},$$

где  $K_{гi}^{об}, K_{гi}^{оп}$  – коэффициент готовности по общему и оперативному времени восстановления работоспособного состояния комбайна  $i$ -ой марки;

$T_i$  - наработка комбайна  $i$ -ой марки в часах основного времени за период наблюдений, ч;

$t_{vi}^{об}, t_{vi}^{оп}$  - общее и оперативное время восстановления работоспособности комбайна  $i$ -ой марки за период наблюдения, ч;

$N$  – количество наблюдаемых комбайнов  $i$ -ой марки.

Общее время восстановления работоспособного состояния включает в себя оперативное плюс затраты времени на доставку запчастей, материалов и оборудования, а также ожидание специалистов сервисной службы. Таким образом, коэффициент готовности по оперативному времени характеризует собственную надежность комбайнов, а коэффициент готовности по общему времени – надежность системы: комбайн – служба технического сервиса и ремонта.

Для оценки надежности по вышеприведенным формулам информация собиралась периодическими наблюдениями и экспертной оценкой механизаторов и специалистов хозяйств. Нарботка в часах основного времени фиксировалась по показаниям бортовых компьютеров комбайнов. Полученные результаты оценки надежности комбайнов представлены на рис. 1.

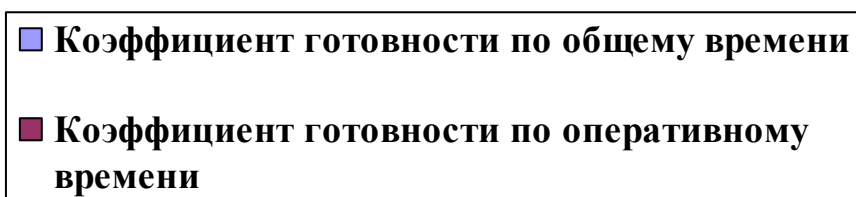
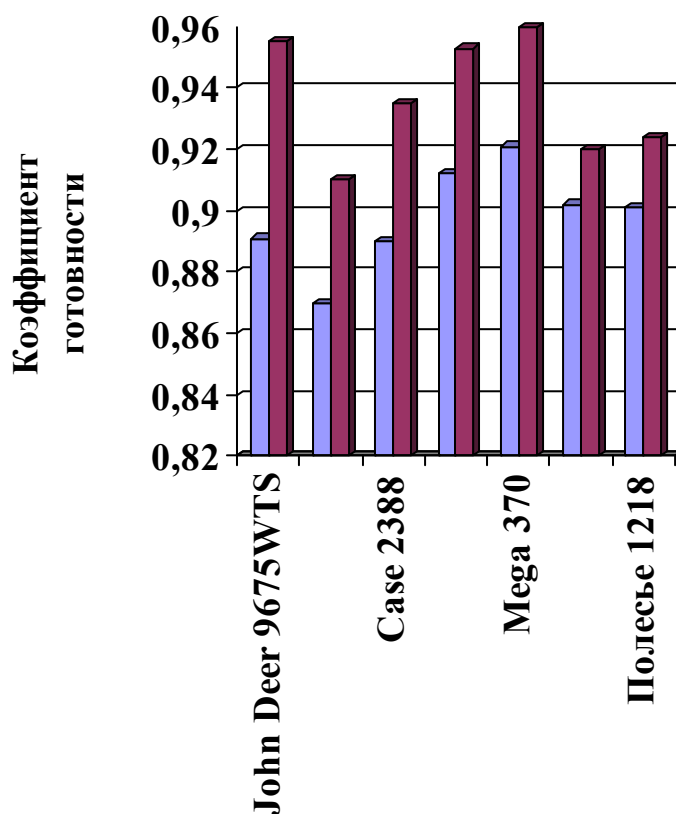


Рис. 1. Кoeffициент готовности зерноуборочных комбайнов

Комбайны «Агрос 530» имели средний кoeffициент готовности по оперативному времени 0,923; по общему – 0,90. За время наблюдений у этих комбайнов зафиксированы отказы первой группы сложности: излом граблин мотовила, кронштейнов натяжных роликов; обрыв барабанного ремня; деформация битера проставки. Случались и отказы второй группы сложности. Это отказы гидрораспределителей включения молотилки и измельчителя; выход из строя электромотора регулировки зазора подбарабанья; редуктора главного контрпривода, излом подвески подбарабанья. Наблюдались отказы автоматической системы контроля: выход из строя датчиков системы и сбой работы бортового компьютера комбайна.

У комбайнов «Полесье 1218» за период наблюдений зафиксированы отказы: выход из строя рычага и шкива привода молотилки, вала очистки, рычага вентилятора, обрыв ремней барабана. Значительно снизили показатели надежности отказы третьей группы сложности: излом коленчатого вала двигателя и шестерен бортового редуктора, выход из строя насоса ГСТ. Следует отметить неудачную конструкцию крепления компрессора кондиционера, что приводит к излому его корпуса. Коэффициент готовности комбайнов «Полесье 1218» по оперативному времени составил 0,92; по общему – 0,90.

По комбайнам производства дальнего зарубежья получены следующие результаты.

Комбайн «John Deer 9675 WTS» с классической барабанной молотилкой первого сезона эксплуатации показал коэффициент готовности по оперативному времени 0,955. Низкий коэффициент готовности по общему времени (0,891) объясняется большим простоем комбайна из-за доставки отказавшего транспортера наклонной камеры.

Два роторных комбайна «John Deer 9660 STS» были четвертого года эксплуатации, работали в составе уборочных комплексов и имели самую большую суммарную наработку за весь срок эксплуатации. Известно, что с увеличением суммарной наработки надежность комбайнов снижается [1, 2]. Это подтвердили и настоящие исследования, коэффициент комбайнов по оперативному времени равнялся только 0,91, по общему – 0,87.

Высокая стоимость обслуживания и запасных частей у комбайнов «John Deer» привело к тому, что частично они работали с неисправной системой автоматического контроля. Так же у этих комбайнов не работала система копирования рельефа поля в автоматическом режиме, что значительно усложнило работу механизатора и приводило к забиванию жатки. Простые механические отказы такие, как обрыв ремней, разрушение подшипников и т.п. устранялись самими комбайнерами. Более сложные отказы электрической, гидравлической и автоматической системы регулирования и контроля устранялись специалистами сервисной службы.



Комбайны «TUCANO 450» и «Mega 370» производства фирмы «Claas» первого года эксплуатации также имели высокие показатели надежности. Их коэффициент готовности по оперативному времени составил более 0,95, по общему времени – 0,91...0,92. Отказы были только первой группы сложности.

Роторные комбайны «Case 2388» 2-го и 3-го годов эксплуатации показали достаточно высокую надежность. Коэффициент готовности этих комбайнов по оперативному времени – 0,935, по общему – 0,89. За период наблюдений у комбайнов не было сложных отказов. Случившиеся отказы устранялись в основном силами комбайнеров и только два отказа с помощью специалистов сервисной службы. Длительность доставки запасных частей и ожидание специалистов службы сервиса снизили значение коэффициента готовности по общему времени.

Сравнивая надежность наблюдаемых машин, можно сказать, что самый высокий коэффициент готовности по оперативному времени был у комбайнов «John Deer 9675 WTS», «TUCANO 450» и «Mega 370» (более 0,95). Все перечисленные комбайны первого года эксплуатации. Комбайны «Case 2388» второго года эксплуатации имели коэффициент готовности по оперативному времени 0,936. У комбайнов «Acros 530», «Полесье 1218» и «John Deer 9660 STS» этот показатель примерно одинаков и составляет 0,91...0,92.

Для коэффициента готовности по общему времени получено, что его разница от оперативного больше у зарубежных комбайнов. Особенно наглядно это проявляется на примере комбайнов «John Deer 9675 WTS» и «Case 2388». Устранение несложных отказов этих комбайнов, требующих замены узла, привело к значительному простоя и, как следствие, снижению коэффициента готовности по общему времени.

У комбайнов «Acros 530» и «Полесье 1218» эта разница значительно меньше. Это объясняется более оперативной работой сервисных служб, а сами механизаторы знакомы с конструкцией и быстрее устраняли возникшие отказы.

Проведенные исследования дают возможность потребителю оценить эксплуатационную надежность наблюдаемых марок зерноуборочных комбайнов

по коэффициенту готовности. Существенная разница коэффициента готовности по оперативному и общему времени показывает, что в процессе приобретения комбайнов необходимо ориентироваться не только на надежность самой машины, но и на наличие сервисных служб и качество их работы.

#### *Список использованной литературы*

1. Ерохин, Г.Н. Использование зерноуборочных комбайнов за пределами регламентированного срока службы / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский, Н.П. Тишанинов. – М.: РАСХН, 2005. – 63 с.
2. Ерохин, Г.Н. Изменение надежности зарубежных зерноуборочных комбайнов в процессе эксплуатации / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский // Машинно-технологическая станция (МТС). – 2009. – № 2. – С. 14-15.

УДК 631.354:631.12

ББК 40.428

**Оценка достаточности парка зерноуборочных комбайнов  
в сельхозпредприятии**

Ерохин Г.Н., Решетов А.С.

*Государственное научное учреждение Всероссийский  
научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук*

*(Россия, г. Тамбов)*

Комбайновая уборка зерновых культур является трудоемкой и ресурсоемкой операцией, на долю которой приходится 35...45 % от общих затрат при возделывании зерновых культур. Сельхозпредприятие при ее выполнении несет потери в виде эксплуатационных затрат, потерь зерна за комбайнами и потерь зерна осыпанием при превышении агросрока. Данные потери по своей сути представляют собой потери эффективности при выполнении комбайновой уборки зерновых культур. Величина этих потерь индивидуальна для каждого сельхозпредприятия и зависит от множества факторов.

Исследованиями доказано [1], что потери эффективности могут быть использованы в качестве критерия оценки, который однозначно и достоверно характеризует эффективность всего процесса уборки зерна в хозяйстве. Он позволяет принимать решение по целесообразности любого смоделированного варианта комбайнового обеспечения уборки зерновых культур в конкретном хозяйстве. Предпочтительным считается вариант с наименьшими потерями эффективности. Разность этого критерия по различным вариантам характеризует сравнительную эффективность вариантов.

ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии разработал модель [2], которая позволяет определять потери эффективности уборки зерновых культур в зависимости от условий уборки и используемых комбайнов. Отличительной особенностью модели является прогнозирование потребительских свойств зерноуборочного комбайна в зависимости от его наработки с начала эксплуатации. Это относит-

ся, прежде всего, к показателям эксплуатационной производительности, надежности работы и качества технологического процесса уборки зерновых.

Модель также позволяет оценивать и другие важные показатели процесса уборки зерновых культур. В их числе: суммарная эксплуатационная производительность комбайнового парка, га\ч; прогнозируемая продолжительность уборочных работ, дн.; общий расход солярки, л; затраты на ГСМ, руб.; затраты на оплату труда, руб.; затраты на амортизацию, руб.; затраты на ТО и ремонт, руб.; суммарные эксплуатационные затраты, руб.; суммарные потери зерна за комбайнами, т; суммарные потери зерна из-за дробления, т; процент площадей, убираемых за пределами агросрока, %; потери зерна из-за превышения агросрока, т; потери технологического эффекта в натуральном выражении, т; потери технологического эффекта в денежном выражении, руб.; удельные эксплуатационные затраты, руб./га.

Входными параметрами модели являются показатели условий аграрного товаропроизводителя, потребительских свойств зерноуборочных комбайнов и внешних условий.

К показателям потребительских свойств зерноуборочного комбайна относятся: мощность двигателя, л.с.; пропускная способность, кг/с; удельный расход топлива, л/ч; транспортная скорость комбайна, км/ч; объем бункера, м<sup>3</sup>; скорость разгрузки бункера, л/с; удельные затраты времени на переоборудование, ч/ч; удельные затраты времени на технологические регулировки, ч/ч; удельные затраты времени на устранение технологических отказов, ч/ч; удельная продолжительность ЕТО, ч/ч; удельная продолжительность периодических ТО, ч/ч; стоимость комбайна, руб.; коэффициент готовности; удельные затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб./ч; ресурс комбайна, ч; потери зерна за комбайном, %; дробление и засоренность бункерного зерна, %.

Показатели, характеризующие условия потребителя, включают:

- марочный, количественный и возрастной состав имеющихся у потребителя зерноуборочных комбайнов;
- размеры площадей, прогнозируемая урожайность и соломистость культур;

– прогнозируемые уровни полеглости, влажности, засоренности убираемых культур, длина гона, площадь поля, расстояние между полями.

К показателям внешних условий относятся: стоимость топлива (солярки), средняя цена реализации зерна.

Предложенная модель позволяет оценить целесообразность возможных вариантов комбайнового обеспечения при различных условиях уборки зерновых культур в сельхозпредприятии. В частности, она применима для оценки достаточности имеющегося парка зерноуборочных комбайнов при различных погодных условиях и урожайности зерновых культур. Рассмотрим это на конкретном примере колхоза-племенного завода им.Ленина Тамбовского района Тамбовской области.

Площадь зерновых культур составляет 2950 га. Хозяйство располагает парком зерноуборочных комбайнов в следующем составе: «Дон-1500А» 18-го сезона использования – 3 шт., «Дон-1500Б» 15-го сезона использования – 1 шт., «Дон-1500Б» 8-го сезона использования – 2 шт., «Дон-1500Б» 5-го сезона использования – 2 шт., «Дон-1500Б» 2-го сезона использования – 1 шт., «ACROS 530» 2-го сезона использования – 1 шт., «ACROS 530» 1-го сезона использования – 1 шт.

На основе имеющегося парка зерноуборочных комбайнов и прогнозируемых условий уборки смоделированы показатели уборочных работ в хозяйстве при урожайности 30 ц/га и 50 ц/га (отношение зерна к соломистой массе 1:1,5). Количество дождливых дней в течение 10 дней уборки прогнозировали: для сухого сезона -1, для слабо-влажного – 3, для влажного – 5.

Получены следующие результаты. Продолжительность уборочных работ в зависимости от урожайности и погодных условий показана на рис. 1.

При урожайности 30 ц/га продолжительность уборки в сухом и слабо-влажном сезоне практически укладывается в установленный агросрок. Лишь при влажных погодных условиях (половина дней дождливые) продолжительность составит 19 дней. При урожайности 50 ц/га продолжительность уборочных работ варьирует от 16 до 29 суток в зависимости от погодных условий.

Суммарные потери зерна (за комбайнами и осыпанием) по вариантам иллюстрируются диаграммой (рис. 2).

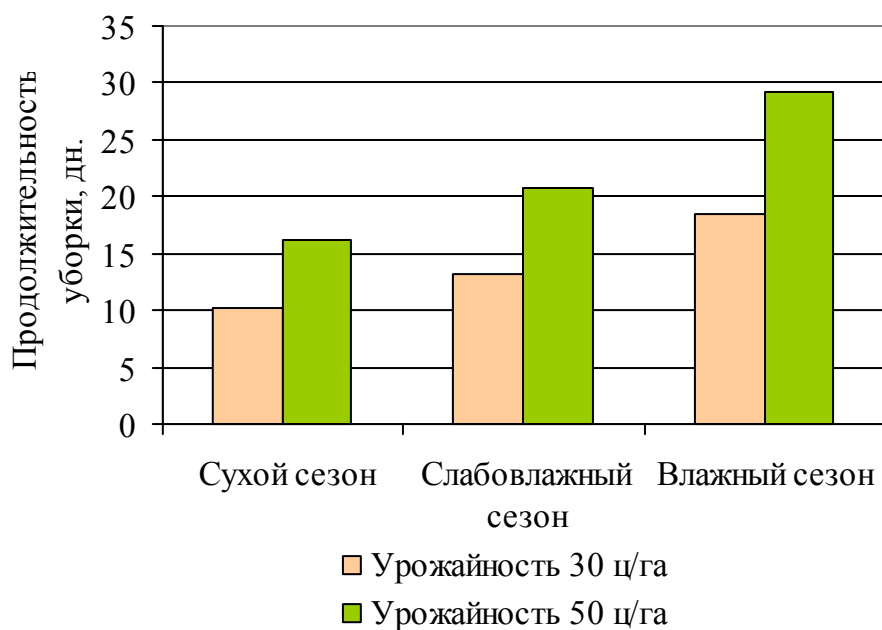


Рис. 1. Продолжительность уборки зерновых культур в хозяйстве

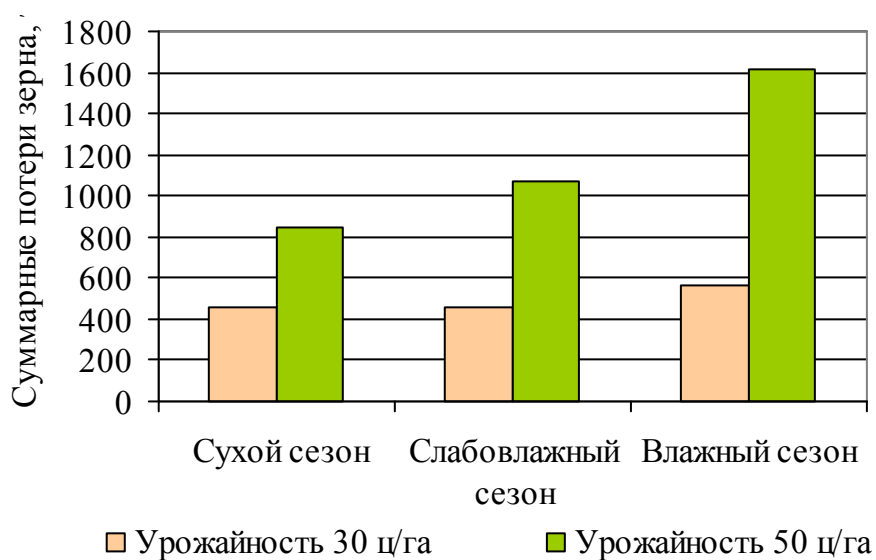


Рис. 2. Потери зерна при выполнении уборки зерновых культур

Как показывает рис. 2, значительный рост потерь характерен для биологической урожайности 50 ц/га. Так для влажного сезона уборки они составят 1619 т, что приведет к снижению урожайности на 5,6 ц/га.

Затраты денежных средств на горюче-смазочные материалы прогнозируются при урожайности 30 ц/га в размере 619 тыс. руб., при урожайности 50 ц/га в размере 956 тыс. руб., затраты на ремонт и ТО в размере 510 тыс. руб.

Потери эффективности комбайновой уборки зерновых для различных погодных условий и урожайности показаны на диаграмме (рис.3). В вариантах с урожайностью 50 ц/га наблюдается резкий рост потерь в зависимости от погодных условий. В случае влажного сезона уборки предприятие может понести убытки по сравнению с сухим сезоном в размере 3,876 млн. руб.

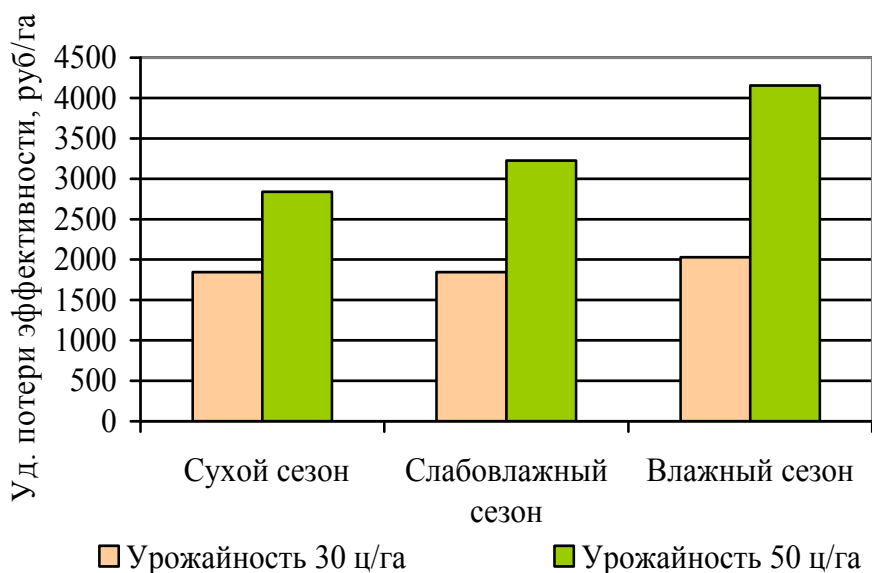


Рис. 3. Удельные потери эффективности уборки зерновых культур

Проведенная с помощью моделирования оценка показывает, что имеющийся парк зерноуборочных комбайнов в хозяйстве достаточен для выполнения уборочных работ при урожайности 30 ц/га и разнообразных погодных условиях. При биологической урожайности свыше 50 ц/га обеспеченность хозяйства зерноуборочными комбайнами – критическая. В случае слабовлажного и влажного сезона при таких условиях целесообразно проанализировать возможность уборки части площадей сторонними комбайнами на договорной основе.

#### *Список использованной литературы*

1. Ерохин, Г.Н. Оценка эффективности комбайнового обеспечения уборки зерновых культур / Г.Н. Ерохин // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 27-29.
2. Ерохин, Г.Н. Изменение надежности зарубежных зерноуборочных комбайнов в процессе эксплуатации / Г.Н.Ерохин, В.В.Коновский // Машинно-технологическая станция (МТС). – 2009. – № 2. – С. 14-15.

УДК 66.047

ББК Л 113, 7 я 73

### **Массоперенос при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов**

Климов А.М.<sup>1</sup>, Рудобашта С.П.<sup>2</sup>, Нечаев В.М.<sup>1</sup>, Тепляков Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

<sup>2</sup>*Московский государственный агроинженерный университет*

*им. В.П. Горячкина (Россия, г. Москва)*

Одним из проблемных вопросов расчётной практики процессов сушки является определение кинетических коэффициентов. Предпочтительно иметь простые, надёжные, имеющие достаточную для инженерных расчётов точность, полуэмпирические зависимости, проверенные экспериментально в необходимом диапазоне изменения коэффициентов. Сказанное в полной мере относится и к эффективному коэффициенту диффузии  $D_{э,u}$ .

В работе изучали закономерности внутреннего массопереноса в **коллоидных капиллярно-пористых** полимерных материалах при сушке их от жидкостей являющихся активными растворителями по отношению к твёрдой фазе. В качестве типичного примера выбрана сушка нитроцеллюлозы от этанола.

Коллоидные капиллярно-пористые полимерные материалы по своим структурным свойствам занимают промежуточное положение между непористыми и капиллярно-пористыми материалами, что предопределяет промежуточность их диффузионных свойств. В общем случае эффективный коэффициент диффузии для конкретной системы является функцией массосодержания распределяемого вещества ( $u$ ), температуры ( $T$ ) и структуры материала, то есть:

$$D_{э,u} = f[u, T, \varepsilon_m, \chi(u)]. \quad (1)$$

Для определения эффективных коэффициентов диффузии низкомолекулярных веществ в полимерах даёт наиболее полную и достоверную информацию изучение полей концентраций. Поэтому, из экспериментально снятых полей концентраций этанола при сушке нитроцеллюлозы, рассчитали эффективные коэффициенты диффузии,  $D_{э,u} = f(u)$ . Обобщение полученных данных позво-



лило установить, что в области температур 303 и 313 К и массосодержаний 0,01 – 0,11 *кг/кг твёрдой фазы* температурная зависимость коэффициента диффузии этанола в нитроцеллюлозе подчиняется закону Аррениуса.

$$D_{\varepsilon,u} = D_{\varepsilon,\infty,u} \cdot \exp(-E_{D,u}/R^*T), \quad (2)$$

где  $D_{\varepsilon,u}$  – эффективный коэффициент диффузии вещества в материале при массосодержании «u»,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$D_{\varepsilon,\infty,u}$  – эффективный коэффициент диффузии вещества в материале при массосодержании «u» и формально при  $T \rightarrow \infty$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$E_{D,u}$  – энергия активации диффузии вещества в полимере при его массосодержании «u», Дж/кмоль;

$R^* = 8,314$  Дж/(кмоль К) – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура, К.

Для учёта степени кристалличности  $\chi$  и массосодержания полимера на параметры  $E_{D,u}$  и  $D_{\varepsilon,\infty,u}$  в уравнении (2) предложены эмпирические уравнения [1], полученные при обобщении опытных данных по коэффициентам диффузии воды в полимерах при  $\chi = \text{const}$ .

$$E_{D,u} = 7,8 \cdot 10^{-4} [1 - 0,475(1 - \chi)] \cdot (1 - 0,16 u/u_{\text{м.с.}}); \quad (3)$$

$$D_{\varepsilon,\infty,u} = \exp[-11(1 - \chi) - 0,92 u/u_{\text{м.с.}}], \quad (4)$$

где  $\chi$  – степень кристалличности полимера;  $u_{\text{м.с.}}$  – максимальное сорбционное массосодержание полимера, *кг/кг твёрдой фазы*.

Проверка показала применимость зависимостей (3)-(4) для расчёта  $D_{\varepsilon,u}$  при диффузии этанола в нитроцеллюлозе, находящейся в высокоэластическом и стеклообразном состояниях, по двум определяемым параметрам: степени кристалличности полимера  $\chi = f(\bar{u})$  и максимальному сорбционному массосодержанию  $u_{\text{м.с.}}$ , с корректирующим множителем «a» в уравнении (2), который отличается от 1, принятой для диффузии воды в полимерах.

Из сопоставления эффективных коэффициентов диффузии, рассчитанных по уравнениям (2) – (4) и экспериментально полученных из полей концентраций, было найдено значение корректирующего множителя  $a = 7,0$  и аппроксимирующая формула для диффузии этанола в нитроцеллюлозе, таким образом, может быть записана в виде:

$$D_{э,u} = 7,0 D_{э,\infty,u} \cdot \exp\left(-\frac{E_{D,u}}{R^*T}\right). \quad (5)$$

Корректирующий множитель “ $a$ ” в данном случае учитывает не только отличие диаметра диффундирующих молекул этанола от диаметра молекул воды, но и наличие пор в материале, облегчающих диффузию.

Средняя относительная погрешность вычислений  $D_{э,u}$  по уравнениям (3), (4), (5) составляет  $\pm 20\%$ .

Сравнение экспериментальных и рассчитанных эффективных коэффициентов диффузии позволяет распространить расчётные зависимости (3), (4), (5) на застеклованный полимер ( $u < 0,075 \text{ кг/кг}$  при  $T = 303 \text{ K}$ ;  $u < 0,04 \text{ кг/кг}$  при  $T = 313 \text{ K}$ ): уменьшение массосодержания ниже значений  $u_{cm}$  при указанных температурах не приводит к изменению зависимостей  $D_{э,u} = f(u)_t$ . Это объясняется сравнительно небольшой разницей температур  $(T_{cm} - T) \leq 12 \text{ K}$ .

Получена зависимость (5), позволяющая прогнозировать значение эффективного коэффициента диффузии при сушке нитроцеллюлозы от активного её растворителя – этанола по двум параметрам структуры полимера: степени кристалличности  $\chi = f\left(\bar{u}\right)$  и максимальному сорбционному массосодержанию полимера.

#### *Список использованной литературы*

1. Рудобашта, С.П. Диффузия в химико-технологических процессах / С.П. Рудобашта, Э.М. Карташов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос С, 2010. – 478 с.

УДК 631.812.12

ББК П40.40

**Гранулирование подстильно-пометной массы птицефабрик  
как основа устойчивого развития аграрно-промышленного сектора  
Тамбовской области**

Климов Д.В., Кузьмин С.Н., Милованов О.Ю.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В России действует около 600 крупных птицефабрик [1], отходы которых, подстильно-пометная масса (ППМ), представляют серьезную угрозу для окружающей среды. Министерством природных ресурсов РФ утвержден «Федеральный классификационный каталог отходов», в который включены помет птиц с отнесением их к III классу опасности. А с учетом постановления правительства России от 12.07.2003 № 344 за размещение отхода III класса (птичьего помета) с птицефабрик взимается 497 руб. за тонну. Так на Инжавинской птицефабрике в Тамбовской области, использующей технологию напольного выращивания цыплят накапливается около 28 тонн использованной подстилки в день[2].

Типичная утилизация такого количества ППМ – использование в качестве удобрения для технических культур (подсолнечник, свекла), с интенсивностью внесения – не чаще одного раза в четыре года, и точной дозировкой. При этом актуальным вопросом является переработка ППМ в форму, удобную для хранения, транспортировки и внесения в почву.

Авторы работы предлагают использовать в качестве удобрения гранулированную ППМ, позволяющую решить вышеупомянутые проблемы. Для переработки больших объемов ППМ предлагается использовать линию по гранулированию ОАО «Продмаш» г. Ростов-на-Дону (рис. 1), производительностью 8 т/час.

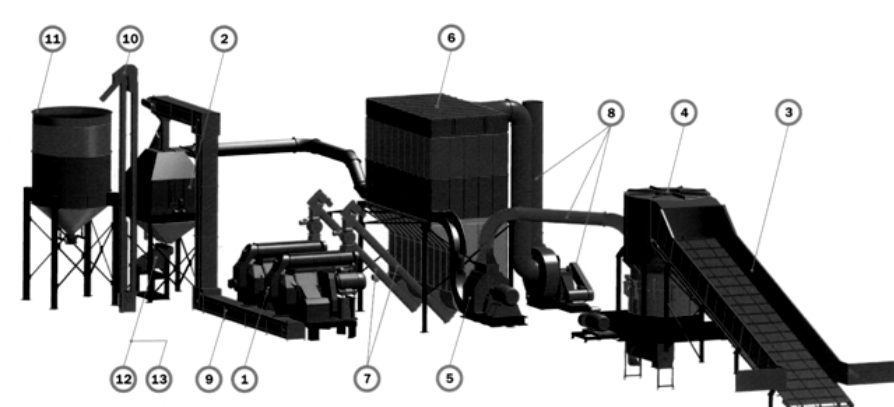


Рис. 1. Схема комплекса по производству гранул [3]:

- 1 – пресс-гранулятор, 2 – охлаждающая колонка, 3 – загрузочная платформа,  
 4 – дробилка грубого измельчения, 5 – дробилка мелкого измельчения,  
 6 – накопитель с фильтром, 7 – подающий конвейер,  
 8 – пневмотранспорт, 9 – транспортер горячего продукта, 10 – элеватор,  
 11 – фасовка в биг-бэги, 12 – стол рассева, 13 – система рециркуляции

Исходное сырье, проходя через две дробилки, собирается в накопителе. В дробилке грубого измельчения сырье измельчается до 15 мм. После дробилки мелкого измельчения размер частиц составляет не более 4 мм. Из накопителя ППМ поступает пресс-гранулятор. В процессе гранулирования материал нагревается, поэтому готовые гранулы проходят через охлаждающую колонку. Упаковка в биг-бэги позволяет упростить транспортировку до потребителя. Гранулирование подстильно-пометной массы позволяет получить продукт, удобный для транспортировки, хранения и использования.

Высокая влажность исходной подстильно-пометной массы (40%) [4]. требует предварительной сушки. Для генерации тепла на сушку рационально использовать часть гранул, произведенных на этой же линии. Так как в составе ППМ часто используется солома, горение которой сопряжено со шлакованием, авторы предлагают доукомплектовать стандартную сушилку котлом-теплогенератор с кипящим слоем [5]. Схема такого котла представлена на рис. 2.

Сжигание гранул происходит в турбулентном кипящем слое, содержащем только гранулы и твердые продукты их горения – золу и коксовый остаток. Высокие скорости движения частиц и газа в таком слое препятствуют образованию и механически разрушают образующиеся агломераты золы, а отсутствие в слое частиц песка не создают предпосылок для образования легкоплавких эвтектик.

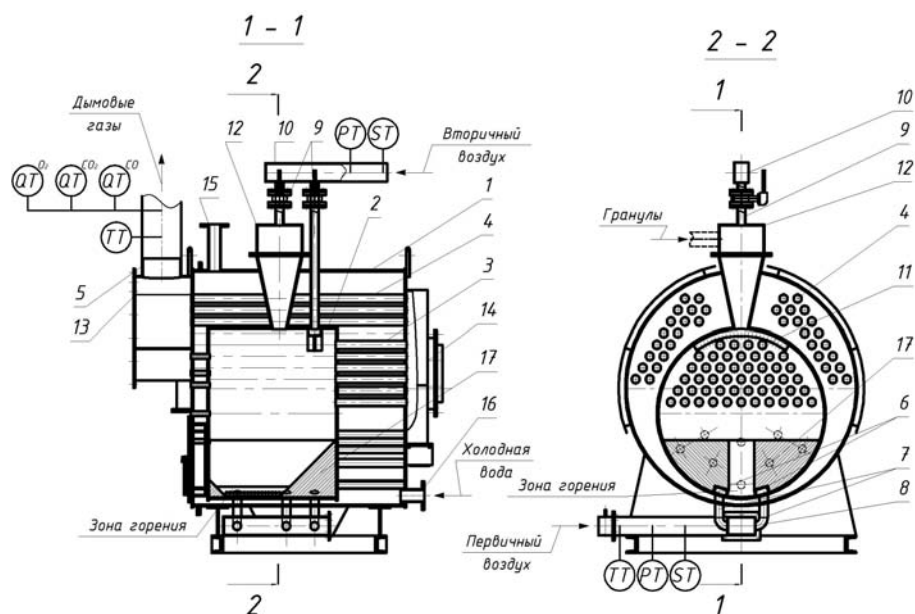


Рис. 2. Схема котла-теплогенератора:

- 1 – цилиндрический корпус; 2 – жаровая труба; 3 – короткие дымогарные трубы;  
 4 – длинные дымогарные трубы; 5 – дымоход; 6 – воздухораспределительная  
 решетка; 7 – воздуховоды; 8 –коллектор; 9 – воздуховоды вторичного воздуха;  
 10 – коллектор вторичного воздуха; 11 – воздухораспределитель вторичного воздуха;  
 12 – подача топлива; 13 – передняя дымовая коробка; 14 – задняя дымовая коробка;  
 15 – выходной патрубок; 16 – входной патрубок; 17 – футеровка

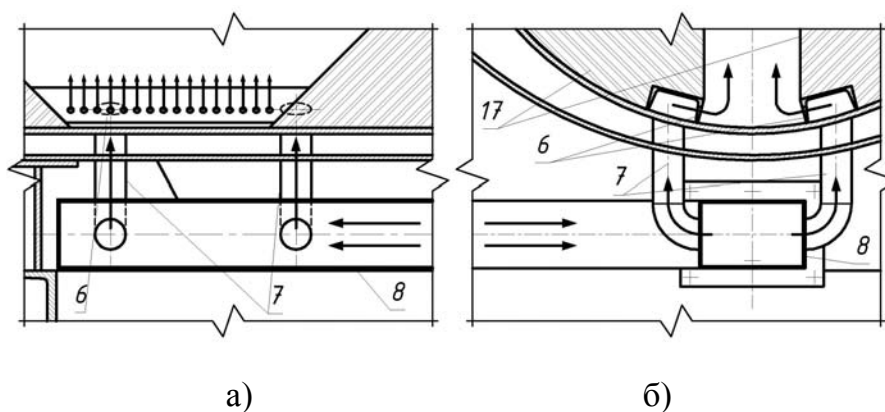


Рис. 3 Устройство воздухораспределительной решётки и  
 схема подачи первичного воздуха в топку:  
 а – продольный разрез; б – поперечный разрез

Воздух, подаваемый на сжигание гранул, разбивается на два потока (рис. 3): первичный, подаваемый по коллектору 8 и системы труб 7 под швеллеры 6, через отверстия в стенках которых этот воздух подается под слой топлива и пе-

реводит его в псевдоожиженное состояние. Вторичный воздух подается через коллектор 10 и систему труб 9 подается под швеллер 11, через отверстия в полке которого проходит в жаровую трубу и используется для дожигания летучих веществ. Часть потока вторичного воздуха подается также в патрубок 12, через который в топку поступают свежие гранулы. Этот воздух используется для дожигания летучих веществ, а также защищает систему подачи гранул от проникновения пламени и горячих газов для предотвращения воспламенения гранул до их подачи в топку теплогенератора.

Таким образом, предложенная схема теплогенератора обеспечивает не только надежное и эффективное сжигание любого вида биотоплива, но и генерацию двух видов горячих теплоносителей: горячих дымовых газов, покидающих теплогенератор с температурой до 200 °С, и горячей воды, покидающей теплогенератор с температурой до 95 °С. Эта вода может быть использована для сушки исходной ППМ перед гранулированием. Расчетная мощность теплогенератора позволяет справиться с суточной потребностью в тепле на гранулирование Инжавинской птицефабрики. Результат бактериологического и технического анализа гранул позволяет сделать вывод о возможности их применения в качестве как удобрения, так и топлива.

#### *Список использованных источников*

1. <http://www.businesspartner.ru/kompleks-po-pererabotke-ptich-ego-pomyota.html>.
2. <http://webpticeprom.ru/ru/articles-processing-waste.html?pageID=1227035842>.
3. Isemin R. Torrefaction of straw pellets. – Report on European Pellet Conference, Wels, Austria. – 27-28 February. – 2013.
4. ГОСТ Р 53765-2009. Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений. Технические условия. – Введ. 2010–06–09. – М.: Стандартинформ, 2010.
5. Development of technology of slagless combustion of agricultural wastes (straw) and designing and manufacturing of boilers where this technology is applied / D. Viryasov, R. Isemin, V. Konyakhin, S. Kuzmin, A. Mikhalev // Journal of Japan Institute of Energy. – 2011. – Vol. 90, № 6. – P. 569-572.

УДК 691.175:579.222.2(075)

ББК 24.7

**Ресурсосберегающая технология переработки отходов  
полимерных материалов**

Клинков А.С., Макеев П.В., Шашков И.В., Полушкин Д.Л.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Рациональное потребление материальных ресурсов является в настоящее время одним из важнейших рычагов в развитии экономики. Однако, наряду с этим, экологические и социальные аспекты играют в ее развитии все большую роль. Охрана окружающей среды сегодня представляет глобальную международную проблему. В этой связи использование разнообразных отходов жизнедеятельности человечества, объемы которых непрерывно растут, становится одной из актуальных задач. Наиболее остро стоит проблема утилизации отходов полимерных материалов, так как в виду своих специфических свойств полимерные материалы практически не разлагаются, тем самым нанося огромный вред окружающей среде.

**Опыт европейских стран требует от производителей выполнения директивы (Dir 94/62/EC); измененной и дополненной в 2004 г. (Dir 2004/12/EC), которая регулирует отношения в сфере упаковки, утилизации и переработки отходов упаковки. В России на сегодняшний день, по поручению Президента РФ от 10.08.2012 № Пр-2138 ведется активное обсуждение и рассмотрение проекта Федерального закона № 584399-5 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления».**

**По итогам II-й Научно-практической конференции «Комплексное использование вторичных ресурсов и отходов (рециклинг отходов)» (24-25 сентября 2009 г., г. Санкт-Петербург) установлено, что основная масса твердых бытовых отходов подвергается сжиганию.**

Следует отметить, что в развитых странах сжигается лишь та часть ТБО, которая не пригодна для вторичной переработки, но это явление в последние годы

имеет тенденцию к значительному снижению. Кроме диоксинового загрязнения противники сжигания мусора приводят такие аргументы против МСЗ:

– мусоросжигание не только не способствует развитию рециклинговых систем, а наоборот, не заинтересовано в них;

– заводы не уничтожают отходы окончательно. Шлаки и пепел от мусоросжигания (около 30% начальной массы ТБО), все равно должны быть захоронены на полигонах.

В резолюции заседания круглого стола «Условия эффективной реализации расширенной ответственности производителя за утилизацию отходов упаковки» прошедшего 12 сентября 2012 г. в г. Москве, в ТПП РФ, было выдвинуто положение *«существующий подход к организации процесса обращения с отходами упаковки приводит к тому, что значительная их часть попадает на свалки (полигоны). Ценные в сырьевом отношении отходы используются в промышленных масштабах как вторичные ресурсы крайне слабо...»*.

Таким образом, ни захоронение ни сжигание не решают проблему накопления и эффективного использования полимерных отходов, а лишь переводят ее в новое, опасное и трудно предсказуемое русло.

В связи с этим, перспективными становятся технологии, способные вторично использовать образующиеся отходы в производственном цикле.

**Существующие подобные технологии переработки отходов термопластов включают в себя множество вспомогательных и энергоемких операций: измельчение, мойку, сушку, что требует значительных энергетических и трудовых затрат, увеличения производственных площадей, существенных капитальных вложений и приводит, в конечном итоге, к увеличению себестоимости продукции.**

**В России вопрос о повторной переработке полимеров актуален, поскольку в стране традиционно существует дефицит дешевого полимерного сырья. По итогам международной конференции «Сырьевой вектор развития полимерного бизнеса» (12 апреля 2011 г., г. Москва), начиная с 2000 года, спрос превысил предложение в среднем на 25,4%; при этом доля импорта на рынке составила порядка 36,4%.**



Таким образом, цель настоящего исследования может быть сформулирована как разработка непрерывного технологического процесса переработки широкого класса отходов полимерных материалов, позволяющего исключить из технологической цепочки дробление и сушку перерабатываемого материала.

Разработанный технологический процесс (рис. 1) вторичной переработки отходов термопластов по непрерывной технологии осуществляется следующим образом: отходы с содержанием посторонних примесей не более 5 % поступают на участок сортировки отходов 1, в процессе которой из них удаляют случайные инородные включения и выбраковывают сильно загрязненные куски.

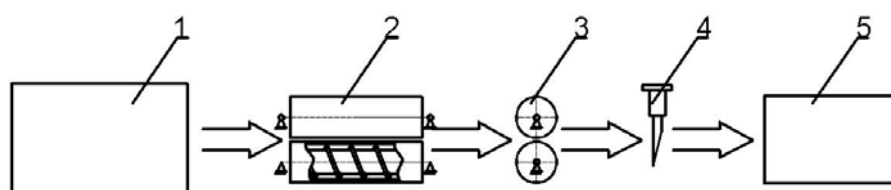


Рис. 1. Схема технологического процесса вторичной переработки отходов термопластов:

- 1 – участок сортировки отходов; 2 – валково-шнековый агрегат;  
3 – тянущее устройство; 4 – нож; 5 – емкость для гранул

Подготовленные таким образом отходы полимеров, непрерывно загружаются через загрузочный бункер на рабочие поверхности валково-шнекового агрегата 2. Под действием температуры происходит плавление отходов, удаление летучих компонентов, пластикация и транспортировка материала по направлению к загрузочной зоне, где расплав продавливается через загрузочное отверстие и, захватываясь витками шнека транспортируется в сторону формующей головки. На выходе из формующей головки полученные прутки (стренги) заданного сечения, режутся ножом 4, после чего гранулы собираются в емкости 5.

Для осуществления разработанного технологического процесса вторичной переработки отходов полимерных материалов была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка [1].

Экспериментальная установка представляет собой горизонтально расположенные полые валки 4, 8 диаметром 80 мм и рабочей длиной 200 мм. При этом передний валок 1 является подвижным (число оборотов валка от 0 до 30 об/мин), а задний валок 2 неподвижным. В заднем валке имеется загрузочное отверстие 5, расположенное в зоне максимального давления вальцуемого полимера под углом, равным углу подъема винтовой нарезки шнека (Пат. РФ 2417881 RU C2 В29В 7/64). [2]

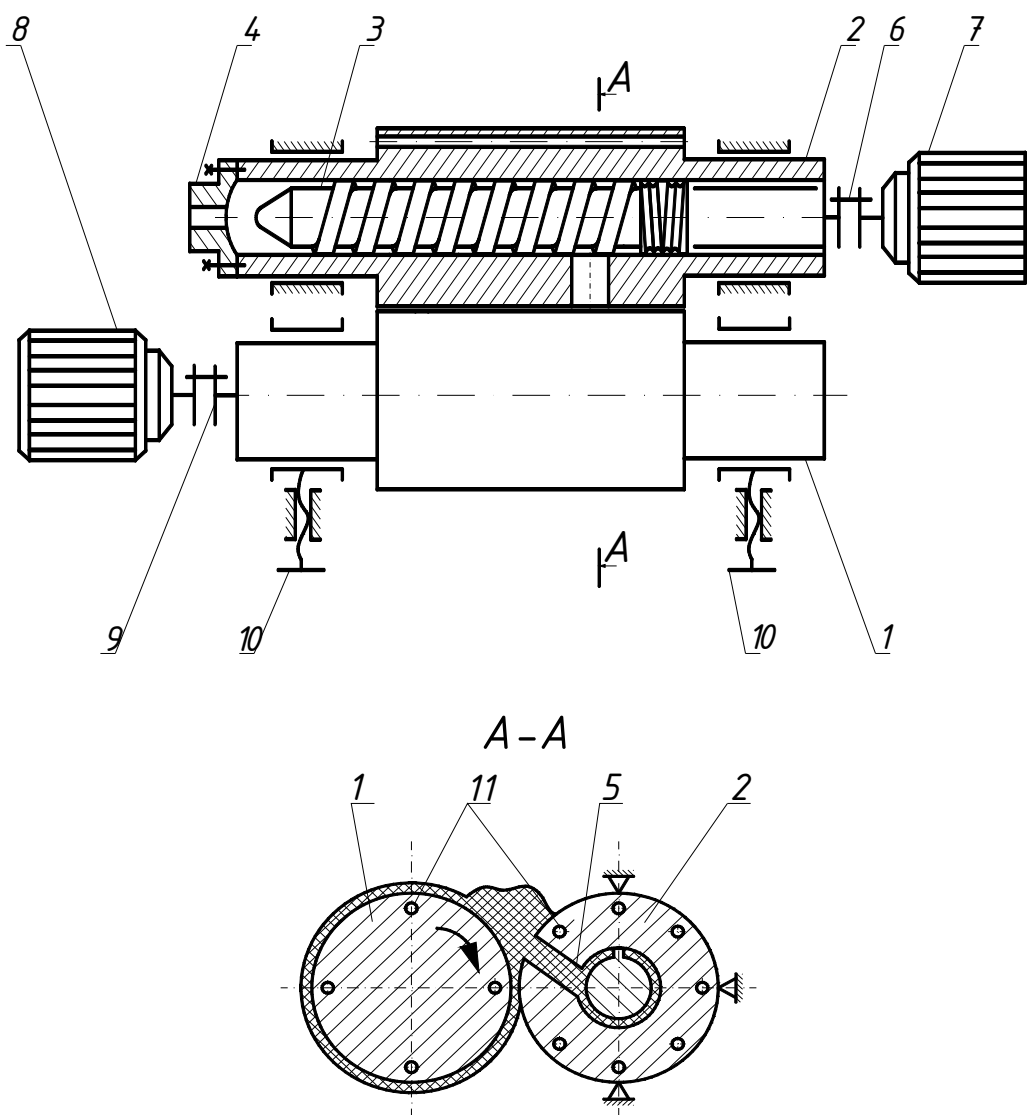


Рис. 2. Схема экспериментальной валково-шнековой установки:  
 1 – передний валок; 2 – задний валок; 3 – шнек; 4 – формирующая головка;  
 5 – загрузочное окно; 6, 9 – муфта; 7, 8 – мотор-редуктора;  
 10 – регулирующее устройство; 11 – электронагреватели

Внутри неподвижного валка установлен шнек 3, привод которого осуществляется от электродвигателя 8. Шнек 3 осуществляет захват материала, дополнительную гомогенизацию, транспортировку и создание давления перед формирующей головкой.

Проведенные исследования показали работоспособность данной конструкции и возможность переработки по данной технологии не только пленочные отходы термопластов производственного и общественного потребления, но и различные технологические отходы термопластов.

В качестве объекта исследования был выбран вторичный полиэтилен высокого давления (ВПВД), в связи с тем что рынок производства и потребления данного полимера развивается наиболее быстрыми темпами по сравнению с остальными, что соответственно приводит к увеличению роста образующихся отходов полимера.

В процессе проведения предварительных испытаний было установлено, что поскольку процесс переработки отходов термопластичных полимерных материалов на валково-шнековом агрегате является совмещенным, то его можно условно разделить на две стадии.

- 1 – переработка на валковом оборудовании с одним неподвижным валком,
- 2 – переработка экструзией.

Таким образом, с целью снижения количества параметров влияющих на качественные показатели вторичного гранулята необходимо оценить степень воздействия на перерабатываемый материал как со стороны валкового оборудования, так и со стороны экструзионного оборудования.

По результатам исследований были построены графические зависимости (рис. 3), которые позволили сделать следующие выводы:

- Наблюдаются изменения прочностных свойств вторичного материала при различной частоте вращения валка вальцов  $n_{в}$ . Это вызвано тем, что основное сдвиговое воздействие на материал со стороны рабочих органов технологического оборудования в процессе вторичной переработки происходит в процессе течения расплава полимера в зоне межвалкового зазора.

- Изменение частоты вращения шнека  $n_{ш}$  при постоянной частоте вращения валка вальцов  $n_{в}$  не вносит существенного влияния на величину показателя прочности при разрыве  $\sigma_p$  получаемого вторичного термопластичного материала, что является следствием недостаточной величины сдвиговой деформации, возникающей в межвитковом пространстве шнека.

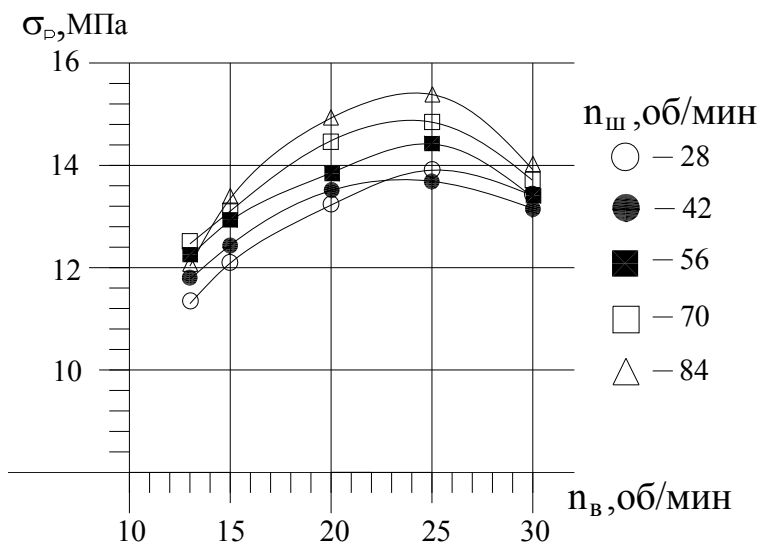


Рис. 3. Зависимость прочности при разрыве  $\sigma_p$  от частоты вращения валка при различной частоте вращения шнека  $n_{ш}$  (ВПВД)

В связи с этими заключениями, дальнейшие эксперименты проводили при одной постоянной частоте вращения шнека ( $n_{ш}=56$  об/мин).

На данной установке были проведены экспериментальные исследования, цель которых заключалась в установлении зависимостей между технологическими параметрами процесса (частота вращения валка, частота вращения шнека) и физико-механическими показателями получаемого гранулята (предел прочности и относительное удлинение при разрыве).

Полученные в процессе переработки гранулы подвергались испытаниям по определению физико-механических показателей по ГОСТ 1199-78, показатель текучести расплава (ПТР) по ГОСТ 11645-73, а также определения золь-гель фракции.

В результате были получены графические зависимости представленные на рис. 4. Анализ зависимостей позволяет сделать следующие выводы: с увеличением числа оборотов вала прочностные характеристики материала увеличиваются, что является следствием структурирования материала в процессе переработки. Максимальное упрочнение материала наблюдается при значении частоты вращения вала 25 об/мин.

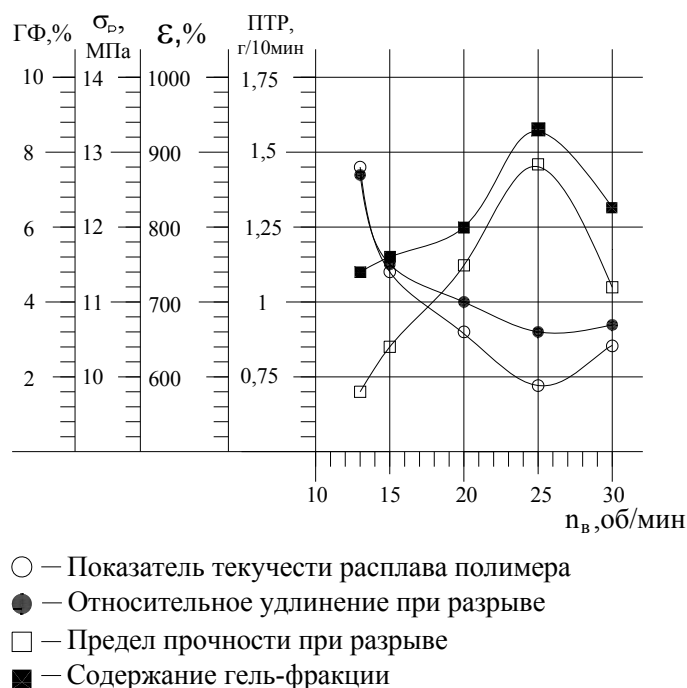


Рис. 4. Зависимость прочности при разрыве  $\sigma_p$ , зависимости ПТР, относительного удлинения при разрыве, предела прочности при разрыве, содержания гель-фракции от частоты вращения вала (ВПВД)

При дальнейшем увеличении частоты вращения вала наблюдается возрастание сдвиговых деформаций в межвалковом зазоре, что приводит к разрыву межмолекулярных связей и снижению прочностных характеристик, соответственно.

При этом во вторичном материале образуется нерастворимая гель-фракция, которая в данном случае выполняет функцию активного наполнителя полимерной матрицы, что с одной стороны приводит к увеличению прочности, но в то же время является причиной появления значительных внутренних напряжений,

следствием чего является повышение хрупкости материала и снижением относительного удлинения.

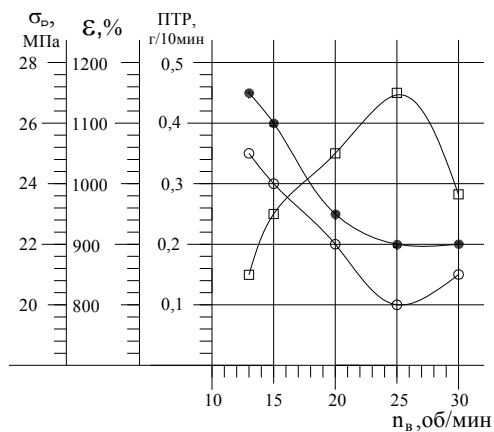
В работе были проведены также экспериментальные исследования с отходами других термопластичных полимерных материалов (вторичный полиэтилен низкого давления (ВПНД рис. 5, а), вторичный полипропилен (ВПП рис. 5, б), вторичный полистирол (ВПС рис. 5, в)), которые широко используются в производстве упаковки.

Анализируя экспериментальные зависимости (рис. 5) можно сделать вывод, что характер изменения физико-механических показателей и показателя текучести расплава от частоты вращения валка при переработке ВПНД, ВПП, ВПС аналогичен зависимостям для ВПВД (рис. 3).

В ходе проведения экспериментальных исследований анализировались значения удельной мощности затрачиваемой на производство 1 кг продукции, и проводилось сравнение с имеющимися технологиями по переработке отходов полимеров. Результаты сравнения приведены в таблице 1.

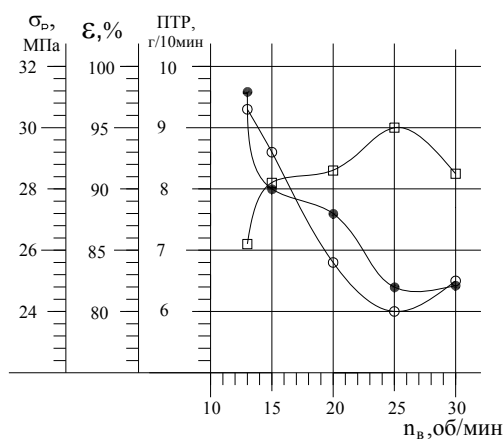
Таким образом, использование разработанной технологии позволяет проводить утилизацию отходов полимерной тары и упаковки, валково-шнековый агрегат может быть установлен в любом месте скопления отходов, поскольку не предполагает использования сложных технических и технологических узлов. Между тем, исключение стадий дробления (что является достаточно трудоемким и энергоемким процессами для отходов упаковочного полимерного материала) и сушки приводит к снижению энергозатрат и, следовательно, к уменьшению себестоимости получаемого вторичного материала, который может быть использован для получения изделий технического назначения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (шифр 7.3766.2011) по теме “Разработка энергоэффективной технологии и оборудования утилизации отходов полимерной тары и упаковки” и в рамках научной школы (НШ 01.2012.05 ТГТУ) от 28.05.2012 г. “Теория и практика устойчивого развития природопромышленных систем. Проектирование региональных утилизирующих комплексов, технологий и оборудования”.



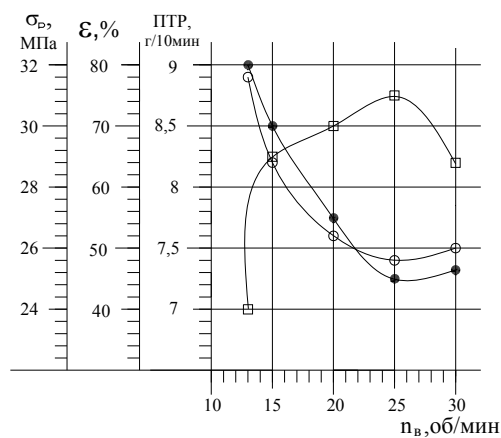
○ — Показатель текучести расплава полимера  
 ● — Относительное удлинение при разрыве  
 □ — Предел прочности при разрыве

a)



○ — Показатель текучести расплава полимера  
 ● — Относительное удлинение при разрыве  
 □ — Предел прочности при разрыве

b)



○ — Показатель текучести расплава полимера  
 ● — Относительное удлинение при разрыве  
 □ — Предел прочности при разрыве

v)

Рис. 5. Графики зависимости показателя текучести расплава полимера, относительного удлинения при разрыве, предела прочности при разрыве от частоты вращения вала:

a — VPND; б — VPI; в — VPS

Таблица 1

№ п/п	Технология	Удельная мощность, кВт·ч/кг
1	Завод вторичной переработки полимеров «MINIMUM» (группа компаний «АЛЕРКО», г. Ростов-на-Дону)	1,59
2	Завод по вторичной переработке полимеров «MEDIUM» (группа компаний «АЛЕРКО», г. Ростов-на-Дону)	1,09
3	Завод по вторичной переработке полимеров «MAXIMUM» (группа компаний «АЛЕРКО», г. Ростов-на-Дону)	1,104
4	Линии грануляции SM-75WPR (ООО «Арсенал Индустрия», Московская область)	1,196
5	Переработка на валково-шнековом агрегате (ТамбГТУ, кафедра ПП и УП)	0,8

*Список использованной литературы*

1. Разработка конструкции валково-шнекового агрегата и совмещенного технологического процесса утилизации полимерной тары и упаковки / Д.Л. Полушкин, А.С. Клинков, П.В. Макеев, С.С. Гуреев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 578 – 587.

2. Пат. РФ 2417881 RU C2 B29B 7/64. Валково-шнековый агрегат / А.С. Клинков, П.В. Макеев, М.В. Соколов, Д.Л. Полушкин, В.Г. Однолько: Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2009100295/05; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20.



**Энерго- и ресурсосберегающие твердофазные технологии  
получения изделий из полимеров и нанокompозитов  
на основе полиамида с предварительной пластификацией заготовки\***

Комбарова П.В., Баронин Г.С., Хабаров С.Н.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Снижение затрат электроэнергии и материальных ресурсов при производстве изделий становится на сегодняшний день самой актуальной задачей отечественной промышленности. Выполнение этой задачи возможно с помощью разработки и внедрения новых технологий получения и обработки изделий из полимеров [1]. В частности, замена металлических деталей и узлов машин и оборудования полимерными весьма актуальна в связи со снижением общей массы и стоимости машин, а также повышением экологической чистоты производства.

В настоящее время широко используются способы изготовления полимерных изделий методами литья под давлением и экструзии [2]. При этом способам твердофазной обработки полимеров уделяется недостаточное внимание. Технологии обработки давлением в твердой фазе позволяют повысить прочность и износостойкость материала изделий, существенно сократить технологический цикл формования, повысить производительность и частично решить проблему отходов [3]. К недостаткам новой технологии можно отнести необходимость использования высокого давления, применяемого для оформления заготовки в изделия, и связанное с этим формирование повышенных ориентационных остаточных напряжений, которые, в свою очередь, снижают размерную стабильность изделий. В данной работе предложен метод устранения указанных недостатков с помощью технологической операции предварительной пластификации заготовок до обработки давлением в твердой фазе [4].

---

\* Работа выполнена в рамках Госзадания (код проекта 3.4037.2011) и проекта 10741p/16955.

В качестве объекта исследования был использован полиамид (ПА-6), ГОСТ 10589-87 с изм. 1, 2. Для изготовления композитов применялся углеродный наноматериал (УНМ) «Таунит» производства ООО «Нанотехцентр» г. Тамбов [1].

Для предварительной пластификации (набухания) образцов полимера и полимерного нанокомпозита применялся ацетон (ГОСТ 2768-84.).

Для определения внутренних ориентационных напряжений в образцах чистого ПА-6 и нанокомпозитов на его основе, полученных обработкой давлением в твердой фазе, использовали метод построения диаграмм изометрического нагрева (ДИН). Исследования проводили на специально разработанной экспериментальной установке [5].

Опыты по обработке давлением в твердой фазе проводили при комнатной температуре (295 К), с предварительным нагревом образцов в термошкафе на воздухе (323К) и с предварительной выдержкой в нагретом до 323К пластификаторе (от 1 до 40 мин).

Таблица 1

Теплостойкость и величина внутренних остаточных напряжений образцов ПА-6, прошедших обработку давлением в твердой фазе

Технологические режимы обработки давлением в твердой фазе ПА-6	Время процесса, мин	Теплостойкость, К	Внутренние напряжения, МПа
Без нагрева	0	320	1,34
Нагрев 323К	30	330	1,13
Предварительная пластификация при 323К	1	321	0,84
	5	330	0,8
	10	336	0,66
	20	340	0,6
	30	352	0,32
	40	345	0,3

Из полученных экспериментальных данных (табл. 1) следует, что обработка давлением в твердой фазе при температуре окружающей среды нецелесообразна, так как образцы получаются с низкой теплостойкостью (320 К) и высокими ориентационными напряжениями (1,34 МПа). Предварительный нагрев заготовки до 323 К повышает теплостойкость и снижает внутренние ориентационные напряжения незначительно. Результаты исследования с постепенным увеличением времени предварительной пластификации показывают, что в этом случае происходит постепенный рост теплостойкости и снижение ориентационных напряжений, так как выбранные технологические режимы пластического течения и скольжения материала во время обработки давлением в твердой фазе формирует структуру с низким уровнем внутренних ориентационных напряжений. Установлено, что при выдержке в течение 40 минут теплостойкость падает. Таким образом, оптимальными технологическими параметрами обработки являются пластификация при 323 К в течение 30 минут (рис. 1).

При изучении технологического процесса обработки давлением в твердой фазе полимерной системы ПА-6 + 0,05 УНМ (табл. 2) выявлена тенденция снижения внутренних ориентационных напряжений, аналогичная образцам из чистого ПА-6 (табл. 1). Установлено, что оптимальными параметрами обработки полимерной системы ПА-6 + 0,05 УНМ являются предварительная пластификация образцов при 323 К в течение 20 минут.

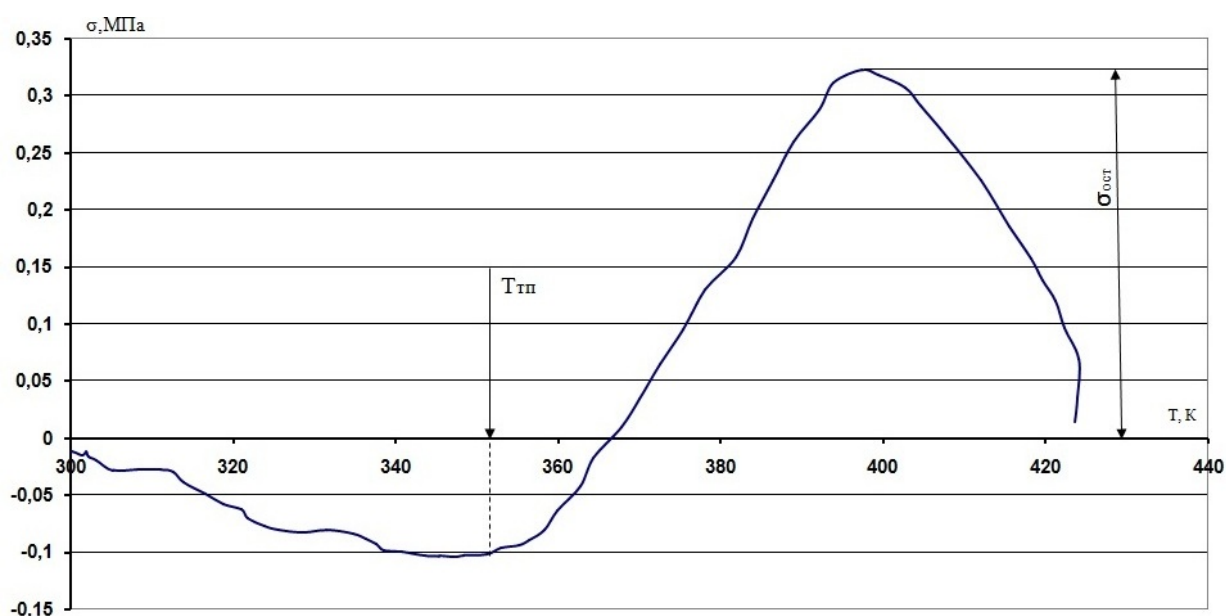


Рис. 1. Диаграмма изометрического нагрева образца ПА-6, прошедшего обработку давлением в твердой фазе с предварительной пластификацией в течение 30 минут в ацетоне при 323 К

Теплостойкость и величина внутренних остаточных напряжений образцов полимерной системы ПА-6 + 0,05 масс. част. УНМ, прошедших обработку давлением в твердой фазе

Технологические режимы обработки давлением в твердой фазе ПА-6	Время процесса, мин	Теплостойкость, К	Внутренние напряжения, МПа
Без нагрева	0	335	1,53
Нагрев 323К	30	332	0,85
Предварительная пластификация при 323К	1	330	0,87
	5	350	0,77
	10	330	0,54
	20	352	0,32
	30	328	0,25
	40	312	0,33

Таким образом, применение дополнительной стадии пластификации материала и наличие углеродного наномодификатора позволяет устранить недостаток обработки давлением в твердой фазе, связанный с образованием высоких ориентационных напряжений и существенно (до 30°) повысить теплостойкость образцов полимерной системы.

#### *Список использованной литературы*

1. Промышленные технологии и инновации. Оборудование для nanoиндустрии и технология его изготовления: учебное пособие / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин, А.И. Попов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 132 с. С. 3.
2. Мак-Келви, Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви / Перевод с англ. Ю.В. Зеленева, Б.П. Пашина. – М.: Химия, 1965. – С. 11.

3. Баронин, Г.С. Физико-химические и технологические основы переработки полимерных сплавов в твердой фазе: дис. д-ра техн. наук / Г.С. Баронин. – Тамбов, 2003. – 413 с.

4. Патент РФ № 2446188 Баронин Г.С., Дмитриев В.М., Ткачев А.Г., Комбарова П.В., Завражин Д.О., Кобзев Д.Е. Способ подготовки заготовок из полимерных композиционных материалов для обработки давлением в твердой фазе. Заявка № 2010108492 от 09.03.2010.

5. Установка для определения остаточных напряжений в ориентированных термопластах / Ю.М. Радько, Е.В. Минкин, М.Л. Кербер, М.С. Акутин // Завод. лаб. – 1980. – № 7. – С.669-670.

**Исследование кинетических характеристик мембранного разделения  
растворов, содержащих поверхностно-активные вещества**

Котельникова И.В., Костылева М.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) являются одним из факторов антропогенного загрязнения водных объектов, используемых или намечаемых к использованию в качестве источников хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования населением. Неизбежное увеличение содержания ПАВ в сточных водах, наблюдающееся в последнее время, может значительно ухудшить санитарно-гигиеническое состояние поверхностных источников воды [1]. Попадая в водоемы, многие наиболее распространенные ПАВ затрудняют процессы биологического окисления органических загрязнений и таким образом препятствуют их самоочищению. В результате ухудшаются санитарно-химические показатели качества воды: увеличивается сухой остаток, возрастает окисляемость и химическое потребление кислорода. Кроме того, вода в присутствии ПАВ приобретает неприятный привкус и запах. Так, достаточно 0,3-0,4 мг/л ПАВ, чтобы у речной воды явно ощущался горький привкус. Из-за высокой пенообразующей способности ПАВ, на поверхности водоемов часто образуется значительное количество устойчивой пены, препятствующей их использованию. Поэтому содержание ПАВ в открытых водоемах и сточных водах, поступающих на биологическую очистку, регламентируется [2].

Основной причиной попадания ПАВ в объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового пользования является несовершенство методов очистки сточных вод от ПАВ [3]. Анализ проведенных исследований показал, что во всех случаях выбор метода очистки сточных вод от ПАВ и его эффективность определяются концентрацией ПАВ и их химической природой, общим составом сточных вод (наличием в них сопутствующих органических загрязнений и содержанием минеральных солей). При выборе метода очистки сточных вод

необходимо учитывать также необходимую степень очистки и условия сброса очищенных сточных вод в водоемы.

Существует несколько способов фильтрации воды, очистки ее от ПАВ и других примесей, в том числе и механических частиц. Одним из наиболее эффективных является мембранная технология. Поток воды, несет в себе не только ее молекулы, но и различные примеси. Те частицы, которые являются меньше диаметра пор мембраны, проникают вместе с водой через нее, а более крупные остаются перед мембраной. В итоге один поток воды делится на два. Очищенная фильтрованная вода за мембраной и концентрированный раствор солей – концентрат. Он сливается в дренажную систему, тогда как вода, прошедшая очистку – фильтрат, поступает потребителям для промышленного и бытового использования. Полученная вода не станет причиной выхода из строя бытовой техники, такой как посудомоечные или стиральные машины, и не будет причиной плохого самочувствия в случае использования ее для питья.

Учитывая то, что через мембрану не могут проникнуть те вещества, молекулы которых крупнее ее пор, даже при снижении качественных показателей исходного потока воды, получаемый фильтрат имеет высокое качество. В отличие от других фильтров, которые имеют свойство задерживать в себе различные примеси, мембрана не накапливает их. Таким образом, исключается возможность попадания их в уже очищенную воду.

Проводились исследования на ультрафильтрационной мембране УФМ-100.

На рисунке 1 наблюдается снижение коэффициента задержания с ростом концентрации исходного раствора. Это обусловлено тем, что при повышении давления растворенные вещества проскакивают через мембрану вместе с растворителем, поскольку ультрафильтрационные мембраны обладают значительной производительностью, и при оттоке растворителя через мембрану начинает значительно проявляться явление гелеобразования, при котором возрастает также диффузионный перенос вещества через мембрану [6]. На основе анализа полученных экспериментальных данных применяли для расчета коэффициента задержания следующую формулу:

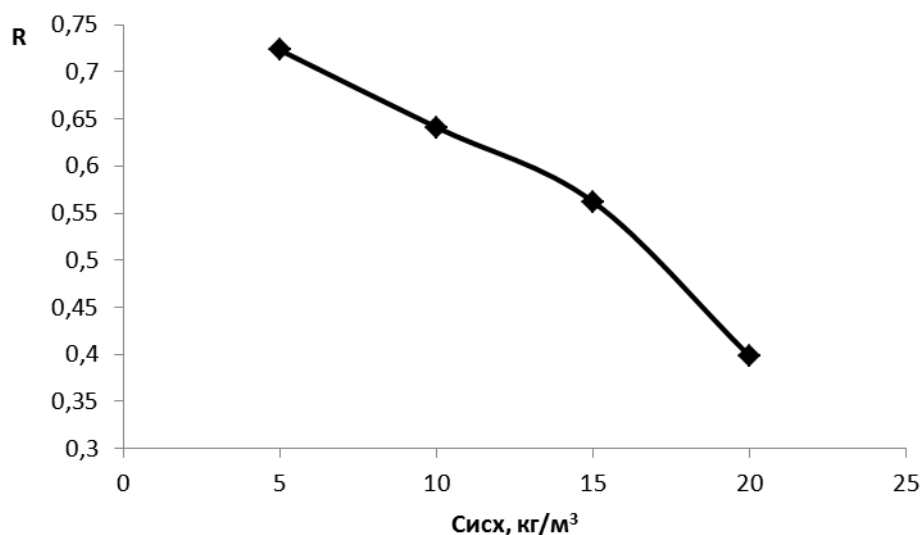


Рис. 1. Зависимость коэффициента задержания от исходной концентрации раствора для мембраны УФМ-100 при температуре 293 К

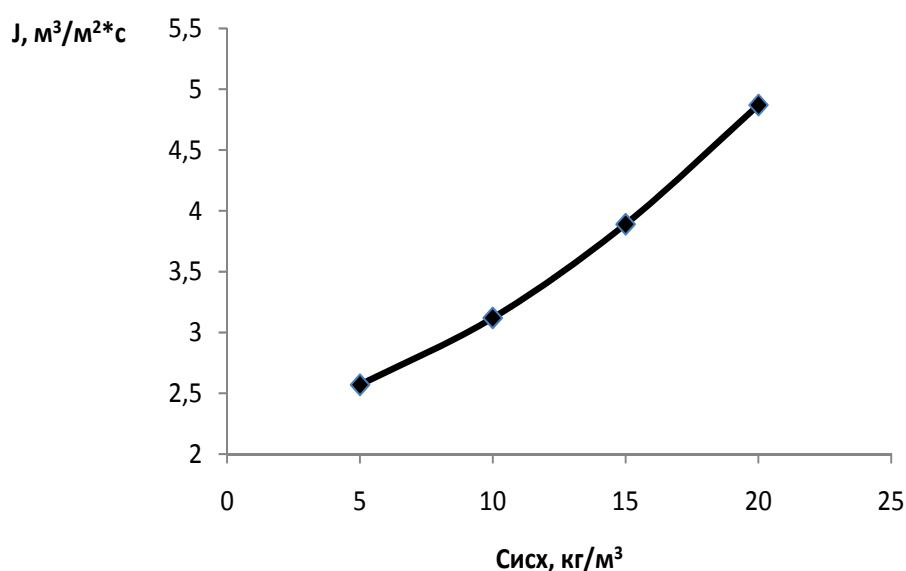


Рис. 2. Зависимость удельного потока растворителя от исходной концентрации раствора для мембраны УФМ-100 при температуре 293 К

$$R = 1 - \frac{C_{пер}}{C_{исх}},$$

где  $C_{пер}$  – концентрация растворенного вещества в пермеате;  $C_{исх}$  – концентрация растворенного вещества исходном растворе.

Удельный поток растворителя рассчитывали по следующей зависимости:



$$J = \frac{V}{F_m \cdot \tau},$$

где  $V$  – объем собранного пермеата;  $F$  – площадь поверхности мембраны;  $\tau$  – время проведения эксперимента.

Разработанный метод может быть с успехом применен также при очистке сточных вод, содержащих масла и нефтепродукты, образующихся на нефтехимических предприятиях, нефтебазах, станциях автосервиса, судостроительных предприятиях и на судах. Дисперсный состав и физико-химические свойства указанных сточных вод, в основном, идентичны сточным жиро- и маслосодержащим водам автомоечных станций.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

#### *Список использованной литературы*

1. Очистка производственных сточных вод / Под ред. Ю.И. Турского и И.В. Филиппова. – Л. : Химия, 1967. – 331 с.
2. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений. Сан Пин N4630-88. – М.: Мин-во здравоохранения СССР, 1988. – 69 с.
3. Когановский А.М., Клименко Н.А. Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. – Киев : Наукова думка, 1978. – 176 с.
4. Очистка сточных вод биомембранными методами / В.Н. Швецов, К.М. Морозова, М.Ю. Семенов, М.Ю. Пушников // ВСТ. – 2008. – № 3. – С. 39-42.
5. Родионов А.И, Клушин В.Н, Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1969. – 526 с.

УДК 621.357

ББК 34.663

## **Технология получения наномодифицированных палладиевых покрытий с повышенной износостойкостью**

Кулаков В.Ю.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Высокие механические свойства, хорошая коррозионная стойкость и удовлетворительная электропроводность палладия обеспечили ему широкое применение в электротехнической промышленности для покрытия контактов электронной аппаратуры. Износостойкость палладиевых покрытий в 15 – 20 раз выше, чем, например, серебряных. Электропроводность не меняется даже при длительном нагревании до 300°C. К недостаткам палладиевых покрытий можно отнести микротрещиноватость – внутренние напряжения в них могут достигать 7000 кгс/см<sup>2</sup>. Кроме того, водород, адсорбируемый покрытием палладия, ухудшает прочность сцепления с металлом подложки. Таким образом, актуальной является задача улучшения качества палладиевых покрытий. Один из таких способов – нанесение наномодифицированных палладиевых гальванических покрытий.

В ходе экспериментов по нанесению наномодифицированных гальванических покрытий в качестве нанодобавки к электролиту использовался углеродный наноматериал «Таунит», произведенный компанией ООО «НаноТехЦентр» (г. Тамбов), представляющий собой одномерные наномасштабные нитевидные образования в виде сыпучего порошка черного цвета. Корректировка технологического процесса в случае использования нанодобавок заключалась в добавлении в электролит палладирования углеродного наноматериала «Таунит» в концентрации 45–70 мг/л и последующей обработке полученной смеси в ультразвуковой установке в течение 10 минут непосредственно перед процессом электрохимического осаждения палладия. Электроосаждение осуществлялось по традиционной технологии при температуре 25°C и катодной плотности тока 0.2–0.08 А/дм<sup>2</sup>. В ходе экспериментов было получено 4 партии образцов. При этом одна из них с помощью чистого электролита палладирования, остальные с

помощью наномодифицированного электролита палладирования с различными концентрациями нанодобавки (45 мг/л, 60 мг/л и 70 мг/л соответственно).

С целью определения износостойкости полученного гальванического покрытия все партии обрабатывались на специализированной установке, где они подвергались износу щеткой, совершающей возвратно-поступательные движения по поверхности покрытия. Обработка образцов каждой из партий осуществлялась в течение 1 мин., 5 мин. и 10 мин. Далее полученные образцы исследовались на шероховатость с целью косвенного определения износостойкости.

Измерение шероховатости участка поверхности износа образцов, полученного в результате обработки, производилось на профилометре Veeco NT 9080. Для каждого образца были получены значения высоты неровностей поверхности  $R_z$  по десяти точкам и среднеквадратической шероховатости поверхности  $R_q$ :

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 H_{i\max} - \sum_{i=1}^5 H_{i\min} \right),$$

где  $H_{i\max}$  – 5 максимальных высот точек поверхности;  $H_{i\min}$  – 5 минимальных высот точек поверхности.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2},$$

где  $\bar{Z}$  – средняя высота неровностей на поверхности;  $Z_i$  – текущая высота точки, а суммирование производится по всем точкам массива измерений, соответствующего данной поверхности (их количество –  $n$ ).

Усредненные результаты измерений для каждой из партий представлены в таблице 1.

Таблица 1

### Шероховатость поверхности

	$R_z$ , нм			$R_q$ , нм		
	1 мин.	5 мин.	10 мин.	1 мин.	5 мин.	10 мин.
без Таунита	1340	1420	1350	190	211	183
45 мг/л	1380	1180	912	181	181	142
60 мг/л	1190	1230	1090	184	207	146
70 мг/л	1250	1460	1120	191	200	166

Из результатов измерений шероховатости видно, что средние значения  $R_z$  и  $R_q$  наномодифицированных палладиевых покрытий меньше, чем соответствующие значения чистых палладиевых покрытий. При этом наилучшие результаты получены на наномодифицированных палладиевых покрытиях с концентрацией Таунита 45 мг/л. Так, среднее значение  $R_z$  уменьшилось на 18%, а  $R_q$  на 16%. Из уменьшившейся шероховатости можно сделать выводы о том, что контакт будет более долговечным за счет менее интенсивного взаимного истирания контактирующих поверхностей, а также уменьшится его переходное электрическое сопротивление за счет большей площади контакта.

**Электроультрафильтрационное разделение промышленных  
растворов биохимических производств\***

Лавренченко А.А., Головашин В.Л., Костылева М.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Одним из перспективных направлений развития электробаромембранной технологии является создание и исследование динамических мембран. Динамические мембраны образуются при электробаромембранном разделении коллоидных растворов или суспензий на поверхности полимерных мембран или пористых подложек. Полупроницаемые свойства динамических мембран можно регулировать путем изменения технологических параметров процесса (рабочего давления, скорости течения раствора в межмембранном канале, температуры раствора), а так же наложением внешних физических полей, например электрического поля. Сточные воды биохимических производств являются характерным коллоидным раствором [1], содержащим взвешенные частицы, которые при электроультрафильтрации образуют динамическую мембрану.

В данной работе исследовалось влияние рабочего давления и плотности электрического тока на процесс формирования динамической мембраны, а так же влияние толщины динамической мембраны на удельный поток растворителя. Экспериментальные исследования проводились на мембранной разделительной установке [2], оснащенной разделительным электробаромембранным модулем плоскорамного типа с использованием ультрафильтрационных ацетатцеллюлозных (УАМ-150П) и полисульфонамидных (УПМ-К) мембран. По результатам экспериментов рассчитывался удельный поток растворителя через мембраны.

Удельный поток растворителя рассчитывался по формуле (1):

$$J = \frac{V}{F \cdot \tau}, \quad (1)$$

---

\* Работа выполнена при поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2012 – 2014 годы)».

где  $J$  – удельный поток растворителя, м/с;  $V$  – объем собранного пермеата, м<sup>3</sup>;  $F$  – рабочая площадь мембраны, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время проведения эксперимента, с.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1 и 2. При электроультрафильтрационном разделении водных растворов биохимических производств на ультрафильтрационных мембранах образуются динамические мембраны [5], состоящие из крахмала и образующий динамический слой геля в примембранной области, который частично адсорбируется на поверхности активного слоя мембраны. В стационарном состоянии динамическая мембрана существует на поверхности ультрафильтрационной мембраны при значениях сдвигового напряжения динамической мембраны большего сдвигового напряжения, определяемого значением тангенциального и нормального потоков ( $P = 2,2 \div 2,4$  МПа).

При наложении электрического поля возникает электроосмотический поток который для прианодной мембраны увеличивает удельный поток растворителя, а для прикатодной – уменьшает. Регулируя рабочее давление и плотность электрического тока возможно найти оптимальные соотношения рабочих параметров процесса и удельного потока растворителя через мембраны.

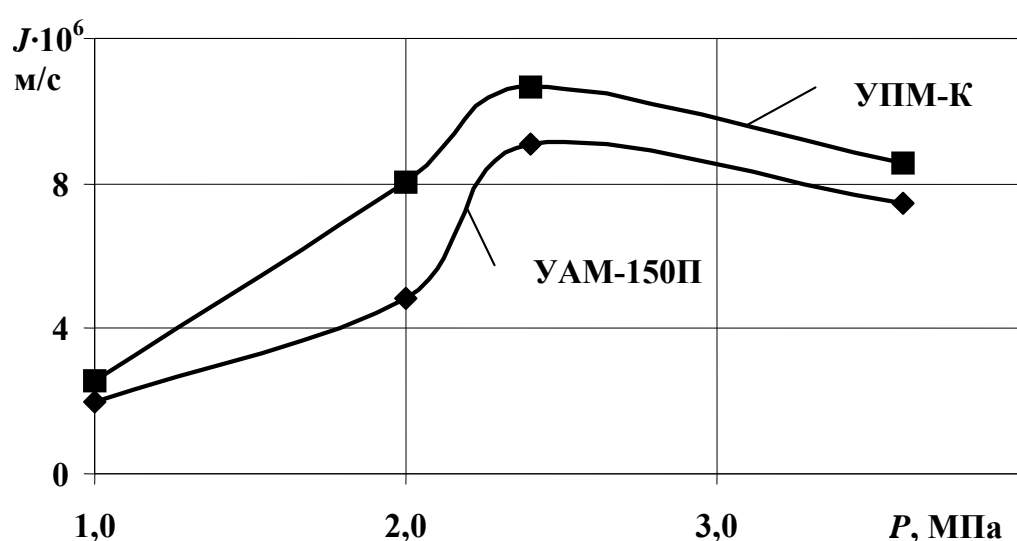


Рис. 1. Зависимость удельного потока растворителя через мембраны от рабочего давления. Концентрация исходного раствора  $C_0 = 4,27$  кг  $O_2$ /м<sup>3</sup>

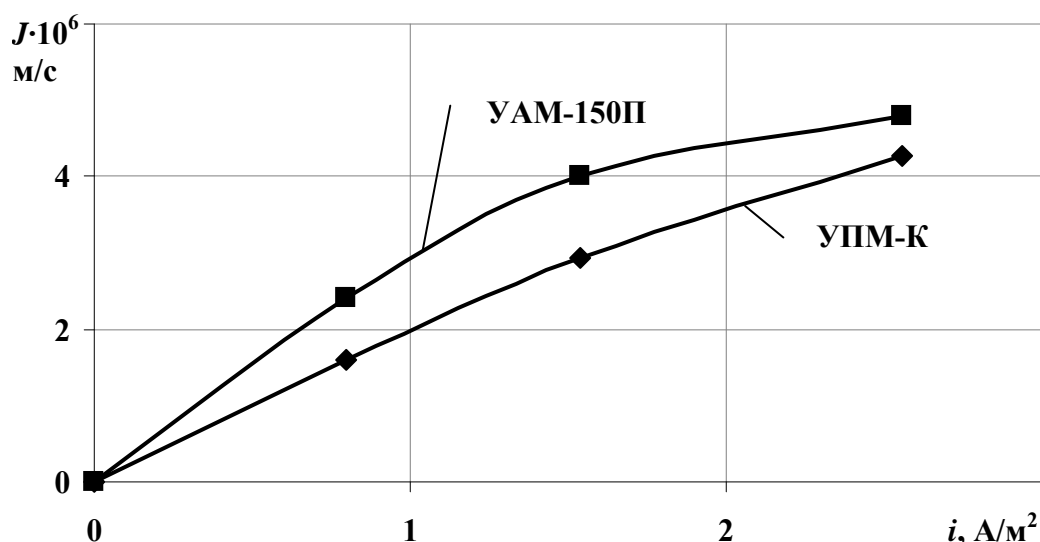


Рис. 2. Зависимость удельного потока растворителя через мембраны (УАМ-150П прианодная, УПМ-К прикатодная) от плотности тока. Концентрация исходного раствора.  $P = 2,6$  МПа;  $C_0 = 6,21$  кг  $O_2/m^3$

#### *Список использованной литературы*

1. Артюхов В.Г., Горбатенко В.Г., Гайворонский Я.С. Переработка мелассы на спирт и другие продукты по безотходной технологии. М.: Агропромиздат, 1985. 287 с.
2. Лазарев С.И., Горбачев А.С., Кормильцин Г.С., Абоносимов О.А. Кинетика электробаромембранного разделения водных сульфатсодержащих растворов // Воронеж: Конденсированные среды и межфазные границы. – 2008. – Т. 10, № 1. – С. 29-34.
3. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. М.: Химия, 1973. 376 с.
4. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.
5. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 378 с.

УДК 66.067

ББК Л111.62

## **Электрогиперфильтрационная очистка сточных вод от сульфата анилина**

Лазарев К.С., Ковалев С.В., Казаков В.Г.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Причинами нарушения экологического состояния океанов, рек, водоемов в естественных условиях является их загрязнение продуктами промышленных производств, содержащих как органические, так и неорганические вещества. Незначительное увеличение содержания растворенных органических и неорганических веществ в воде отрицательно влияет на развитие флоры и фауны. Для уменьшения вреда, причиняемого природе и живым организмам, обитающим в воде, требуется уменьшить объем сброса сточных вод промышленных производств с увеличенным содержанием органических и неорганических веществ [1-2].

Стоит отметить, что в промышленности имеются традиционные технологии и методы очистки сточных вод различного состава, а одним из перспективных методов очистки стоков и промышленных растворов являются мембранные методы. При удовлетворении заданных потребностей по качеству получаемого пермеата или ретентата для разработанных технологических схем очистки (сточных вод содержащих сульфата анилина), содержащих стадию электрогиперфильтрационного разделения, были разработаны и усовершенствованы существующие технологической схемы очистки [3-4].

Разработана технологическая схема очистки сточных вод, содержащих сульфатанилин, сульфатморфолин, и представлена на рис. 1.

Схема работает следующим образом: слабokonцентрированный раствор сульфата анилина из емкости 1 насосом 2 через подогреватель 3 поступает в промежуточную емкость 4, откуда он насосом 6 под давлением подается в электрогиперфильтрационный аппарат 5 [5-6]. К электродам аппарата 5 прикладывается постоянное электрическое напряжение, которое обеспечивает



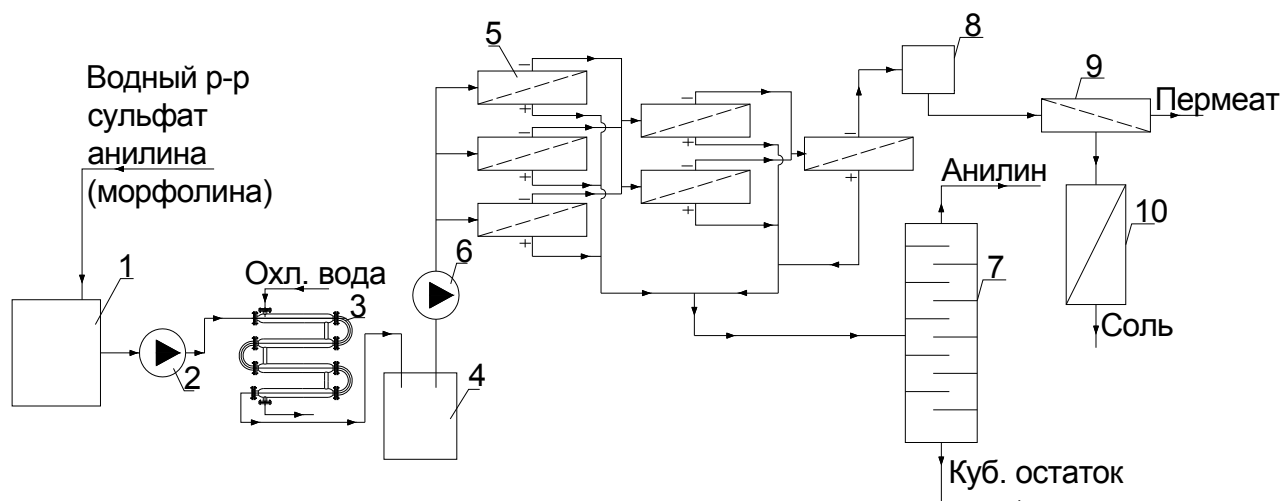


Рис. 1. Электрохимическое гиперфильтрационная очистка стоков от сульфата анилина.

- 1 – исходная емкость; 2, 6 – насос; 3 – змеевик; 4 - промежуточная емкость;  
 5 – электрогиперфильтрационный каскад; 7 – ректификационная колонна;  
 8 – блок нейтрализации; 9 – обратноосмотический аппарат; 10 – выпарной аппарат

плотность тока в камерах аппарата 30-40 А/м<sup>2</sup>. Раствор перемещается по всем камерам аппарата, очищается от анилина, что позволяет выделить из него оставшийся анилин. Ретентат, обогащенный сульфат группой, направляется в нейтрализатор 8, где подвергается нейтрализации, а затем в обратноосмотический аппарат 9 для концентрирования. Солевой раствор, концентрируясь в обратноосмотическом аппарате, затем направляется на дальнейшее концентрирование в выпарную установку 10 до сухого остатка. Пермеат электрогиперфильтрационного аппарата, обогащенный анилином, направляется в ректификационный аппарат 7, где концентрируется до высоких концентраций. Пермеат обратноосмотической установки используется для приготовления технических растворов или направляется в процесс производства химикатов-добавок.

Удельный поток растворителя через прикатодную и прианодную мембраны определяли по выражению следующего вида:

$$J = \frac{V_n}{F_m \tau} \quad (1)$$

Коэффициент задержания рассчитывался по формуле:

$$K = 1 - \frac{C_{пер}}{C_{исх}}, \quad (2)$$

где  $C_{пер}$  – концентрация растворенного вещества в пермеате, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{исх}$  – концентрация растворенного вещества в исходном растворе, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент извлечения рассчитывался по формуле[65]:

$$K_{из} = \frac{C_{пер}}{C_{исх}}. \quad (3)$$

### *Список использованной литературы*

1. Родионов, А.И. Технологические процессы экологической безопасности / А. И. Родионов, В. Н. Клушнн, В. Г. Систер. – Калуга: Н. Бочкарева 2000. – 800 с.
2. Тормоцев, В.Е. Очистка промышленных сточных вод / В.Е. Тормоцев, В.Н. Пухачев. – Киев.: Будивельник, 1986. – 120 с.
3. Лазарев, К.С. Влияние рН раствора на обратноосмотическую очистку водных анилиносодержащих растворов / К.С. Лазарев, И.В. Котельникова, А.В. Краснова // Техногенная и природная безопасность: материалы II Всероссийской научно-практической конференции – Саратов: Издательство “КУБиК”, 2013 – С. 99-101.
4. Лазарев, К.С. Влияние технологических и конструктивных параметров на прочность и жесткость фланца электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа / К.С. Лазарев, В.И. Кочетов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 6. – С. 8-12.
5. Пат. № 2447930 РФ. В01D 61/14, В01D 61/42. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. Бюл. № 11. 2012. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Кормильцин Г.С., Лазарев К.С., Ковалева Т.Д., Ворожейкин Ю.А., Эрлих А.В.
6. Пат. № 2411986 РФ. В01D61/46. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 5. 2011. Лазарев С.И., Ковалев С.В., Абоносимов О.А., Ансимова З.А., Лазарев К.С.

УДК 66.095.86

ББК М149

## **Разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии непрерывного синтеза азокрасителей**

Майстренко А.В., Майстренко Н.В., Вольщак И.Л.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Непрерывная технология получения азокрасителей позволяет получить пигмент с более высокими качественными показателями и при этом значительно снизить человеческие трудозатраты [1]. Однако, такой результат может быть достигнут, если при моделировании и последующей оптимизации технологических режимов будут учтены все особенности основных технологических стадий процесса синтеза азокрасителей, включая стадию подготовки исходного сырья. Рассмотрим непрерывную схему производства азокрасителей.

### *Описание непрерывной схемы процесса получения азокрасителей*

Основными стадиями непрерывной технологии синтеза азокрасителей являются стадия подготовки исходного сырья – солянокислой суспензии 3-нитро-4-аминотолуола, стадия диазотирования и стадия азосочетания (рис. 1).

**Подготовка суспензии амина.** Исходным сырьем для получения азокрасителей является 3-нитро-4-аминотолуол – вещество практически не растворимое в воде. Для приготовления суспензии амина расходную емкость заполняют водой, включают перемешивающее устройство и засыпают в емкость сухой амин. Для повышения степени растворения амина в эту смесь добавляют органическую кислоту – в нашем случае соляную ( $HCl$ ). Полученную смесь перемешивают в течение нескольких часов, после чего она поступает на стадию диазотирования.

**Стадия диазотирования.** Диазотирование – реакция получения диазосоединений действием азотистой кислоты (или её производных) на первичные амины в присутствии неорганической кислоты ( $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ) при температуре 0 – 5 °С.

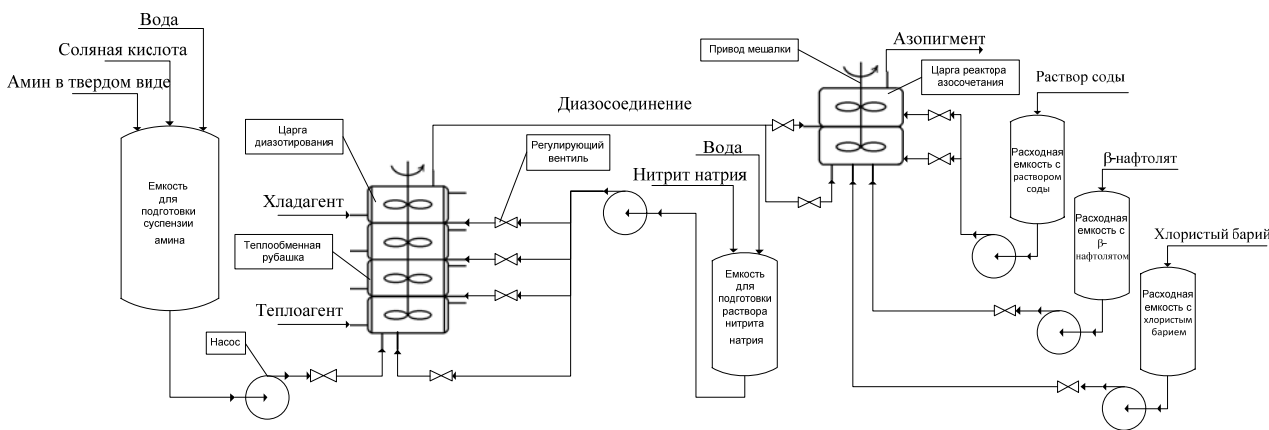
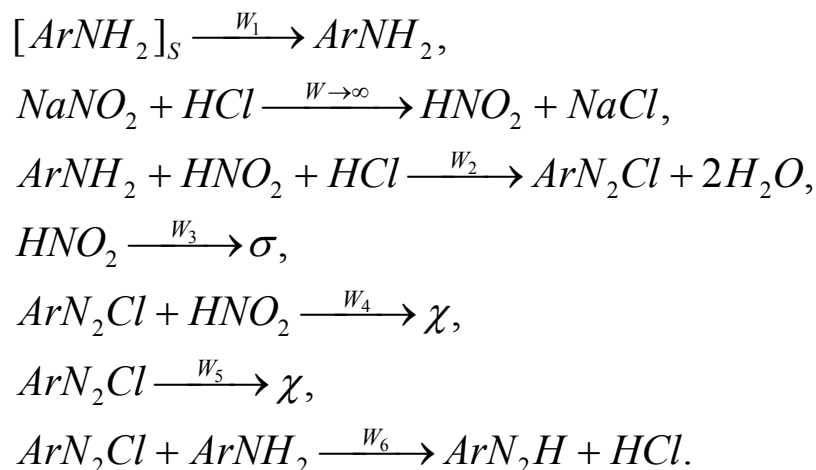


Рис. 1. Принципиальная схема установки получения азокрасителя алого

Осуществление процесса диазотирования в непрерывном режиме имеет ряд существенных особенностей. Во-первых, исходное сырье 3-нитро-4-аминотолуол подается в реактор в виде труднорастворимой суспензии, гранулометрический состав кристаллов которой имеет случайный характер. Во-вторых, диазотирующий агент реакции (азотистая кислота  $HNO_2$ ) и получаемое диазосоединение ( $ArN_2Cl$ ) являются неустойчивыми соединениями, что приводит к образованию побочных продуктов. При разложении диазосоединения образуются диазосмолы, которые присутствуя в красителе, даже в небольшом количестве значительно ухудшают его колористические свойства. Разложение азотистой кислоты с образованием нитрозных газов приводит, с одной стороны к уменьшению скорости растворения аминов, и как следствие к проскоку твердой фазы в реакторе, с другой стороны к вспениванию реакционной массы и загрязнению красителя.

В качестве реакторной системы для осуществления процесса диазотирования используется многоступенчатый реактор смешения, состоящий из четырех последовательно соединенных секций – царг. Исходное сырье (амин) подается в первую царгу, а на выходе последней царги отбирается диазосоединение. Помимо амина, в реактор так же подается нитрит натрия, который с целью уменьшения количества нитрозных газов распределяют по царгам реакторной системы.

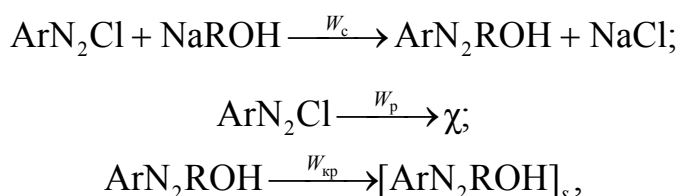
Механизм процесса диазотирования в присутствии соляной кислоты состоит из следующих химических реакций [2]:



Первая реакция – это реакция растворения твердой фазы амина в воде. Во второй реакции происходит образование диазотирующего агента (азотистой кислоты  $HNO_2$ ). Эта реакция происходит мгновенно, что приводит к значительному избытку азотистой кислоты, при разложении которой образуются нитрозные газы (реакция 4). На количество нитрозных газов введены технологические ограничения и поэтому для их уменьшения в реакторной системе диазотирования предусмотрена распределенная подача нитрита натрия  $NaNO_2$ .

Третья реакция – это собственно реакция получения диазосоединения. Она открыта в 1858 году Петером Гриссом. На самом деле в реакции используют не стехиометрическое количество  $HCl$ , а ее трёхкратный избыток (на один моль амина – три моля кислоты: один моль кислоты идет на образование нитрозоацидий катиона, один моль – на образование диазотирующей частицы, третий моль  $HCl$  – на получение хлористой соли диазония  $R - N \equiv HCl$ ). Реакции с четвертой по седьмую являются побочными реакциями.

**Стадия азосочетания** является заключительной стадией синтеза азопигментов. Механизм процесса азосочетания можно представить в виде следующей схемы химических реакций [2]:



где  $Ar$ ,  $R$  – радикалы, содержащие бензольные кольца;  $W_c$ ,  $W_p$ ,  $W_{кр}$  – скорости реакций азосочетания, разложения диазосоединения и кристаллизации пигмента соответственно.

В качестве реактора азосочетания используется конструкция многосекционного емкостного реактора непрерывного действия с перемешивающим устройством. Исходным сырьем для процесса азосочетания являются диазосоединение (диазосоставляющая) и  $\beta$ -нафтол (азосоставляющая). Подача диазосоединения в реактор распределяется между секциями реактора в заданном соотношении. Отдельным потоком на вход в реакторную систему азосочетания подают  $\beta$ -нафтол в избытке, не превышающем  $\sim 5\%$  количества подаваемого в модуль диазосоединения. На выходе из реакторной системы получают суспензию кристаллов азопигмента, характеризуемую гранулометрическим составом  $\psi(r)$ . Требуемый уровень кислотности реакционной среды сочетания обеспечивается добавлением в реактор щелочного агента.

#### *Моделирование процесса диазотирования*

Построим математическую модель процесса диазотирования. На рис. 2 изображена схема потоков в отдельных секциях реактора диазотирования.

При построении математической модели процесса диазотирования примем ряд допущений:

1) Реакция образования диазотирующего агента (азотистой кислоты  $HNO_2$ ) протекает с бесконечной скоростью, т.к. она на несколько порядков выше скорости реакции диазотирования.

2) Реакция диазотирования происходит в растворе.

3) Твердая фаза амина представляет собой совокупность частиц с характеристическим диаметром  $2r$  и гранулометрическим составом.

4) Каждая царга реактора диазотирования является реактором идеального смешения.

5) Математическая модель представляет собой модель статики.

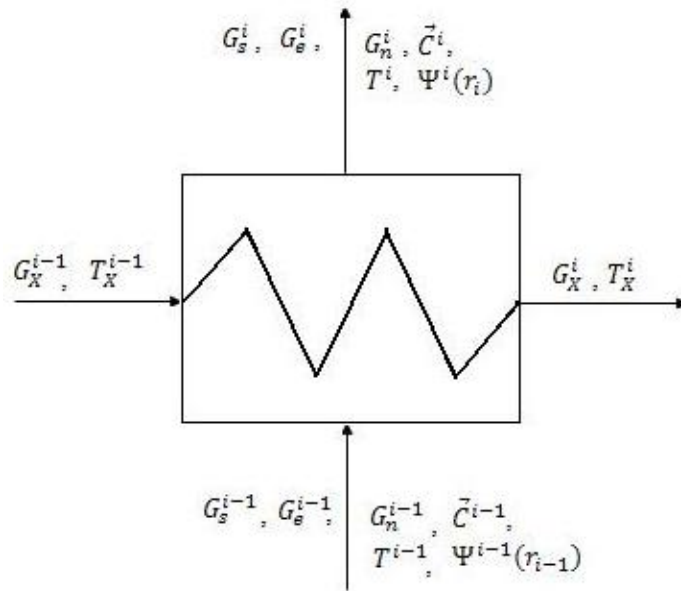


Рис. 2. Схема потоков в  $i$ -ой царге реактора диазотирования

С учетом сделанных допущений уравнения материального и теплового баланса статики процесса диазотирования могут быть представлены в виде:

*Материальный баланс:*

$$G_e^i = G_e^{i-1} + \frac{\mu^i G_s^{i-1}}{\rho_a} + G_n^{i-1} \quad (1)$$

$$G_s^i = G_s^{i-1} (1 - \mu^i) \quad (2)$$

$$C_a^i G_e^i = C_a^{i-1} G_e^{i-1} + \frac{\mu^i G_s^{i-1}}{M_a} - (W_2 + W_6) V^i \quad (3)$$

$$C_{ak}^i G_e^i = C_{ak}^{i-1} G_e^{i-1} + C_n^{i-1} G_n^{i-1} - (W_2 + W_3 + W_4) V^i \quad (4)$$

$$C_{ck}^i G_e^i = C_{ck}^{i-1} G_e^{i-1} + C_n^{i-1} G_n^{i-1} - (W_2 - W_6) V^i \quad (5)$$

$$C_d^i G_e^i = C_d^{i-1} G_e^{i-1} + (W_2 - W_4 - W_5 - W_6) V^i \quad (6)$$

$$C_x^i G_e^i = C_x^{i-1} G_e^{i-1} + (W_4 + W_5 + W_6) V^i \quad (7)$$

*Тепловой баланс:*

$$(C_v^i G_e^{i-1} + C_v^s G_s^{i-1}) T^{i-1} + C_v^n G_n^{i-1} T_n^{i-1} + \frac{\mu^i G_s^{i-1}}{M_a} h_1 + \sum_{j=2}^5 W_j h_j V^i + KF^i (\bar{T}_x^i - T^i) = \quad (8)$$

$$= (C_v^i G_e^i + C_v^s G_s^i) T^i$$

$$C_v^x G_x^i (T_x^{i-1} - T^i) = KF^i (\bar{T}_x^i - T^i) \quad (9)$$

$$\bar{T}_x^i = \frac{T_x^{i-1} + T_x^i}{2} \quad (10)$$

Здесь  $G_e, G_s$  – расходы жидкой и твердой фазы;  $C_a, C_{ak}, C_{ck}, C_n, C_d, C_x$  – концентрации амина, азотистой кислоты, соляной кислоты, нитрита натрия, диазосоединения и диазосмол, соответственно;  $T_x, T$  – температура потока хладогента и суспензии;  $\mu^i$  – доля массы растворившегося амина;  $M_a$  – молярная масса амина;  $V^i$  – объем  $i$ -ой царги;  $C_v$  – теплоемкость;  $h_j$  – энтальпия  $j$ -й реакции;  $K$  – коэффициент теплопередачи;  $F$  – поверхность теплообмена;  $\rho_a$  – плотность амина.

Константы скоростей реакций  $W_2, W_3, W_4, W_5, W_6$  определены экспериментально, значения констант взяты из работы [3, 4].

Скорость процесса растворения можно определить по формуле:

$$\frac{dr_i}{dt} = W_1 = -Ar^{-\alpha} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right)(C_a^* - C_a) / \rho_a, \quad (11)$$

где  $\rho_a$  – плотность амина;  $C_a^*$  – равновесная концентрация амина в суспензии;  $\alpha = 0,398$ ;  $A = 4,406 \cdot 10^{12}$ .

Особенностью данной математической модели является учёт растворившегося вещества, что выражает переменная  $\mu^i$  – доля массы растворившегося амина. Величину этой переменной можно определить по формуле:

$$\mu^i = \frac{\int_0^\infty \Psi^i(r_{i-1}) \int_0^\infty (r_{i-1}^3 - r_i^3) P_i(\tau) d\tau dr_{i-1}}{\int_0^\infty r_{i-1}^3 \Psi^i(r_{i-1}) dr_{i-1}} \quad (12)$$

На протекание процесса диазотирования большое влияние оказывает начальный гранулометрический состав кристаллов амина. Будем полагать, что начальный гранулометрический состав подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения:

$$\Psi(r_0) = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\sigma(\ln r_0 - \bar{r}_0) - r_0 - \frac{1}{2\sigma}\right\}, \text{ где } \bar{r}_0 = 1,24; \sigma = 3,38.$$

Тогда пересчёт гранулометрического состава на выходе из царги может быть произведен по формулам:



$$\varphi(r_i) = \frac{1}{\beta} \int_0^\infty \Psi^{i-1}(r_{i-1}) P \left( \frac{r_{i-1}^{1+\alpha} - r_i^{1+\alpha}}{\beta(1+\alpha)} \right) r_i^\alpha dr_{i-1}, \text{ где } \beta = A \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right) (C_a^* - C_a) / \rho_a,$$

$$\Psi^i(r_i) = \frac{\varphi(r_i)}{\int_0^\infty \varphi(r_i) dr_i}. \quad (13)$$

Таким образом, система нелинейных алгебраических уравнений (1) – (13) может быть использована в качестве математической модели статики процесса диазотирования в многосекционной реакторной системе смешения.

### Моделирование процесса азосочетания

Построим математическую модель процесса азосочетания. На рис. 3 изображены схемы потоков в отдельной секции реактора азосочетания объемом  $V$ . При построении математической модели процесса азосочетания примем ряд допущений:

- 1) собственно реакция азосочетания протекает в растворе;
- 2) влияние изменения температуры вследствие экзотермичности реакции на протекание химических процессов внутри реакторной системы (модуля) считается несущественным;

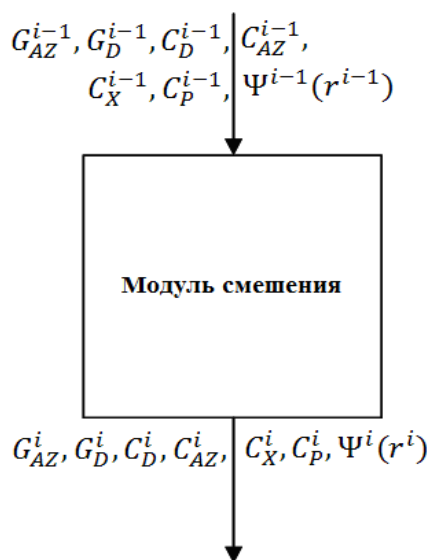


Рис. 3. Схема потоков в  $i$ -й царге реактора азосочетания:

$C$  – концентрация;  $G$  – расход; индексы: AZ – азосоставляющая, D – диазосоединение, X – диазосмолы, P – азоксипигмент

2) расчет гранулометрического распределения кристаллов азокрасителя состоит в вычислении дискретных значений числа кристаллов, принадлежащих тому или иному диапазону размеров из всего возможного интервала изменения размеров кристаллов, определяемого эмпирическим путем;

3) математическая модель представляет собой модель статики.

Составим математическую модель статики процесса азосочетания в модуле реактора идеального смешения. Уравнения покомпонентного материального баланса имеют следующий вид:

$$- \text{ по азосоставляющей} \quad C_{AZ}^{(0)} G_{AZ}^{(0)} = k_c C_{AZ} C_D V + C_{AZ} G; \quad (14)$$

$$- \text{ по диазосоставляющей} \quad C_D^{(0)} G_D^{(0)} = k_c C_{AZ} C_D V + k_p C_D^{Np} V + C_D G; \quad (15)$$

$$- \text{ по диазосмолам} \quad C_X^{(0)} G_D^{(0)} + k_p C_D^{Np} V = C_X G; \quad (16)$$

$$- \text{ по пигменту в жидкой фазе} \quad C_P^{(0)} G^{(0)} + k_c C_{AZ} C_D V = W_{кр} V + C_P G. \quad (17)$$

Добавим к полученным уравнениям уравнения материального баланса по пигменту в твердой фазе. Для этого разобьем область изменения линейного размера кристаллов на  $N$  интервалов и обозначим через  $n_j$  число частиц пигмента в единице объема реакционной массы с размером  $r$  таким, что  $r_{j-1} < r < r_j$  ( $j = \overline{1, N}$ ). Уравнение материального баланса для кристаллов наименьшего размера в этом случае примет вид

$$n_1^{(0)} G^{(0)} + IV = n_1 G + \frac{n_1}{r_1 - r_0} \eta(r_1) V, \quad (18)$$

где  $r_0$  – размер зародыша кристалла,  $\eta(\bullet)$  – скорость роста кристаллов,  $I$  – скорость зародышеобразования [5].

Для кристаллов произвольной размерной фракции  $r_i$  уравнение материального баланса запишется в виде

$$n_j^{(0)} G^{(0)} + \frac{n_{j-1}}{r_{j-1} - r_{j-2}} \eta(r_{j-1}) V = n_j G + \frac{n_j}{r_j - r_{j-1}} \eta(r_j) V, \quad j = 2, \dots, N. \quad (19)$$

С учетом уравнений материального баланса для кристаллов пигмента (18) – (19) можно записать уравнение для расчета скорости кристаллизации пигмента:

$$W_{\text{кр}} = \frac{G}{V} \sum_{j=1}^N \frac{\bar{\gamma}_j^3 \rho_p}{m_p} n_j, \quad (20)$$

где  $\gamma$  – коэффициент формы кристалла;  $\rho_p$ ,  $m_p$  – плотность и мольная масса азопигмента;  $\bar{r}$  – средний размер.

Дополним уравнения материального баланса регрессионными уравнениями оценки физико-колористических показателей азопигмента [2]:

$$Y^{(i)} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} d_{\text{мс}} + b_2^{(i)} \sigma + b_3^{(i)} d_{\text{мс}} \sigma, \quad (21)$$

где  $Y^{(i)}$  – качественный показатель пигмента;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты регрессионного уравнения;  $d_{\text{мс}}$  – медианный размер плотности распределения поверхности кристаллов пигмента, мкм;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение от медианного размера, мкм.

Таким образом, система уравнений (14) – (21), дополненная уравнениями для расчета констант скорости сочетания, скорости разложения, скорости образования и роста кристаллов, представляет собой математическую модель статистики процесса азосочетания в модульном реакторе идеального смешения.

В целом объединенная система уравнений (1) – (21) описывает процесс синтеза азопигментов, начиная с загрузки исходных реагентов и заканчивая расчетом физико-колористических показателей получаемого пигмента. Проведенные при помощи составленных математических моделей исследования процессов диазотирования и азосочетания позволили выявить основные закономерности этих процессов и наиболее важные с точки зрения оптимизации технологические параметры [6, 7].

Решение задачи оптимизации для технологической схемы, изображенной на рис. 1 с общей производительностью 1000 т/год по сухому пигменту, в которой в качестве критерия оптимизации был выбран максимальный выход целевого продукта (азопигмента), а система уравнений (1) – (21) использовалась в качестве уравнений связи, дало следующие результаты: выход азопигмента – 99,12 %; количество диазосмол в конечном продукте – 0,86 %, количество нитрозных газов на стадии диазотирования – 0,57 %; соответствие в среднем на 94 % физико-колористических показателей полученного азопигмента типовому образцу. Такие результаты получаются при поддержании температуры реакци-

онной смеси в аппарате диазотирования при помощи двух контуров теплоносителя (первый контур – первые две секции реактора, второй контур – оставшиеся секции) на уровне:  $(309 - 296) ^\circ\text{K}$ , а также при поддержании рН среды сочетания в первой секции реактора азосочетания 7,28 ед. рН и во второй секции – 7,41 ед. рН. Как видно, полученное решение обеспечивает приемлемый для реального производства выход и качество целевого продукта, что позволяет рекомендовать его для промышленной реализации.

#### *Список использованной литературы*

1. Дворецкий, С.И. Новое поколение высокопроизводительных экотехнологий в анилинокрасочной промышленности / С.И. Дворецкий, Н.П. Утробин, А.В. Майстренко // Экология и промышленность России. – 1997. – С. 13 – 17.
2. Бодров, В.И. Разработка и внедрение гибкой автоматизированной установки непрерывной технологии получения азопигментов / В.И. Бодров [и др.] // Хим. пром-сть. – 1986. – № 1. – С. 50–54.
3. Баранов, Б.А. Макрокинетика процесса растворения 3-нитро-4-аминтолуола/ Б.А. Баранов, В.И. Бодров, С.И. Дворецкий // Кинетика и катализ. – 1984. – Т. 25, № 6. – С. 1457-1461.
4. Бодров, В.И. Численные методы и программирование / В.И. Бодров, С.И. Дворецкий, В.Ф. Калинин. – М.: Издательство МИХМ, 1986. – 92 с.
5. Дворецкий, С.И. Исследование кинетики кристаллизации азопигментов в процессе их синтеза в аппарате смешения непрерывного действия / С.И. Дворецкий, А.В. Майстренко // ИВУЗ. Химия и хим. технология. – 1991. – Т. 34, № 12. – С. 115–119.
6. Вольщак, И.Л. Моделирование процесса диазотирования при непрерывном синтезе азопигментов / И.Л. Вольщак, А.В. Майстренко, Н.В. Майстренко // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11 (ч. 6). – С. 1445–1450.
7. Вольщак, И.Л. Моделирование процесса азосочетания при непрерывном синтезе азопигментов / И.Л. Вольщак, А.В. Майстренко, Н.В. Майстренко // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – №. 4 (42). – С. 50–55.

УДК 519.6

ББК 22.161

**Оптимальное управление по квадратичному критерию  
процессами энерго- и ресурсосбережения**

Малонга О.Ш.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Разработка новых производственных технологий и эффективных конструкций промышленного оборудования, резко возрастающие функциональные возможности компьютерной техники открывают реальные возможности для разработки и внедрения конкурентоспособных высокоприбыльных производств, отвечающих современным требованиям энерго- и ресурсосбережения, а также экологической и аварийной безопасности.

Сложность решения такого рода задач обусловлена тем, что оборудование, входящее в состав таких производств, работает в периодических, непрерывных и квазинепрерывных режимах, значительно усложняющих их математическое описание и моделирование. Кроме того оборудование работает при различных во времени степенях загрузки, а обрабатываемые на одном и том же оборудовании продукты могут иметь различные теплофизические характеристики вследствие изменения температур, давлений, скоростей, а также при фазовых переходах.

Таким образом, актуальным является необходимость построения автоматизированных систем оптимального управления указанными видами производств. Существующие методы синтеза оптимальных замкнутых нелинейных систем управления не дают достаточного роста эффективности промышленного производства из-за отсутствия механизма учета особенностей динамического поведения (математического описания) участвующих в нем объектов. Во многих практических ситуациях заданный режим функционирования системы общего вида может быть устроен довольно сложно и задача оптимального синтеза не может быть сведена к задаче о линейном регуляторе состояния. Модели реаль-

ных процессов сложны, и говорить о применении принципа максимума для решения задачи оптимального управления не приходится.

Предлагается построение оптимального управления одним классом нелинейных систем по квадратичному критерию. Для получения искомого решения используется процедура, являющаяся модификацией методов последовательных приближений и заключающаяся в создании некоторой специальным образом генерируемой последовательности вспомогательных линейно-квадратичных задач слежения. При этом дается оценка нижней границы временного интервала работоспособности метода.

#### *Список использованной литературы*

1. Лобанов, С.М. Построение оптимального управления одним классом нелинейных систем по квадратичному критерию / С.М. Лобанов, В.В. Заылкин, О.Ш. Малонга // Вестник ВГТА. – 2012. – № 3. – С. 54-58.

УДК 577.115.083: 582.26

ББК 28.072

## **Исследование и анализ липидной фракции микроводоросли хлорелла**

Мещерякова Ю.В.

*Государственное научное учреждение Всероссийский  
научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов Россельхозакадемии (Россия, г. Тамбов)*

Одним из основных компонентов для получения биодизельного топлива являются растительные масла. Наиболее перспективным источником растительных масел служат сине-зеленые микроводоросли, например хлорелла.

Ранее рассмотрены оптимальные условия культивирования микроводоросли *chlorella vulgaris* ИФР № С-111 [1]: температура 31-35 °С, оптимально культивировать хлореллу при солнечном освещении в летний период, в остальное время желательно культивировать в помещении с использованием искусственного освещения в трубчатом фотобиореакторе, при интенсивности освещения 20 000 – 25 000, 30 000 люкс. С увеличением плотности клеток необходимо увеличивать мощность подачи углекислого газа. Также на ускоренный прирост оказывает дополнительное введение азотных удобрений.

Полученная суспензия микроводоросли темно-зеленого цвета, объемом 500 мл, фильтровалась под вакуумом в воронке Бюхнера и колбе Бунзена несколько раз. Первый фильтрат имел светло-зеленый цвет, следующие практически были бесцветными. Биомассу водорослей ( $m = 2,2$  г) высушивали до остаточной влажности в сушильном шкафу ( $m = 1,77$  г).

Для определения липидов использовали стандартный метод экстракции петролейным эфиром (или гексаном) с последующим удалением растворителя и высушиванием липидной фракции [2]. Экстракция липидов осуществлялась в аппарате Сокслета, растворителем служил петролейный эфир.

Выбор экстрагента был связан, в первую очередь с тем, что нейтральные липиды хорошо растворимы в неполярных растворителях.

Петролейный эфир как экстрагент липидов имеет следующие преимущества: высокая селективность, низкая себестоимость, термостабильность, что очень важно на стадии регенерации растворителя, невысокая токсичность по сравнению с другими экстрагентами, такими как ацетон, хлороформ, диэтиловый эфир. Одним из эффективных экстрагентов липидной фракции считается этиловый спирт, однако его использование экономически нецелесообразно, так как полученные масла идут на синтез биодизельного топлива.

Объем экстрагента составил 200 мл. Экстракция в аппарате Сокслета осуществлялась в течение 3,5 часов при температуре 50 °С. Полученный экстракт имел изумрудно-зеленый цвет. Экстрагент выпаривался, а оставшаяся липидная фракция анализировалась методами тонкослойной хроматографией, газожидкостной хроматографией, ИК-спектрофотометрией.

Содержание масла, выраженное в виде массовой доли, в процентах, продукта, вычисляется как отношение массы экстракта после сушки к массе пробы для анализа. Таким образом, содержание масла (531 мг/1770мг) около 30 %.

Для идентификации масляного экстракта использовали метод восходящей тонкослойной хроматографии в герметичной хроматографической камере. В качестве пластин был взят «Silufol», элюентом служил хлороформ. После достижения растворителем линии фронта пластинку вынимали и высушивали на воздухе. Полученную хроматограмму рассматривали в видимом и ультрафиолетовом свете. На хроматограмме четко видны четыре пятна, имеющие правильную форму и размеры, отсутствует перекрытие пятен. После обработки раствором бромкрезолового зеленого пятна окрашиваются в голубой цвет на желтом фоне [3]. Это качественная реакция на жирные кислоты. Определено значение величины  $R_f = 0,15; 0,17; 0,18; 0,22$ .

Проведены хроматографические исследования с помощью газового хроматографа, которые позволили установить следующее. Основной составной частью исходного липидной фракции являются жирные кислоты, которые в зависимости от их относительного содержания можно разделить на главные кислоты (обычно две-три), каждая из которых составляет от 10 до 85% от общего со-



держания кислот в масле, и второстепенные кислоты, содержащиеся в масле в количестве от десятых долей процента до 10 %.

В состав неспецифических ненасыщенных жирных кислот первой группы входят линолевая или линоленовая кислоты (углеводородная цепь которых содержит по 18 атомов углерода).

Анализ результатов исследований показал (рис. 1) большое содержание в масле микроводоросли миристиновой (50,9 %), пальмитиновой (18,8 %) и линоленовой (11,4 %) кислоты, несколько меньше линолевой (7,9 %), маргариновой.

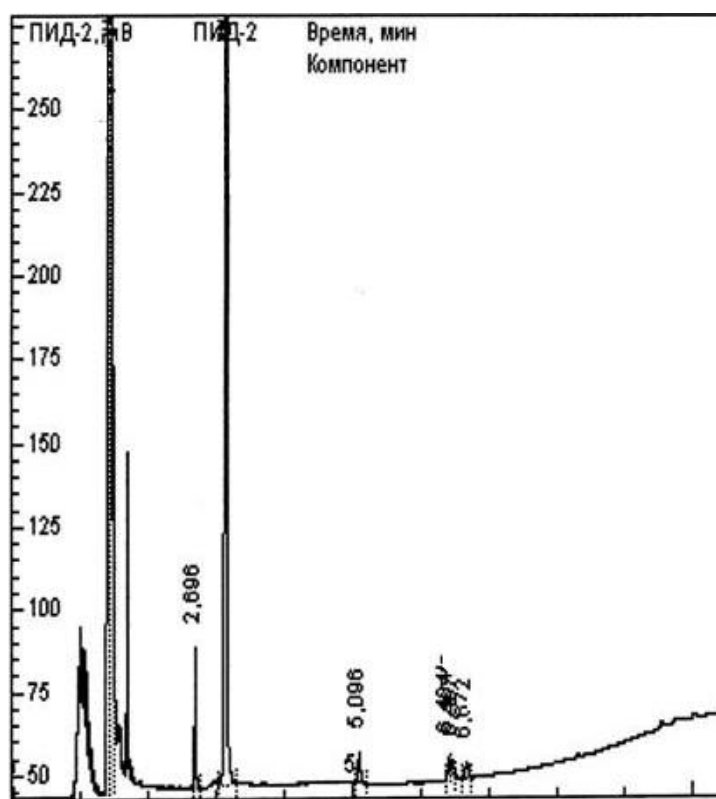


Рис. 1. Хроматограмма масла микроводоросли

Также для сравнения проведены хроматографические исследования подсолнечного масла. Согласно анализу хроматографических данных исследуемое подсолнечное масло содержит олеиновую кислоту (49,47 %). Далее по количественному составу идут линоленовая 18,14 %, линолевая 9,38 % и пальмитиновая 8,34 % кислоты. Примерно на одном уровне находятся миристиновая (4,8 %) и стеариновая (4,7 %) кислоты.

Анализ полученных хроматограмм показал некоторое сходство жирнокислотного качественного состава масел и отличие их количественного состава, что обусловлено различием их физико-химических характеристик (плотность, вязкость и т.п.).

После установления качественного и количественного состава компонентов жирных кислот в исследуемых растительных маслах, идентифицирован их молекулярный состав (определены функциональные группы) с помощью метода инфракрасной спектроскопии.

По спектрограмме проведен общий анализ характеристических полос спектров исследуемых соединений. Триглицериды представляют собой сложные эфиры трехатомного спирта глицерина и высших алифатических кислот.

Для сложных эфиров прежде всего характерны полосы валентных колебаний карбонильной группы (связи C=O). К ним следует отнести сильную полосу при  $1744\text{ см}^{-1}$ . Для эфиров высших карбоновых кислот характерны также валентные колебания связи -C-O в области  $1200\text{-}1170\text{ см}^{-1}$ . Этим колебаниям в спектре масел, вероятно, соответствуют полосы при  $1165\text{ см}^{-1}$  или  $1238\text{ см}^{-1}$ .

Таким образом, получена липидная фракция (водорослевое масло) методом экстракции петролейным эфиром (или гексаном) с последующим удалением растворителя и высушиванием липидной фракции. Установлено наличие в масле микроводоросли карбонильной группы, обнаружены кислоты (миристиновая, пальмитиновая, линоленовая, линолевая).

Кислота пальмитиновая является основной кислотой среди насыщенных жирных кислот. Кислоты линолевая и линоленовая, так называемые  $\omega$ -6 кислоты, обнаруживаются во всех классах нейтральных липидов, что дает основание считать липиды микроводоросли хлореллы весьма перспективными для дальнейших исследований.

Однако, % содержание липидов недостаточно для синтеза биодизельного топлива. Дальнейшая задача заключается в увеличении содержания липидных компонентов (в т.ч. жирных карбоновых кислот) микроводоросли за счет изменения условий культивирования и разрушения клеточной оболочки.

### *Список использованной литературы*

1. Мещерякова, Ю.В. Культивирование микроводоросли хлорелла с целью получения биотоплива / Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов // Вопросы современной науки и практики Университет имени В.И.Вернадского специальный выпуск (43). – 2012. – С. 33-36.
2. ГОСТ Р 53153-2008 (ИСО 734-1:2006). Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира. Часть 1. Метод экстрагирования гексаном (или петролейным эфиром).
3. Кейтс, М. Техника липидологии / М. Кейтс. – М., 1975. – 324 с.

УДК 66.081.6

ББК Л113.91я73

**Локальные установки водоподготовки – опыт разработки,  
внедрения и эксплуатации**

Мигалатий Е.В., Насчетникова О.Б., Браяловский Г.Б., Дуев С.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России*

*Б.Н. Ельцина (Россия, г. Екатеринбург)*

Начиная с 2009 года в Свердловской области действует областная программа «Чистая вода» на период до 2020 года (Постановление Правительства Свердловской области от 13.05.2009 № 526-ПП с изменениями 2012 г.). Это является положительным фактором в деле оздоровления окружающей среды и населения области. В ней дан глубокий анализ современной ситуации и определен программно-целевой метод решения проблемы на долгосрочную перспективу, что вселяет надежду на возможность планомерного, поэтапного, инновационного решения проблемы чистой воды, которая как для России, так и Свердловской области весьма актуальна.

По данным программы только 29 % населения региона имеют доступ к чистой питьевой воде. Более 30 % городов и населенных пунктов области получают воду по графику. Из-за недостаточных темпов модернизации и развития ЖКХ во многих муниципальных образованиях Свердловской области системы водоснабжения продолжают деградировать. Резкое нарастание уровня аварийности в данных системах, а также износ основных фондов свидетельствуют о том, что критическая точка уже пройдена. Более 35 % мощностей водопроводов требуют срочной модернизации или замены. Для нормализации ситуации ежегодно в области необходимо менять или ремонтировать 8 – 10 % сетей.

Основными загрязняющими веществами питьевой воды, подаваемой населению области, являются хлорорганические соединения (хлороформ, 4-хлористый углерод), железо, марганец, остаточный алюминий, что свидетельствует о мутагенной и канцерогенной активности воды, способствует развитию

аллергических реакций, болезней крови и других систем человека. По оценкам экспертов некачественная питьевая вода является причиной более 80 % болезней и её потребление сокращает человеческую жизнь в среднем на 5-10 лет.

Не случайно стратегической целью программы является обеспечение населения Свердловской области питьевой водой, соответствующей установленным санитарно-гигиеническим требованиям в количестве, достаточном, для удовлетворения жизненных потребностей и сохранения здоровья граждан. Для реализации цели предполагается выполнить следующие основные виды работ:

1) реконструкция, расширение существующих и строительство новых объектов, включая выполнение проектно-изыскательских, строительномонтажных работ и изготовление технологического оборудования в соответствии с современными стандартами качества;

2) организация надлежащей эксплуатации существующих, реконструируемых и вновь создаваемых объектов в целях достижения количественных и качественных эксплуатационных показателей не ниже проектных;

3) создание необходимых условий для развития инфраструктуры, обеспечивающей устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса Свердловской области, в том числе создание условий для специализированных исследовательских, проектных, строительномонтажных предприятий, заводов по производству современных реагентов для очистки воды, специального технологического оборудования, лабораторий по анализу качества вод, центров обучения и подготовки специалистов.

Такой комплексный подход требует финансирования в 150 миллиардов рублей. Из консолидированного бюджета области в лучшем случае будет выделено не более 30 миллиардов. Предполагается привлечь кредитные средства банков – с учетом уплаты процентов общий объем затрат увеличится до 203,7 миллиарда. Кроме того, региональные власти подали заявку на участие в федеральной программе "Чистая вода" и рассчитывают получить часть средств из госказны. Затраты на очистку воды уже сегодня включены в инвестиционную составляющую в тарифы за услуги ЖКХ. При этом в первые годы реализа-

ции программы "Чистая вода" ежегодный рост тарифов не должен превышать 25 %, а начиная с 2013 г. – 12,5 %. А это значит, что львиная доля затрат возлагается на потребителя.

Таким образом, долгосрочность мероприятий, дефицит бюджетных средств, ужесточение требований, предъявляемых к качеству питьевой воды в связи с российско-европейской интеграцией, заставляют сделать вывод, что крупномасштабные мероприятия необходимы, но далеко не достаточны для обеспечения конкретного человека доброкачественной питьевой водой в режиме «здесь и сейчас».

Как показывает анализ качества питьевой воды, на всех этапах её производства и транспортировки до потребителя, главным лимитирующим фактором в решении вопроса снабжения населения питьевой водой стандартного качества является доставка очищенной воды по водопроводным сетям до потребителя. Даже глубоко очищенная вода, получаемая на Западной фильтровальной станции г. Екатеринбурга, проходя по многокилометровой, с годами изношенной водопроводной сети, неизбежно приобретает вторичное загрязнение продуктами коррозии труб, металлоорганическими комплексами, неприятные органолептические свойства и не редко (в случае аварий) – бактериальные загрязнения. Только в Екатеринбурге необходимо заменить не менее 350 км труб из 1400 км имеющихся.

Альтернативные разведанные источники подземных вод зачастую содержат сверхнормативное загрязнение соединениями железа, марганца, кальция, кремния на фоне высокого солесодержания, что требует их физико-химической очистки с обязательным обеззараживанием и транспортировкой по протяженным сетям, так как они удалены на 5-30 км от городской черты.

Таким образом, в современных условиях потребитель является заложником централизованных систем водоснабжения. Для решения этой проблемы необходимо до минимума сократить расстояние от объекта, производящего чистую воду, до потребителя, т. е. приблизить производство чистой воды к жилым массивам.

Анализ показал, что наиболее экономичный, безопасный в санитарном отношении и надежный по техническому исполнению вариант снабжения населения питьевой водой стандартного качества в требуемом количестве (2-5 л/чел. в сутки) обеспечивают локальные установки доочистки водопроводной воды. Особенно ценно, что эти системы, установленные в жилых домах, не требуют от потребителя дополнительных затрат времени, сил и средств, а делают возможным водопотребление в режиме «здесь и сейчас». Это достигается путем совмещения локальной установки с «третьим стояком», что обеспечивает поквартирное распределение питьевой воды.

Преимущества схемы снабжения населения питьевой водой нормативного качества с применением «третьего стояка»:

- максимальное приближение источника питьевой воды (установки) к потребителю, что обеспечивает санитарную и техническую надежность снабжения населения питьевой водой;

- возможность организации планового лабораторного контроля качества питьевой воды;

- возможность регулярного информирования потребителя о качестве воды, что исключено при покупке потребителем бутилированных вод, особенно у недобросовестных производителей;

- снижение в несколько раз стоимости питьевой воды по сравнению с бутилированной водой;

- возможность проведения оперативного сервисного обслуживания установки, что обеспечивает практически неограниченный срок её эксплуатации.

Такие подходы к решению проблемы отработаны и запатентованы сотрудниками кафедры Водного хозяйства и технологии воды Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина и малого инновационного предприятия ООО «БМБ», созданного при кафедре.

Нами разработан целый ряд технологических схем в зависимости от качества исходной воды на основе применения установок доочистки водопроводной воды «Акварос» мощностью от 5 л/ч до 5000 л/час. В результате очистки из во-

ды извлекаются хлорорганические соединения, взвеси, продукты коррозии труб, металло-органические комплексы и неорганические соединения железа, алюминия. Кроме того, комплекс безреагентных физико-химических методов очистки на основе мембрано-сорбционных процессов, применяемых в установке, позволяет улучшить цвет, запах, привкус воды, уничтожить болезнетворные микробы, но при этом сохранить биологически ценные элементы.

В результате 20-летнего опыта исследований и внедрений разработаны следующие схемы использования локальных установок «Акварос», которые полностью адаптированы к доочистке водопроводных вод, характерных для Свердловской области:

Схема 1. Доочистка воды на основе механической фильтрации для удаления нерастворимых примесей, продуктов коррозии разводящих сетей, коллоидных соединений железа и алюминия с получением хозяйственно-бытовой воды с улучшенными органолептическими свойствами.

Схема 2. Доочистка воды на основе механических, сорбционных фильтров и ультрафиолетовых стерилизаторов для дополнительного извлечения хлорорганических соединений и обеззараживания микробиологических загрязнений, с получением безопасной по санитарно-химическим показателям питьевой воды.

Схема 3. Доочистка воды на основе механической фильтрации, мембранных, сорбционных процессов, ультрафиолетовой стерилизации с получением воды 1 категории качества по стандарту для бутилированных вод.

Получаемая по схеме 3 питьевая вода по своим показателям соответствует бутилированной воде первой категории качества и обладает улучшенными свойствами по сравнению с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01 «Вода питьевая», т.е. является безопасной в эпидемиологическом отношении, безвредной по химическому составу, благоприятной по органолептическим свойствам и, кроме того, остается физиологически полноценной, т.к. имеет оптимальный уровень минерализации.

Имеется большой опыт внедрения описанных технологических схем и их эксплуатации на объектах жилищного, социально-культурного, медицинского



назначения. Только за счет бюджета Свердловской области внедрено около 100 установок в областных больницах, в том числе, детских, социальных учреждениях, учреждениях культуры, расположенных по всей области; около 120 установок – в муниципальных школах, детсадах и других объектах в рамках областных и городских целевых программ. Более 800 установок успешно работают на предприятиях области для обеспечения питьевого режима сотрудников. Среди крупных партнеров – ОАО «НТМК» г. Нижний Тагил, ООО «ВИЗ-Сталь», ЗИК, (г. Екатеринбург), ОАО «Первоуральский новотрубный завод», ОАО «Ревдинский завод ОЦМ», ОАО «Уралвагонзавод», ОАО «УАЗ – СУАЛ» (г. Каменск-Уральский), «Уральский электрохимический комбинат» (г. Новоуральск), Северский трубный завод (г. Полевской), предприятия пищевой промышленности, банки, университеты и др.

В последние годы наиболее актуальным становится оснащение локальными коллективными станциями водоподготовки вновь строящихся жилых домов. Впервые в г. Екатеринбурге подобные схемы внедрены в 2000 году сотрудниками ООО «БМБ» на объектах ОАО «Атомстройкомплекс». Сегодня они доказали свою эффективность, надежность и востребованность жителями. Как показал опыт, расходы на эксплуатацию установки обходятся для жильцов 50-100 квартирного дома в 250 руб./год с 1 квартиры

В настоящее время по разработанным технологиям осуществляется водоснабжение домов с установкой механической очистки (33 дома), с двухстадийной механо-сорбционной очисткой (5 домов), с комплексной мембранно-сорбционной очисткой и «третьим стояком» (12 домов), а также 35 коттеджей в различных районах области.

В зависимости от места размещения в застройке установок очистки разработаны 3 варианта территориальной компоновки локальных станций доочистки воды:

– во внутриквартальном помещении с устройством разводящих сетей очищенной воды в квартиры нескольких жилых домов;

– в подвальном помещении каждого дома в сочетании с аппаратами автоматической раздачи воды в тару потребителя, размещаемых в подъездах;

– в подвальном помещении жилого дома и подачей очищенной воды в каждую квартиру через внутридомовую сеть («третий стояк»):

Благодаря запатентованному способу очистки воды, обеспечивается максимально возможный срок эксплуатации всех входящих в установку фильтрующих элементов при сохранении высокой эффективности очистки. Установки компактны, мобильны, автоматизированы, что позволяет реализовать на практике реальное улучшение снабжения жилых домов питьевой водой.

Всего научно-производственной фирмой ООО «БМБ» разработано и внедрено около 1500 локальных систем доочистки воды «Акварос» с использованием механической фильтрации, сорбции, нанофильтрации, хемосорбции, обратного осмоса, озонирования, ультрафиолетовой стерилизации и других методов.

Данные схемы доочистки и разводки делают возможным снабжение жителей водой, отвечающей всем стандартам качества, в режиме «здесь и сейчас». При этом полностью отсутствует риск приобретения некачественной воды из-за возможных недобросовестных производителей бутилированной воды, осуществляющих водозабор из сомнительных источников, а также нарушающих условия и сроки хранения бутилированных вод.

Такие системы востребованы с целью улучшения питьевого водоснабжения не только на объектах нового жилищного строительства в мегаполисах, но и в старом жилом фонде, а также в малых населенных пунктах, где скважины и колодцы являются зачастую единственными источниками питьевой воды.

Например, целый ряд восточных районов Свердловской области практически не имеют источников воды питьевого качества. Поверхностные воды загрязнены промышленными выбросами, а подземные имеют многократные превышения по показателям железо, марганец, кремний, бром, бор, хлориды, содержание. А именно: мутность, цветность до 3 ПДК, железо до 5ПДК, кремний 2-3 ПДК, марганец – 4-5 ПДК, жесткость до 5-8 мг-экв/л, окисляемость до 3 ПДК.

Грамотное сочетание комбинированной баромембранной технологии с традиционными методами очистки позволили получить воду питьевого качества. В 2013 году предприятие ООО «БМБ» ввело в эксплуатацию пилотную станцию очистки воды производительностью 0,8 куб.м/час в одном из отдаленных поселков Свердловской области. Станция находится в подсобном помещении водонапорной башни, питьевая вода подается в тару потребителей через трубопровод, выведенный за наружную стену, по сигналу клавиши. Только в течение первого месяца жителями окрестных поселков и районного центра было разобрано более 50 кубических метров очищенной воды.

Полагаем, что внедрение внутридомовых, внутриквартальных локальных станций доочистки воды – это реальный, короткий, малозатратный способ достижения стратегических целей программы «Чистая вода», особенно на муниципальном уровне. В указанные программы всех уровней необходимо включать мероприятия по внедрению локальных установок водоподготовки.

Кроме того, исходя из вышеизложенного, считаем целесообразным на уровне Правительства РФ рассмотреть вопрос об изменении региональных стандартов проектирования и жилищного строительства с учетом концепции питьевого водоснабжения «третий стояк».

Широкое внедрение данной концепции нуждается в государственной поддержке на всех уровнях власти: муниципальном, региональном, федеральном. Убеждены, что только объединение усилий власти, науки и бизнеса позволит в короткие сроки, с минимальными затратами реализовать цели программы «Чистая вода» и в конечном итоге – улучшить качество жизни россиян.

УДК 620.9-0.22.532

ББК К633.054

**Метод увеличения теплоотдачи к водной среде за счёт добавления в гальваническое покрытие наномодифицированных материалов**

Мухин Р.Ю.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Тепловые взаимодействия играют ключевую роль в большинстве процессов, используемых в промышленных производствах, энергетике, при эксплуатации оборудования и сооружений, а также в других областях человеческой деятельности. Интенсивность тепловых процессов в промышленных технологиях определяет производительность, качество продуктов, затраты на производство и многое другое.

Перед исследователем была поставлена задача – разработать метод нанесения наномодифицированных гальванических покрытий на стальные теплоотдающие элементы энергетического оборудования для повышения их энергоэффективности в водной среде.

Поставленная задача повышения теплоотдачи решается путём прикрепления на одну или более теплопередающих стенок множества микротурбулизирующих частиц, используя связывающую среду, при этом прикрепление связывающей среды осуществляют щелочным цинкованием, а в качестве микротурбулизирующих частиц используют углеродный наноматериал (УНТ) «Таунит», вводимый в электролит цинкования с последующей обработкой электролита с помощью ультразвукового диспергатора.

В состав электролита вводят наноуглеродные частицы в количестве  $100 - 700 \text{ мг/дм}^3$  с последующей обработкой с помощью ультразвукового диспергатора при частоте 22 кГц и интенсивности ультразвуковой обработки: амплитуда 80 мкм и интенсивности звука  $786 \text{ Вт/см}^2$  в течение 300 с.

Введение наноматериала в покрытие осуществляют гальваническим способом путём добавления наночастиц в электролит и перемешивании ультразвуком.

Причинами широкого использования щелочного цинкования являются устойчивость покрытия к внешним воздействиям, низкая стоимость и безопасность. Обладая стационарным потенциалом на 0,2 – 0,3 мВ более отрицательным, чем железо, цинк при воздействии агрессивных сред (в виде электролитов) медленно растворяется за счёт электрохимических реакций, оберегая, тем самым, ферритную подложку.

Высокие защитные (антикоррозионные) свойства цинкового покрытия в наиболее часто встречающихся коррозионно-активных средах (в промышленной и морской атмосфере, в пресной минерализованной и в морской воде) объясняются тем, что цинк является анодом почти ко всем применяемым в промышленности металлам (кроме алюминия и магния). Благодаря этому, цинк растворяется, а сталь (как катод) не подвергается разрушению до тех пор, пока на ней есть слой цинка.

При проведении экспериментов прежде всего исследовалась теплоотдача от стальных образцов без покрытия. Далее наносилось цинковое покрытие на сталь Ст-3 при различной концентрации УНТ «Таунит» в электролите цинкования. Для исключения погрешностей при каждой концентрации покрытие наносилось на 5 одинаковых образцов. Далее производилось измерение температуры на разработанном стенде при различных температурах. Примеры снятых зависимостей температуры образцов от времени приведены на рис. 1.

В результате проведённых экспериментов было выявлено, что наибольшее значение коэффициента теплоотдачи цинкового покрытия стали получается при концентрации УНТ «Таунит» в электролите цинкования 400 мг/л. Улучшение коэффициента теплоотдачи при сопоставлении образцов с чистым цинковым покрытием и образцов, полученных из электролита с концентрацией УНТ «Таунит» 400 мг/л составляет 15,22 %.

Повышение интенсификации теплообмена можно объяснить образованием в приповерхностной части теплового пограничного слоя, соответствующего высоте выступов рельефа поверхности.

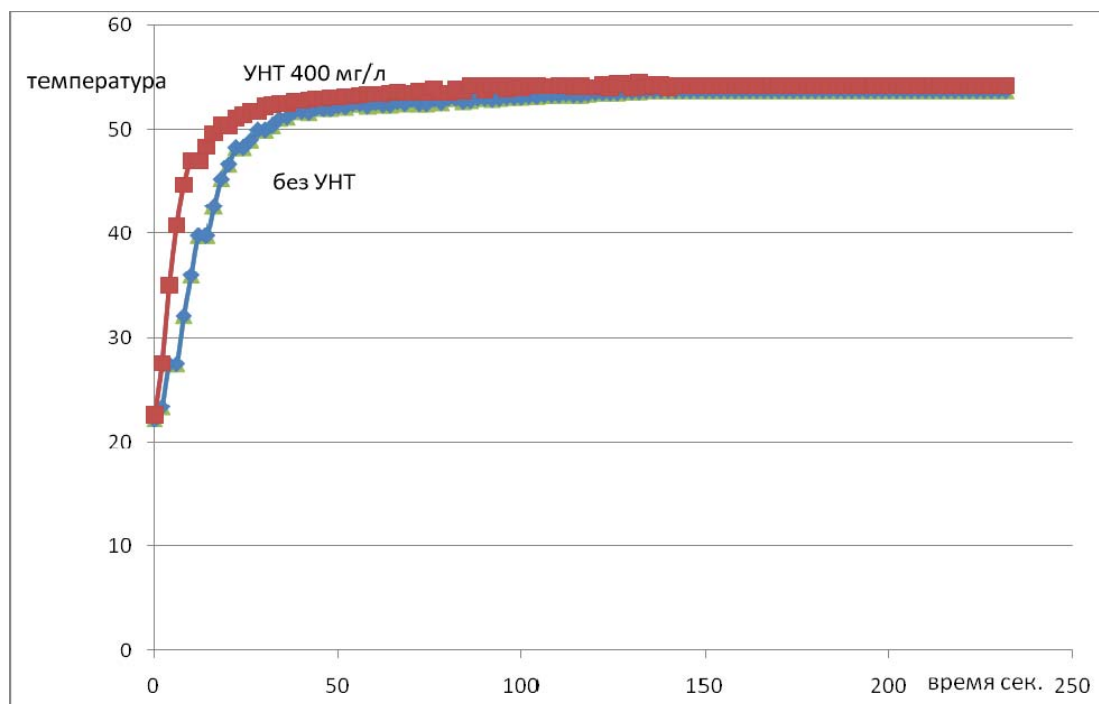


Рис. 1. Зависимость от времени температуры образцов, полученных из электролита без УНТ «Таунит» и из электролита с концентрацией УНТ 400 мг/л, при скорости потока воды 0,045 м/с. Температура воды 55 °C

Данный способ обеспечивает интенсификацию процессов теплоотдачи от теплоотдающих стальных поверхностей, покрытых цинком, к водной среде, а также простоту реализации.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы при поддержке Государственного контракта № 14.740.11.1372

**Получение биодизельного топлива при воздействии ферромагнитных частиц на реагенты в аппарате с вращающимся электромагнитным полем**

Нагорнов С.А.<sup>1</sup>, Малахов К.С.<sup>1</sup>, Печагин Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов*

*в сельском хозяйстве (Россия, г. Тамбов),*

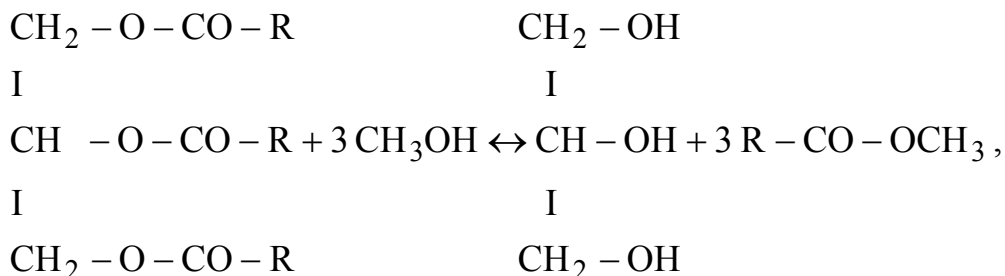
<sup>2</sup>*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Перевод автотракторной техники на использование дизельного топлива с низким содержанием серы приводит к ухудшению его смазывающих свойств и выходу из строя дорогостоящей топливной аппаратуры. Для устранения этого негативного фактора требуется применение биодизельного топлива, улучшающего смазывающие свойства нефтяного дизельного топлива. Однако в России пока нет ни одного промышленного предприятия по производству дизельного смесового топлива. Поэтому разработка высокоэффективных технологических процессов непрерывного получения дизельного смесового топлива с улучшенным качеством является актуальной задачей энерго- и ресурсосбережения и как результат рационального природопользования

Для интенсификации процесса получения биодизельного топлива только кавитационного и термического воздействия на растительные масла и метанол недостаточно. Для создания высокоинтенсивного процесса метанолиза предлагается в качестве биореактора использовать аппараты с вращающимся электромагнитным полем, удельная энергетическая насыщенность рабочей зоны которых в несколько раз превышает аналогичные показатели всех известных аппаратов.

В результате изучения и анализа процессов получения биодизельного топлива из растительных масел, а также благодаря поисковым экспериментальным проработкам отдельных стадий разрабатываемой технологии, была предложена общая технологическая схема получения дизельного смесового топлива [3].

Один из самых важных факторов, определяющих технологические и экономические параметры синтеза компонентов биодизельного топлива является мольное соотношение *триацилглицерина растительного масла-спирт*. Исходя из уравнения реакции метанолиза:



видно, что стехиометрическое соотношение *триацилглицерина-спирт* составляет *1:3*. Использование такого соотношения реагентов было бы очень выгодным с точки зрения технологического оформления процесса: это позволило бы исключить стадию удаления метанола из эфирной фазы.

Анализ литературных данных показал, что выход целевого продукта – метиловых эфиров растительных масел при использовании традиционного способа синтеза достигает только 70 % (при продолжительности реакции не менее 2 часов) [1, 2].

Вероятно, это связано с обратимостью всех трёх стадий метанолиза. В соответствии с принципом Ле-Шателье-Брауна, сдвинуть равновесие в сторону продуктов реакции можно, увеличив количество одного из исходных реагентов.

Действительно, увеличение доли метанола улучшает результат реакции, и лучший выход компонентов биодизельного топлива может быть достигнут при соотношении *1:7* (традиционная технология). Более высокое мольное отношение спирта к триацилглицеринам использовать нецелесообразно, так как это не даёт существенного увеличения выхода или сокращения времени реакции. Чем выше количество спирта, тем больше затраты на отделение непрореагировавшего спирта от эфирной фазы. Кроме того, избыток спирта затрудняет отделение глицеринового слоя от эфирного, потому что увеличивается растворимость глицерина в эфирном слое (видимо, спирт является для этих слоёв соразстворителем).



Исследуемый нами способ метанолиза предполагает воздействие на реакционную массу хаотически движущихся ферромагнитных частиц под действием вращающегося электромагнитного поля, что может привести к увеличению энергии исходных соединений и, следовательно, снижению энергии активации реакции. При этом возможно достижение более высоких (по сравнению с традиционной технологией) выходов продукта реакции при меньшем мольном соотношении *«триацилглицерина-метанол»*.

При получении биодизельного топлива по традиционной технологии нужно использовать практически сухие масла (содержание влаги  $<0,1\%$ ) и с низким содержанием ( $<0,5\%$ ) свободных жирных кислот. Содержание воды в метаноле не должно быть выше  $0,3\%$ , то есть концентрация, используемого в реакции метанола, не должна быть ниже  $99,7\%$ . Выход эфиров значительно уменьшается, если реагенты не соответствуют этим требованиям.

При наложении вращающегося электромагнитного поля в присутствии ферромагнитных частиц происходит резкое сокращение времени реакции метанолиза. Это позволяет использовать исходные соединения разной степени очистки: реакции омыления и гидролиза в опытах не наблюдались. Возможно, что под воздействием электромагнитного поля с увеличением скорости реакции метанолиза условий для протекания побочных реакций становится гораздо меньше. Результаты экспериментов представлены на рис. 1 и 2.

Анализ полученных результатов показывает, что без перемешивания (при коэффициенте  $k_3 \approx 0$ ) за счет воздействия на исходные реагенты вращающегося электромагнитного поля происходит интенсификация реакции метанолиза (в  $1,25 - 1,3$  раза по сравнению с реакцией, протекающей при тех же условиях, но без воздействия электромагнитного поля).

Решающее влияние на ход процесса метанолиза оказывают действие, движение и энергия ферромагнитных частиц. В свою очередь эти параметры обусловлены формой частиц, их диаметром, отношением длины к диаметру, коэффициентом заполнения аппарата ферромагнитными частицами и целым рядом других факторов.

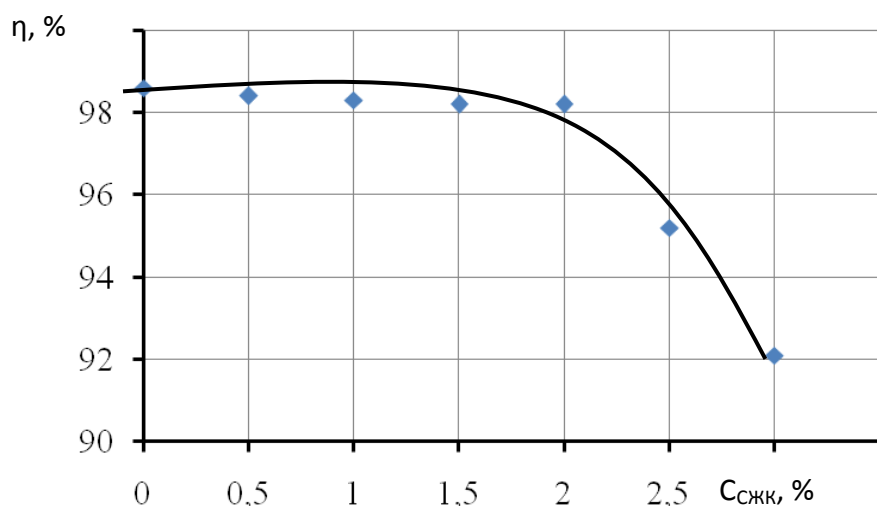


Рис. 1. Зависимость выхода биодизельного топлива от содержания свободных жирных кислот в исходном масле

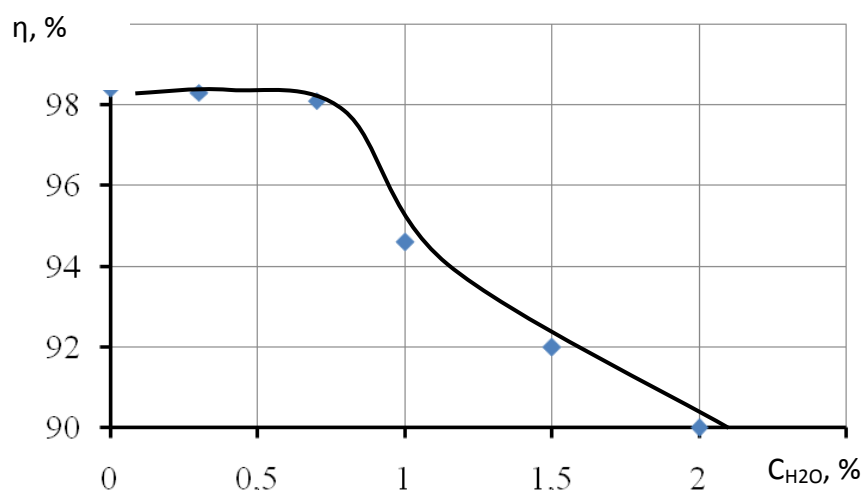


Рис. 2. Зависимость выхода биодизельного топлива от содержания воды в исходном спирте

Вопрос о количестве ферромагнитных частиц, заполняющих рабочее пространство аппарата с вращающимся электромагнитным слоем, непосредственно связан с эффективностью их воздействия на реакционную смесь.

В соответствии с теорией таких аппаратов, впервые разработанных Д.Д. Логвиненко, имеет место вращение всего слоя в целом. Причем движение частиц во вращающемся электромагнитном поле возможно только до определенной степени заполнения ими рабочей зоны аппарата, при которой все части-

цы одновременно прекращают движение. Крупные цилиндрические частицы, по мнению Д.Д. Логвиненко, вращаются относительно оси аппарата, но движутся отдельно друг от друга.

Другими словами, первоначально считалось, что действие ферромагнитных частиц можно приравнять к обычному механическому перемешиванию и перемалыванию. Если частиц мало, то все они должны совершать преимущественно круговые движения. Если много – то происходят столкновения между собой и со стенками аппарата, в результате которых происходят повороты частиц на какие-то углы или изменения направления их движения.

Проведенные эксперименты выявили новые, ранее не известные эффекты, возникающие при помещении стальных цилиндрических ферромагнитных частиц во вращающееся электромагнитное поле.

Под действием сил и моментов ферромагнитные частицы в аппарате совершают сложное движение – поступательное с частым и резким изменением скорости и направления, и вращательное с переменной угловой скоростью. При этом каждая частица движется отдельно от других.

Эксперименты показали, что движение ферромагнитных частиц начинается при достижении индукции в рабочей камере более 0,09 Т.

Совершая сложные механические и магнитострикционные колебания (из-за отставания в своем движении от вращения электромагнитного поля и вследствие магнитоупругого эффекта при ударах, а также колебаний, каждая частица является источником кавитации. Обработываемые жидкости (смесь из растительного масла и раствора катализатора в метаноле) имеют очень малый коэффициент сжимаемости, поэтому большие изменения давления сопровождаются малыми изменениями их удельного объема. Здесь строго выполняется в широком диапазоне изменения положительного давления уравнение типа  $\nabla \cdot \vec{u} = 0$ , где  $\vec{u}$  – вектор скорости в определенный момент времени и в определенной точке рабочего объема индуктора. При колебательных движениях ферромагнитных частиц в обрабатываемой жидкости возникают отрицательные давления. Капельная жидкость не может выдержать растяжения и стремится к обра-

зованию областей, заполненных паром (каверн), которые расширяются и снижают отрицательное давление. Тем самым непрерывность жидкости нарушается и для описания движения требуется определить положение и движение границ каверн. Тенденция к образованию каверн в жидкости, находящейся в состоянии покоя, показывает, что давление снижается до нуля при наличии ядер кавитации (микроскопические включения нерастворимого воздуха с некоторым количеством паров обрабатываемых жидкостей).

Под воздействием интенсивного движения частиц пузырьки газа почти мгновенно диспергируются и заполняются насыщенным паром обрабатываемой жидкости, то есть создаются условия для возникновения кавитации акустической (газовой).

Выявлено наличие двух характерных тенденций движения частиц. Во-первых, весь слой частиц (за счет центробежных сил) движется на некотором расстоянии от оси индуктора в сторону вращения электромагнитного поля (индуктор расположен вертикально). Во-вторых, большинство частиц при своем движении по окружности совершают одновременно сложные колебательные движения с большой амплитудой (примерно равной половине длины частицы) относительно своей середины. Совершая сложные механические и магнитострикционные колебания (из-за отставания в своем движении от вращения электромагнитного поля и вследствие магнитоупругого эффекта при ударах, а также колебаний), каждая частица является источником кавитации.

Все вышеперечисленные факторы (формирующие интегральный технологический эффект) обуславливают наличие в таких аппаратах еще не известных явлений, которые способствуют резкой интенсификации химико-диффузионных процессов и повышению их эффективности.

Присутствие в реакционной массе вихревого слоя ферромагнитных частиц, интенсивно движущихся во вращающемся электромагнитном поле, приводит к увеличению дисперсности эмульсии и, как следствие, к увеличению площади соприкосновения спиртовой и липидной фаз. Кроме того, при интенсификации перемешивания под действием сил трения уменьшается толщина диффузного

слоя, что приводит к увеличению численных значений коэффициента диффузии, а следовательно реакция протекает быстрее.

Для адаптации двигателя внутреннего сгорания к работе на смесевом биодизельном топливе проведены сравнительные моторные исследования работы дизеля на товарном дизельном топливе и трех топливных композициях по параметрам рабочего цикла, мощностным, экономическим и экологическим показателям.

Анализ результатов исследований полнометражного дизеля показывает практическую возможность существенного улучшения его экологических показателей при работе на смесевом топливе: эффективная мощность дизеля на номинальном режиме уменьшается на 0,8-3,1% (данное уменьшение обусловлено снижением теплоты сгорания смесевого топлива); часовой расход и удельный эффективный часовой расход возрастают соответственно на 1,9-4,2% и на 2,5-7,5%, а содержание углеводов в отработавших газах уменьшается на 1,8-8,3% по отношению к работе на товарном дизельном топливе; уменьшение выбросов СО в отработавших газах на 18-20%; снижение дымности до 35% [4].

Применяя смесевое топливо (светлые нефтепродукты и биодизель), мы улучшаем его качество (обуславливающее снижение затрат на проведение ТО и ремонтных работ), устраняем перерасход топлива (связанный с использованием некондиционных нефтепродуктов), уменьшаем загрязнение окружающей среды (способствующее обеспечению экологической безопасности сельскохозяйственного производства), обеспечиваем животноводство ценным кормом (жмых и шрот, имеющие среднее содержание белка 35-40%), получаем глицерин с последующей его реализацией в фармацевтическую и химическую промышленность. Это дает возможность повысить эффективность процесса получения смесевого топлива и получить дополнительную прибыль.

#### *Список использованной литературы*

1. Схаляхов, А.А. Производство биотоплива из масел и жиров / А.А. Схаляхов, Х.Р. Блягоз, Е.П. Кошевой. – Майкоп: Изд-во Майкопского ГТУ, 2008. – 132 с.

2. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения / В.Ф. Федоренко [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 68 с.

3. Нагорнов, С.А. Технологический процесс получения биодизельного топлива из растительных масел / С.А. Нагорнов, О.В. Матвеев, А.П. Ликсутина // Пути использования биомассы в качестве энергоресурсов. – Сб. научн. тр. ГНУ ВИИТиН. Вып. № 12. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2006. – С. 91-98.

4. Нагорнов, С.А. К вопросу о совершенствовании экологических показателей двигателей / С.А. Нагорнов, К.С. Малахов, И.А. Рязанцева // Биоэнергетика и проблемные вопросы ее развития. Сб. научн. тр. ГНУ ВИИТиН. Вып. 17. – Тамбов, 2009. – С. 75-83.

УДК 66.096.5

ББК (Ж/О)35.762

## **Two-stage model of the reactor for straw low temperature pyrolysis**

Nikolopoulos N.<sup>1</sup>, Grammelis P.<sup>1</sup>, Agraniotis M.<sup>1</sup>,

Isemin R.<sup>2</sup>, Kuzmin S.<sup>2</sup>, Milovanov O.<sup>2</sup>, Mikhalev A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Clean Energy Ltd (GREECE, Athens)*

<sup>2</sup> *Tambov State Technical University (Russia, Tambov)*

### **Introduction**

Torrefaction is a mild pyrolysis process carried out at temperatures 200-300 °C, in which biomass produces three main products: a solid product of a brown/dark color; a condensable liquid including mostly water, acetic acid, and other oxygenates, noncondensable gases – mainly CO<sub>2</sub>, CO, and small amounts of CH<sub>4</sub>.

The last two products are categorized as volatiles. During torrefaction the raw material loses most of its moisture and other volatiles which have a low heating value, [1]. The type and amount of gas that is released during torrefaction depends on the raw material type and properties as well on torrefaction process conditions, including basically, temperature and residence time. Therefore the most important parameters, which should be taken into consideration for the design of a torrefaction unit, are: feeding material properties, temperature, residence time

Torrefaction is used as a pretreatment step for biomass conversion into energy and heat techniques such as gasification and co-firing. The torrefaction thermal treatment not only destructs the fibrous structure and tenacity of biomass, but is also known to increase its calorific value. Also after the torrefaction, the biomass has more hydrophobic characteristics allowing the higher time storage of torrefied biomass, because of its rotting behavior. Specifically, due to the breakage of OH-groups in torrefaction process, the material losses its tendency to absorb water so it remains stable and hydrophobic. Hence, the formation of unsaturated structures is the key to preserve the torrefied biomass against the biological degradation. During the process of torrefaction the biomass partly devolatilizes, leading to a decrease of

its mass, but the initial energy content of the torrefied biomass is mainly preserved in the solid product. Therefore the energy density of the torrefied biomass is higher, making it more attractive in terms of its logistic chain, i.e transportation and management. More specifically the torrefied biomass undergoes physical changes and becomes light weighted flaky and improves grind ability.

Our goal is the definition of the most appropriate design parameters for a straw pellets torrefaction reactor of medium scale (capacity 1000 kg / h). However prior to the definition of these parameters, at subsequent level a thermodynamic tool is built and run, capable of predicting the heating value and the main characteristics (% solid residue, proximate analysis) of the torrefied straw pellets, always with parameters: the residence time and temperature.

### **Model**

In Blasi and Lazetta study [2], the solid mass fraction ( $\bar{W} = W / M_0$ ), where  $W$  is the sample and the solid  $M_0$  the initial mass sample is given in detail in the following figure 1 for wheat straw as a function of time, at several reaction temperatures. In all cases, it was observed that the heating time, the time needed to attain the reaction temperature, is always significantly shorter than the conversion time and at the time the reaction temperature's attained; only a small fraction of the solid has undergone torrefaction. Specifically the respective ratios between the conversion and the heating time varies from a maximum of about 1050 sec (low temperatures) to a minimum of about 65sec (high temperatures).

The process become successively faster as the reaction temperature is further increased while the final solid char yield continuously decreases. Furthermore, a change in the shape of the weight loss curves appears in a limiting temperature range of 513–520 K. Indeed, for temperatures below this value, only one reaction zone is seen, whereas for larger values two different regions are observed. This can be more clearly seen in Fig. 2 where the common logarithm of the non-dimensional solid weight, defined as  $P = (W - M_{c_{00}}) / M_0$  is reported as a function of time for wheat straw ( $M_{c_{00}}$  is the mass of the solid residual, left after the devolatilization (torrefaction) process is completed).



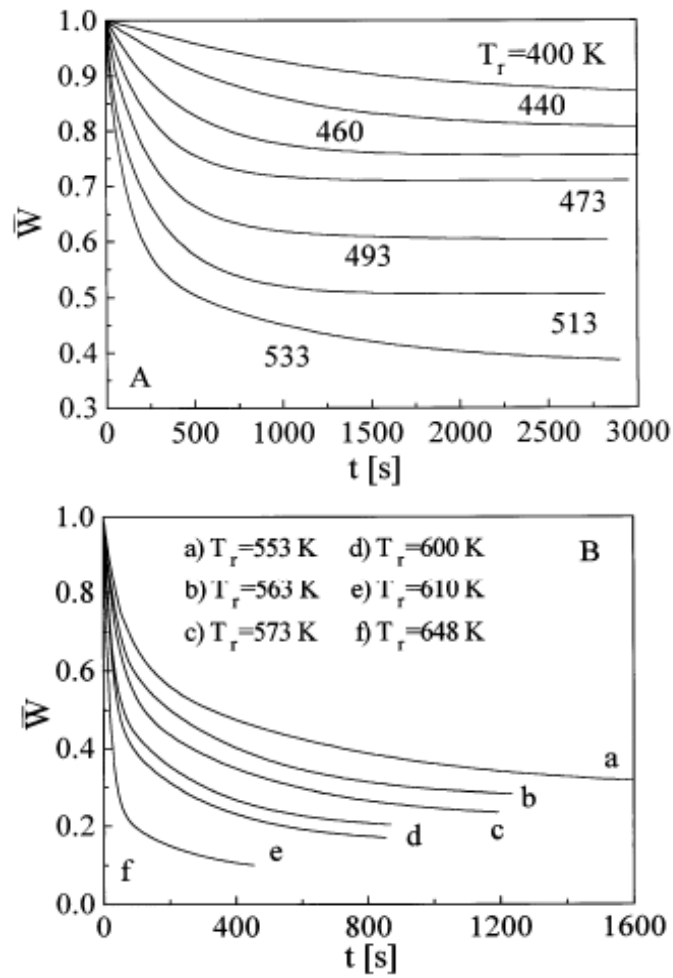


Fig. 1. (A) Weight loss curves for wheat straw in the temperature range 400-533K; (B) Weight loss curves for wheat straw in the temperature range 553-648 K

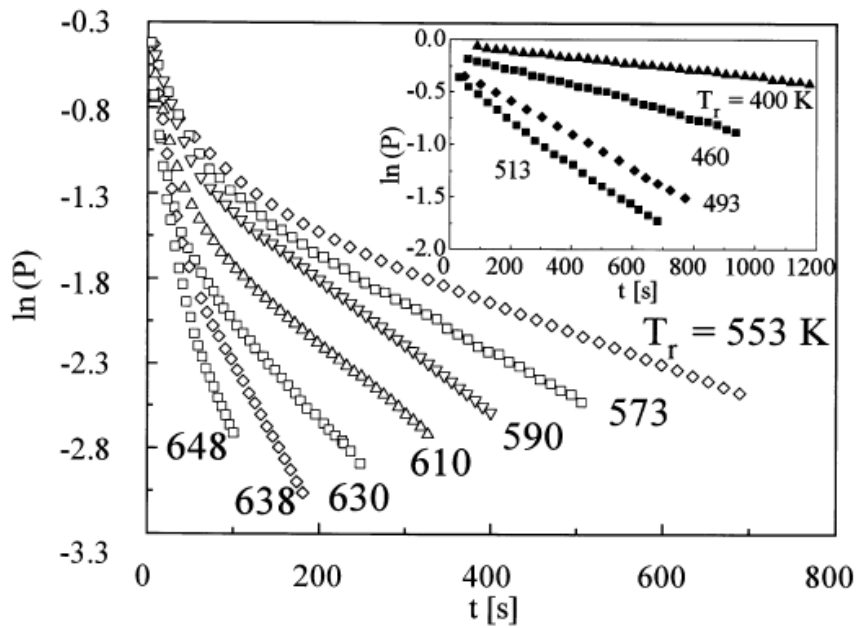


Fig. 2. Common logarithm of the nondimensional sample weight  $P=(W-Mc_{\infty})/M_0$

According to it, for operation temperature above 250°C, the torrefaction is conducted in two consecutive stages (fig. 3).

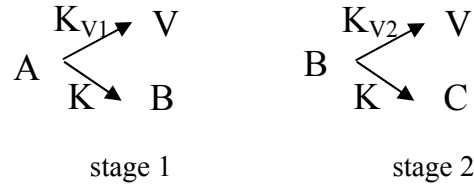


Fig. 3. Two-stage mechanism of torrefaction

Where A is the initial biomass, B an intermediate reaction solid product, C the final torrefied biomass and  $V_1$ ,  $V_2$  the produced volatiles. In fact, the first stage represents the degradation of cellulose whereas the second one the degradation of semi-cellulose. The differential equations that express the mass loss or production along the time at the stage 1 are:

$$\begin{aligned}
 \frac{dM_A}{dt} &= -K_1 M_A \Rightarrow M_A = M_0 e^{-K_1 t}; \\
 \frac{dM_{V1}}{dt} &= K_{V1} M_A \Rightarrow M_{V1} = \frac{K_{V1}}{K_1} M_0 (1 - e^{-K_1 t}); \\
 \frac{dM_B^{A \rightarrow B}}{dt} &= K_B M_A \Rightarrow M_B^{A \rightarrow B} = \frac{K_B}{K_1} M_0 (1 - e^{-K_1 t}),
 \end{aligned}$$

where  $M_0$  is the initial mass of biomass and  $M_B^{A \rightarrow B}$  is the  $M_B$  that is generated from  $M_A$ . The corresponding kinetic rates for each stage (1 and 2) are expressed as:

$$K_1 = K_B + K_{V1};$$

$$K_2 = K_C + K_{V2}.$$

An Arrhenius type temperature dependency is considered:

$$K_i = k_{0,i} \cdot e^{-\frac{E_i}{RT}}, \quad i=A, B, C, V_1, V_2.$$

The kinetic parameters according to [2] for wheat straw pyrolysis are summarized at the following table 1.

Table 1. Kinetic parameters

i	$k_0$ (s <sup>-1</sup> )	E (J/mol)
B	1200	53568
V <sub>1</sub>	110000	75121
1	24300	64616.4
C	2.82	27621
V <sub>2</sub>	1200	66541.5
2	54.6	47290.5

For temperature below 250°C only the first stage takes place. For temperature  $T > 250^\circ\text{C}$ , there is a specific time, denoted as *critical time*  $t^*$ , at which the second stage begins and dominates over the first one. At this time instant  $t^*$ , the product yield of solid B is denoted as  $M_B^*$ . Moreover it stands that:

$$\frac{M_B^*}{M_0} = \frac{M_{V2\infty}}{M_0} + \frac{M_{C\infty}}{M_0} = 1 - \frac{M_{V1\infty}}{M_0},$$

where  $\frac{M_{V1\infty}}{M_0}$ ,  $\frac{M_{V2\infty}}{M_0}$  are the maximum amount of released volatiles at the stage 1 and 2 respectively and  $M_{C,\infty}$  the solid residual after the devolatilization is complete. For straw pellets, based on the literature data, both  $\frac{M_{C\infty}}{M_0}$  and  $\frac{M_{V2\infty}}{M_0}$  can be calculated as a function of temperature, according to the following equations:

$$\frac{M_{C\infty}}{M_0} = 0.60 - 0.0041 \cdot (T [^\circ\text{C}] - 200) = \frac{K_C K_B}{K_1 K_2};$$

$$\frac{M_{V2\infty}}{M_0} = 0.17 + 0.001 \cdot (T [^\circ\text{C}] - 260) = \frac{K_{V2} K_B}{K_1 - K_2};$$

$$\text{and} \quad \frac{M_{V1\infty}}{M_0} = \frac{K_{V1}}{K_1}.$$

According to [1] and [2] the solid residual  $W$  at the end of the process is:

$$\frac{W}{M_0} = \frac{M_A + M_B + M_c}{M_0} = \frac{M_B^*}{M_0} - \left( \frac{M_B^*}{M_0} - \frac{M_{C\infty}}{M_0} \right) \left( 1 - e^{-K_2(t-t^*)} \right).$$

Mass  $M_A$  has been determined from the former stage, and  $M_{V2}$  are calculated from the equation:

$$\frac{M_{V2}}{M_0} = \frac{M_B^* + M_A - W}{M_0} \Rightarrow \frac{M_{V2}}{M_B^*} = 1 + \frac{M_A - W}{M_B^*}.$$

The reduction of solid  $M_B$  due to the reactions at stage 2 is:

$$\frac{dM_B^{B \rightarrow C}}{dt} = -K_2 M_B^{B \rightarrow C} \Rightarrow M_B^{B \rightarrow C} = M_B^* \left(1 - e^{-K_2(t-t^*)}\right) \Rightarrow \frac{M_B^{B \rightarrow C}}{M_B^*} = 1 - e^{-K_2(t-t^*)}.$$

Where  $M_B^{B \rightarrow C}$  is the residue of  $M_B$  after reaction in stage 2. Hence, the solid  $M_C$  production is easily obtained by:

$$\frac{dM_C}{dt} = -K_C M_B^{B \rightarrow C} \Rightarrow \frac{M_C}{M_0} = K_{C\infty} \left(1 - e^{-K_2(t-t^*)}\right) \Rightarrow \frac{M_C}{M_B^*} = \frac{K_C K_B}{K_2 (K_1 - K_{V1})} \left(1 - e^{-K_2(t-t^*)}\right).$$

The composition of torrefied biomass is determined from the corresponding correlations from literature. The torrefied biomass ultimate analysis for C, O and H is determined by the correlations from relevant studies. Similarly methodology is adopted for the proximate analysis. As far as nitrogen and sulfur prediction, it is assumed, that whole of S is remained at the torrefied solid and N goes with volatiles. Moreover, ash is totally remained at the solid part. Hence, the correlations that are applied are:

$$\begin{aligned} \frac{C_{solid}}{C_{total}} [kg / kg] &= -0.0014 \cdot T [^{\circ}C] - 0.010 \cdot \frac{t[\text{sec}]}{3600} + 1.22 \\ \frac{H_{solid}}{H_{total}} [kg / kg] &= -0.0040 \cdot T [^{\circ}C] - 0.020 \cdot \frac{t[\text{sec}]}{3600} + 1.87 \\ \frac{O_{solid}}{O_{total}} [kg / kg] &= -0.0050 \cdot T [^{\circ}C] - 0.015 \cdot \frac{t[\text{sec}]}{3600} + 2.02 \end{aligned}$$

On the other hand, fixed carbon (FC) and volatiles mater (VM) are dependent on torrefaction temperature according to the following equations:

$$\begin{aligned} \frac{FC_{solid}}{FC_{total}} [kg / kg] &= -0.0003 \cdot T^2 [^{\circ}C] + 0.1762 \cdot T [^{\circ}C] - 24.149 \\ \frac{VM_{solid}}{VM_{total}} [kg / kg] &= -0.0122 \cdot T [^{\circ}C] + 3.88 \end{aligned}$$

The vast majority of non-condensable components ('gas') are carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO). Tito Ferro et al. [3] showed that CO<sub>2</sub>/CO fraction is not affected from residence time but only from temperature.

The correlation that is extracted from the experimental data and incorporated to the model in terms of produced CO<sub>2</sub>/CO fraction is:

$$\frac{CO_2}{CO} = 0.0004 \cdot T^2 - 0.22 \cdot T + 32.5 \left( \frac{kmol}{kmol} \right).$$

The fraction of gas to liquid components is determined by the relevant studies [4], [5], [6]. Based on the literature data, we made the rough assumption that the

gas/liquid ratio remains equal to 0.25:  $\frac{gas}{liquid} = 0.25 \left( \frac{kg}{kg} \right)$ .

### Validation Model

This section presents the validation of the thermodynamic modeling approach, but for heating rates close to the real one in pilot and industrial scale reactors. In such units the heating rates are equal to around 10 °C/s. For the validation and the scenarios investigated in this section the experimental data presented by Prins et al. [4] are used. Unfortunately, this paper presents results for only two torrefaction temperatures, i.e. 248 °C and 267 °C and thus the described results are considered as validated for torrefaction temperatures greater than 248 °C (figure 4).

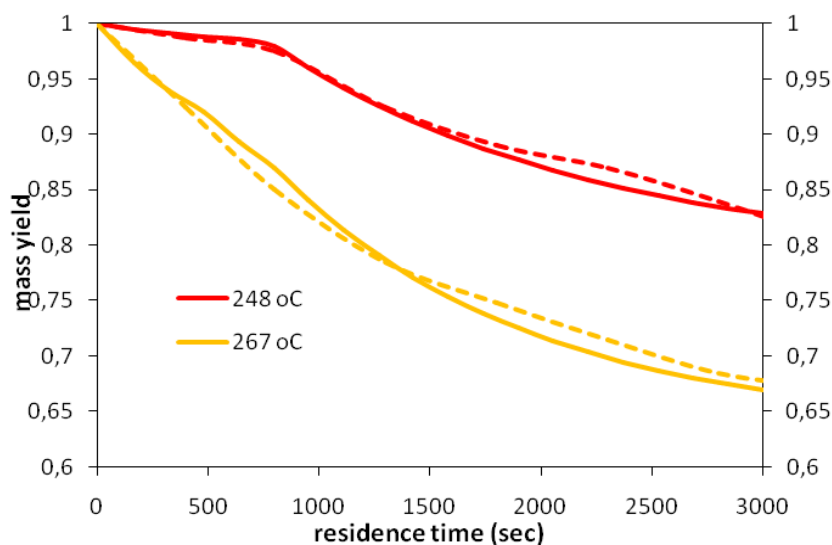


Fig. 4. Model prediction of solid mass yield in comparison with the experimental results (with dash lines)

In Table 2 a fuel composition of torrefied biomass for different values of temperature is given. Since during torrefaction a devolatilization is conducted, the volatiles mass reduction is higher as the temperature increases. In addition, among the three important substances of the fuel (C, H, O) oxygen is released with higher rate. Finally, the increase in ash content should be also pointed out.

Table 2. Fuel analysis dependence on temperature (% dry basis)

T (°C)	Proximate Analysis			Ultimate analysis		
	FC	VM	ASH	C	H	O
25 (raw)	19.8	71.3	11.4	43.2	5.00	39.4
240	17.66	70.50	11.84	44.95	5.32	37.88
260	30.68	56.55	12.77	46.53	5.19	35.51
280	42.59	42.69	14.71	47.85	4.98	32.46

In a two-batch reactor, the torrefaction process is conducted in two stages with different operation parameters. The raw straw pellets enter to the first stage, are undergone to torrefaction up to a point and consecutively enter to the second batch in order the fuel pretreatment to be completed. Of course, an additional batch exists for solids cooling. A schematic view of the apparatus is depicted at the following figure 5.

In order to investigate the effectiveness of a multi-batch reactor, some case studies were ran and compared (table 3). It is assumed the same reaction time (the residence time in each of the batch at double-batch case is the same and equal to the half of the total).

According to results of Table 7, double-batch reactor with a higher operating temperature at its first stage has a considerable advantage (higher mass yield and energy efficiency) over the single one (scenario 2). Comparing the one-batch scenario (4) with scenarios 2 and 3 similar final results are observed. It makes clear that the division of the process in two steps has beneficial effect only if the second batch is operating at a smaller temperature than the first one.

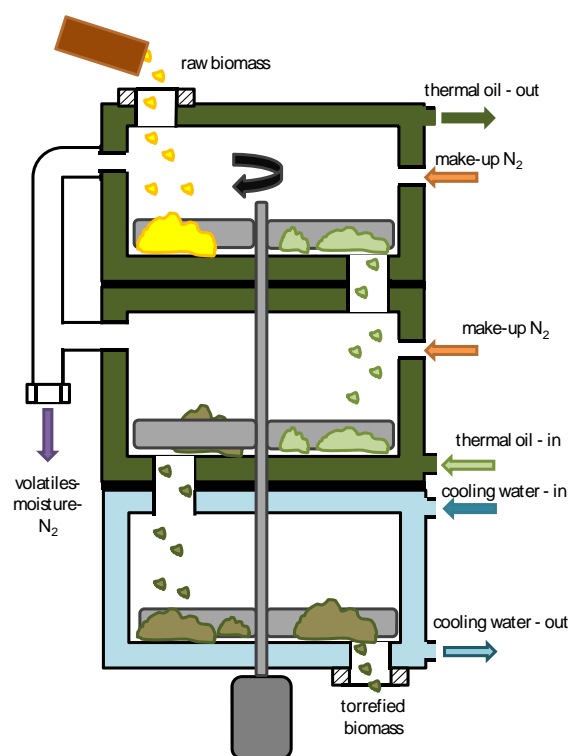


Fig. 5. Schematic representation of two-batch torrefaction reactor

Table 3. Comparison of single-batch and double-batch reactor effectiveness

	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
T batch 1 (°C)	240	260	240	260
T batch 2 (°C)	260	240	260	
t <sub>1</sub> (sec)	1800	1800	2000	3600
t <sub>2</sub> (sec)	1800	1800	1600	
mass yield (%)	68.11%	77.62%	69.15%	72.09%
HHV <sub>solid</sub> /HHV <sub>raw</sub>	1.19	1.19	1.19	1.13
efficiency (%)	81.20%	92.53%	82.43%	81.62%

These studies were conducted with financial support from the Ministry of Education and Science of Russia.

## References

1. Tumuluru J. S., Sokhansanj S. et al. Review on Biomass Torrefaction Process and Product properties and Design of Moving Bed Torrefaction System Model Development, Written for presentation at the 2011 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE, Gault House Louisville, Kentucky, August 7-10, 2011.
2. Lanzetta M. and Di Blasi C.. Pyrolysis kinetics of wheat and corn straw. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* V.44, 1998, pp. 181-192.
3. Ferro D.T., Vigouroux V., Grimm A., Zanzi R. *Torrefaction of agricultural and forest residues. Cubasolar*, 2004, April 12–16 Guantánamo; Cuba.
4. Prins M., Ptasinski K., Janssen F. Torrefaction of wood Part 2. Analysis of products. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, V.77, 2006, pp. 35–40.
5. Wang, G. Luo Y., Deng J., Kuang J., Zhang Y. Pretreatment of biomass by torrefaction. *Chinese Science Bulletin*, V. 56, 2011, pp. 1442–1448.
6. Bridgeman T.G., Jones J.M., Shield I., Williams P.T. Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. *Fuel*, V. 87, 2008, pp. 844–856.



УДК 621.929.3

ББК 30.69

### **Получение длинномерных заготовок из резиновой крошки**

Николюкин М.М., Соколов М.В., Клинков А.С.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Различные резиновые изделия изготавливаются как из натурального каучука так и из синтетического. В процессе изготовления резиновых изделий используется множество химических веществ, таких как ускорители и активаторы вулканизации, наполнители, противостарители, пластификаторы и другие. Многие из них в больших концентрациях являются вредными для живых организмов. Эти вещества могут выделяться например на шинных свалках при попадании солнечного света на резину или воды (дождя) и т.п. Также шинные свалки занимают большие площади земли, которые требуют серьёзной предварительной подготовки для хранения.

Снизить экологические риски, связанные с хранением и захоронением отработанных шин и других резинотехнических изделий (РТИ) возможно с помощью различных способов их переработки.

Главной проблемой при регенерации резиновых отходов является поддержание их свойств на уровне исходного материала, когда переработанная резина используется как отдельный компонент или смешивается с чистой резиновой смесью. Различные показатели перерабатываемого материала неизменно снижаются, или по крайней мере получаются ниже исходных. Еще одной серьёзной проблемой является изменение вязкости резиновой смеси, показателей скорчинга и характеристик вулканизации, которые по большей части оказывают негативное воздействие.

С тех пор как Чарльз Гудйир получил патент на вулканизацию резины, многими учеными предпринимались попытки разрыва межмолекулярных перекрестных связей резины, образующихся в процессе вулканизации, с целью получения исходного материала или похожего на чистую невулканизированную резиновую смесь.

Было разработано немало процессов переработки, которые нашли применение и были коммерциализированы. Все они на выходе имеют материал с повышенной пластичностью называемый регенератом. Поскольку его характеристики всегда были ниже первоначальных, то цена решения экологических проблем связанных с переработкой резины часто не была оправдана [1].

Существуют следующие распространенные виды переработки отходов резины: повторное использование (например многие автошины могут быть восстановлены), дробление с целью девулканизации или применения в различных покрытиях, сжигание с целью получения энергии. Также существуют другие перспективные методы переработки отходов резины, такие как термомеханический, химический, биологический, ультразвуковой и другие.

Для принятия каких-либо рациональных решений в области переработки отходов резины необходимо выделить несколько наиболее выгодных с экономической и экологической точек зрения способов девулканизации резины с целью её дальнейшего полезного применения.

Термическая девулканизация обычно производится с применением пара. Процесс девулканизации проходит при высоких температурах (180-260°C и выше) в течении длительного периода времени. К стирол бутадиеновым каучукам данный процесс не применим, так как стирол бутадиеновый каучук затвердевает от действия тепла, в то время как натуральный каучук размягчается.

Девулканизация под действием микроволн также имеет свои недостатки: в результате её применения разрушаются только серные межмолекулярные связи, материал нагревается, необходимо при этом следить, чтобы не произошло возгорание. Этот процесс также имеет достаточно высокую себестоимость.

Химический процесс девулканизации возможно проводить при температуре около 100°C или ниже. С. Ямасита и Н. Кавабата<sup>1</sup> предложили процесс, который восстанавливает вулканизованную резину при комнатной температуре и

---

<sup>1</sup> Yamashita, S., Kawabata, N., Reclamation of vulcanized rubbers by chemical degradation, Japan-USSR Polym. Symp. (Proc. Eng.), 355, 1976.

атмосферном давлении в течение нескольких часов с хлорным железом и фенолгидразином. Так как этот процесс проводился с участием воздуха, авторы пришли к выводу, что гидроперекиси образуют в результате реакции кислорода систему с хлорным железом-фенолгидразином которая может приводить к разрыву основной цепи.

Также возможны другие схемы проведения данного процесса, с другими компонентами. Условия при этом остаются схожими, и температура процесса находится в тех же границах [1].

Применение ультразвуковых волн в процессе девулканизации началось относительно недавно, данный способ является достаточно новым и интересным в плане исследования. Первоначально считалось, что с помощью ультразвука резина только вулканизуется, а не девулканизуется. Однако обратный процесс также возможен. Обычно процесс проводят на экструзионном оборудовании следующим образом: измельченные частицы резины загружаются в загрузочный бункер и затем подаются в экструдер. Экструдер механически проталкивает резиновую крошку. Это механическое воздействие разогревает частицы и размягчает резину. При прохождении размягченной резины через полость экструдера она подвергается воздействию ультразвуковой энергии. Сочетание тепла, давления и механического воздействия является достаточным для достижения различных степеней девулканизации [2].

Нами был выбран ультразвуковой метод, так как он является одним из самых безопасных (требуется минимум химических веществ) для человека и природы и перспективных. Также ультразвуковая девулканизация обычно базируется на экструзионном оборудовании, которое достаточно легко модифицировать под эту задачу, не прибегая к серьёзным переделкам оборудования, позволяя его использовать в первоначальном виде.

Одна из распространённых схем оборудования для ультразвуковой девулканизации резины (рис. 1).

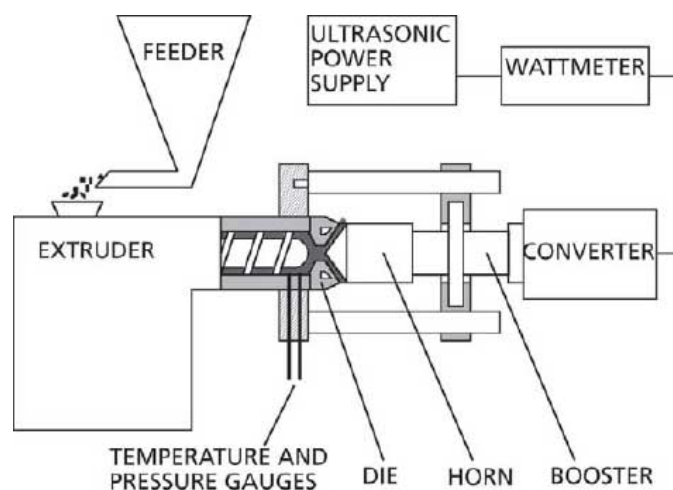


Рис. 1. Схема девулканизационного реактора на основе экструдера:  
 FEEDER – загрузочный бункер; EXTRUDER – экструдер; ULTRASONIK POWER SUPPLY – блок питания ультразвуковой установки; WATTMETER – ваттметр; TEMPERATURE AND PRESSURE GAUGES – датчики температуры и давления; DIE – оснастка; HORN – ультразвуковой излучатель; BOOSTER – двигатель; CONVERTER – преобразователь

Машина на основе данной схемы была разработана в сотрудничестве с фирмой National Feedscrews and Machining, Inc. Реактор состоит из одношнекового экструдера с диаметром формующего инструмента 38.1 мм и установленной на нем ультразвуковой установки. Конусообразное кольцо ультразвукового излучателя закреплено внутри канала для лучшего охлаждения. Дробленая резина поступает в экструдер через загрузочный бункер с регулируемым дозированием. Таким образом, процесс получения заготовки зависит от процесса дозирования. Одновременно задействованы питание ультразвуковой установки, акустического конвертора, двигатель и конусовидный излучатель. Вибрации излучателя направлены в продольном направлении и воздействуют с частотой 20 кГц с различными амплитудами. Ультразвуковой излучатель установлен на фланце экструдера. Выпуклый конец излучателя соответствует вогнутой поверхности фильеры, это позволяет сохранять равномерный зазор между излучателем и фильерой. Данный метод представляет собой непрерывный процесс, позволяющий перерабатывать различные типы резины и термопластов. В ре-

зультате ультразвуковой девулканизации получают желаемое – резина становится снова мягкой, что позволяет использовать этот материал для дальнейшей переработки, так как он имеет уже определенную форму и по свойствам очень похож на чистую резину [2].

На основе анализа различных отечественных и зарубежных литературных источников нами была создана экспериментальная установка на базе экструдера МЧХ-32/10 для исследования процесса ультразвуковой девулканизации резиновой крошки с последующим профилированием длинномерных заготовок.

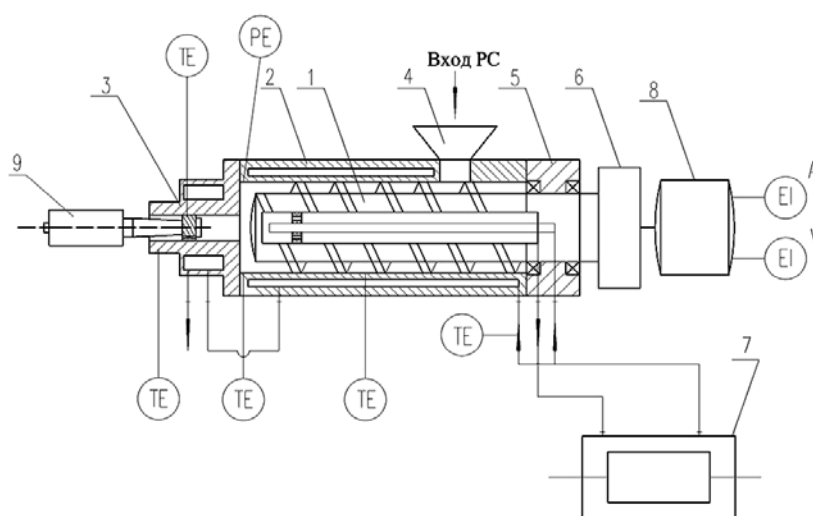


Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования процесса профилирования длинномерных заготовок из резиновой крошки: 1 – шнек; 2 – цилиндр; 3 – формующая головка; 4 – загрузочное устройство; 5 – привод шнека; 6 – редуктор; 7 – термостат; 8 – электродвигатель; 9 – ультразвуковой преобразователь; TE – датчики температуры; PE – датчик давления; А – амперметр; V – вольтметр

Данная установка базируется на типовом экструдере, легко модифицируема. В качестве исследуемого материала были выбраны отходы протекторов покрышек автомобилей, с размерами частей около 2-4мм. Предварительно крошка обрабатывалась на вальцах с целью получения ленты для удобной загрузки в экструдер, а также предварительной частичной девулканизации [3].

Экспериментальные исследования, проведенные на данной установке говорят о положительном влиянии ультразвуковой энергии на процесс перера-

ботки – получаемый материал имеет более однородную структуру (рис. 3), давление в цилиндре экструдера снижается с 25-30 МПа до 17-23 МПа (рис. 5) и не имеет характерных скачков в процессе переработки.



Рис. 3. Фотографии поперечных сечений переработанной резиновой крошки без воздействия ультразвука (а) и с его применением (б)

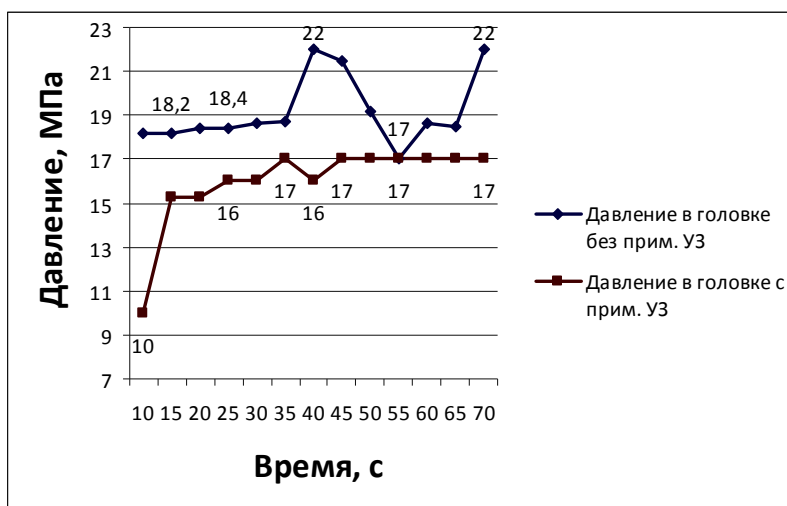


Рис. 4. Зависимость давления в экструзионной головке с применением ультразвука и без него

Степень девулканизации при этом также увеличивается и достигает примерно 30%. Энергопотребление процесса ультразвуковой девулканизации как и затраты на обслуживание несколько ниже чем у остальных процессов.

*Работа выполнялась в рамках ФЦП № 14.740.11.0141 по теме “Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области многофункционального приборостроения для промышленных систем управления”.*

*Работа выполнялась также при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект шифр 7.3766.2011 по теме “Разработка энергоэффективной технологии и оборудования утилизации отходов полимерной тары и упаковки” и в рамках научной школы (НС 01.2012.05 ТГТУ) от 28.05.2012 г. “Теория и практика устойчивого развития природопромышленных систем. Проектирование региональных утилизирующих комплексов, технологий и оборудования”.*

#### *Список использованной литературы*

1. Rubber recycling / edited by Sadhan K. De, Avraam I. Isayev, Klementina Khait. – Published in 2005 by CRC Press Taylor & Francis Group. – 493 p.
2. Sadhan, K. De Rubber Technologist’s Handbook / Sadhan, K. De, Jim R. White. – Rapra Technology Limited: Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK, 2001. – 576 p.
3. Способ девулканизации резиновой крошки на валковом оборудовании / М.М. Николюкин, А.С. Кондрашков, М.В. Соколов, А.С. Клинков, Д.В. Болдырев // Молодой учёный. – 2011. – Т. 1, № 12(35). – С. 34-37.

**Исследование взаимодействия дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*  
с углеродными наноматериалами**

Очнева А.<sup>1</sup>, Толстун А.<sup>2</sup>

*МАОУ лицей №14 им. А.М. Кузьмина (Россия, г. Тамбов)*

Цель работы: исследование взаимодействия дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с углеродным наноматериалом «Таунит».

Гипотеза исследования: Дисперсия углеродных наноматериалов влияет на рост и размножение одноклеточных. Взаимодействие дрожжей и углеродных материалов двустороннее.

Задачи:

- провести наблюдение за процессами жизнедеятельности дрожжей;
- изучить углеродный наноматериал (УНМ) «Таунит» и его свойства;
- экспериментально проверить влияние УНМ на рост и развитие дрожжей;
- проанализировать полученные данные и выявить закономерности роста и размножения дрожжей от концентрации углеродных наноматериалов в растворе;
- изучить процесс адсорбции дрожжами углеродных наноматериалов.

В работе использовались дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, как наиболее доступные в приобретении и простые в работе.

В нашем исследовании применялись УНМ «Таунит», которые представляют собой мелкодисперсионную аллотропную модификацию углерода, с характерными размерами углеродных нанотрубок (УНТ) диаметром не более 40 нм и длиной до 5 мкм. Зачастую УНТ образуют агрегаты размером порядка 100-200 нм. К сухим дрожжам с сахаром и без него добавлялась дисперсия

---

<sup>1</sup> Очнева А., ученица 9 класса МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов. Руководитель: Юдаков С.Г., МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов.

<sup>2</sup> Толстун А., ученица 9 класса МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов. Руководитель: Юдаков С.Г., МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов.



УНМ одного определенного объема. В результате были получены новые данные о влиянии УНМ на дрожжи.

В зависимости от концентрации УНМ через разное время происходила очистка воды. В пробирке с концентрацией 1/1024 нанотрубки выпадают в осадок примерно за 1 час, то есть намного быстрее, чем в пробирке с концентрацией 1/2, где вода полностью очищается только через 2 дня. Для исследования степени очистки был использован автоматический анализатор Nicomp ZPW388, служащий для определения размеров частиц в субмикронном диапазоне.

Выводы:

1. Дрожжи являются эффективными адсорбентами для углеродных наноматериалов.

2. Углеродные нанотрубки оказывают положительное воздействие на рост и размножение дрожжей, меняют интенсивность размножения, в зависимости от концентрации уменьшают или увеличивают время полного размножения, влияют на продолжительность размножения, на увеличение численности одноклеточных.

3. Интенсивность, время жизнедеятельных процессов дрожжей, увеличение численности в результате размножения зависит от концентрации УНМ в растворе не линейно, зависимость скачущая, то есть не является только возрастающей или убывающей линией.

4. Наибольшее увеличение численности дрожжей при определенной концентрации из всех взятых совершенно не значит, что время полного размножения будет наименьшим или наибольшим. Таким образом, время полного размножения и увеличение численности дрожжей два совершенно не связанных друг с другом показателя.

Анализ полученных результатов показывает довольно сложную зависимость реакции одноклеточных на концентрацию УНМ в воде. Вода с меньшей концентрацией УНМ может приводить к существенному росту численности дрожжей, что в условиях реальной экосистемы может привести к ее выходу из

равновесного состояния. Таким образом, понятие предельно допустимого загрязнения по отношению к УНМ теряет смысл.

*Список использованной литературы*

1. Ткачев А.Г. Углеродный наноматериал «Таунит» – структура, свойства, производство и применение.
2. <http://medicinacom.ru/adsorbtsiya-virusov-zhivyimi-mikrobami.html>.
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B1%D1%86%D0%B8%D1%8F>.
4. <http://www.astrapharm.ru/biologicheskie-svoistva-preparata-biokorrektor-rd.html>.
5. <http://elibrary.ru/item.asp?id=9545648>.
6. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Дрожжи>.
7. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Углеродные\\_нанотрубки](http://ru.wikipedia.org/wiki/Углеродные_нанотрубки).

**Формирование, развитие и характер структур наблюдаемых при сушке на подложке капель жидких дисперсных продуктов**

Пахомов А.Н., Банин Р.Ю., Елисеева И.Г., Черных Е.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

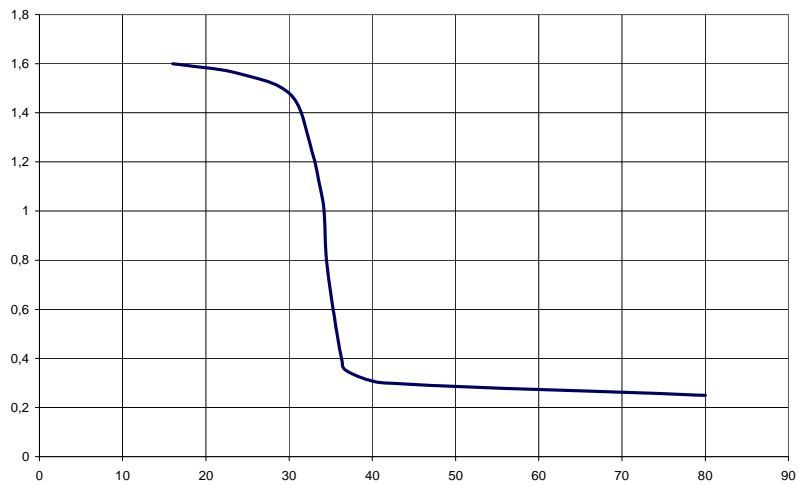
Характерной особенностью процесса сушки капель жидких дисперсных продуктов на подложке является наличие определенных структур возникающих как на поверхности высыхающей капли, так и в ее объеме. Нами были проведены исследования характера формирования и развития таких структур при сушке отдельных капель жидкой полеспиртовой барды на твердой подложке. При сушке капли жидкой послеспиртовой барды на горизонтальной подложке в потоке сушильного агента с температурой от 60 до 160 °С и скоростью от 1 до 7 м/с наблюдалось изменение цвета поверхности высыхающей капли, формирование в объеме и на поверхности капли разнообразных по форме и скорости течений и образование на поверхности определенной структуры, названной нами пленкой, которая определяет форму капли и характер ее высыхания.

Для определения характера возникновения подобных структур нами были проведены одновременные замеры веса капли, температуры капли на подложке, диаметра и толщины капли. Взаимосвязь температуры и толщины капли в процессе сушки для некоторых режимов представлена на рис. 1.

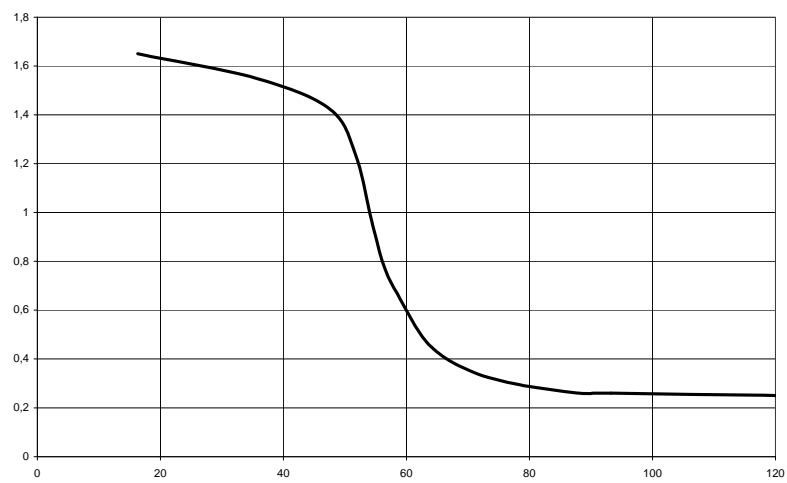
Как следует из анализа полученных данных, максимальная усадка капли наблюдается до времени начала формирования корки.

При наличии обдува капли газом внутри и по поверхности капли начинают наблюдаться образование и устойчивое существование циркуляционных течений различной формы и скорости.

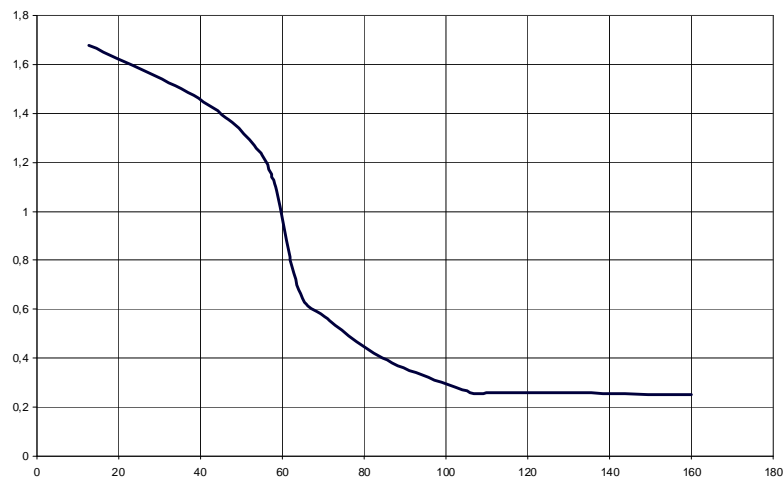
Для определения характера этих течений нами использовалась макровидеосъемка. На поверхность барды помещался легкий нерастворимый маркер (один или несколько). В качестве маркера была выбрана частица сгоревшей барды размером около 0.1 мм. Анализ видеозаписей поведения маркеров показал следующее.



**80 °C 3 м/с**



**120 °C 3 м/с**



**160 °C 3 м/с**

Рис. 1. Зависимость толщины капли от температуры капли при  $w = 3 \text{ м/с}$ ;  $T = 80, 120, 160 \text{ °C}$

При обдуве капли потоком, скорость которого не превышает 3-4 м/с, наблюдается два ярко выраженных крупных продольных по направлению потока циркуляционных течения направленных друг к другу. Скорость течения жидкости в подобных течениях примерно одинакова. Размер формирующихся течений может быть не одинаковым. Одно течение может вовлекать в себя больший объем жидкости, другое – меньший. Скорость течения жидкости в таких потоках разная, причем в большем по контуру течении наблюдается большая скорость, а в меньшем – меньшая. Иногда изменение размеров циркуляционных течений имеет т.н. пульсирующий характер (сначала увеличение одного контура, затем его уменьшение), что приводит к взаимному пересечению вихрей и формированию сложного контура течения в форме восьмерки течения. При этом формируются мелкие вихри в остальном сечении капли, направление вращения которых может быть разным.

Увеличение скорости обдува (более 5-6 м/с) приводит к повороту циркуляционных течений на 90°. При этом могут наблюдаться два ярко выраженных крупных циркуляционных течения направленных друг к другу, но поперек потока. Скорость течения жидкости в подобных течениях разная. Как правило, в лобовом контуре (ближнем к потоку), скорость меньше, чем в тыловом (дальнем от набегания потока).

Аналогично продольным течениям, формирующимся при малых скоростях обдува, размер формирующихся поперечных течений при высоких скоростях обдува может быть не одинаковым. Одно течение может вовлекать в себя больший объем жидкости, другое – меньший. Скорость течения жидкости в таких потоках разная, причем в большем по контуру течении наблюдаемая скорость часто больше, чем в меньшем контуре. Также, как правило, в лобовом контуре (ближнем к потоку) скорость меньше, чем в тыловом (дальнем от набегания потока).

Наконец при скоростях обдува более 7 м/с наблюдается сильное колебание поверхности капли и перемещение части капли с подложки со стороны потока в сторону тыла капли. Маркеры собираются в тыльной стороне капли и совершают низкоамплитудные колебательные движения.

Исходя из собственного анализа характера течений в капле, можно предположить сложный характер возникновения и развития этих течений связанный со следующими факторами:

1) *Характер (фракционный состав, размеры, плотность и т.п.) дисперсной фазы в испаряющейся капле.*

Так, например, с определенной долей достоверности можно утверждать, что чем меньше вязкость жидкой фазы, тем легче возникают вихревые течения. При этом размер этих течений меньше, чем для среды с большей вязкостью.

Для воды вихревые течения более ярко выражены, чем для барды.

Чем меньше концентрация твердой фазы, тем легче формируется циркуляционное течение.

Например, в сиропе практически не наблюдается циркуляционных течений.

2) *Скорость и взаимное ориентирование потока сушильного агента и поверхности капли*

Так, например с определенной долей достоверности можно утверждать, что в диапазоне скоростей, которые не сдувают каплю с подложки, чем выше скорость, тем легче формируется циркуляционное течение.

Так например, для воды и для барды при скорости сушильного агента 3 м/с циркуляционное течение менее интенсивное, чем при скорости 5 м/с.

3) *Интенсивность теплоподвода со стороны подложки.*

С определенной долей достоверности можно утверждать, что чем выше градиент температур в капле, тем легче формируется вихревое течение.

Так, например, для воды в начале процесса сушки капли интенсивность циркуляции выше, чем в первом периоде.

4) *Характер взаимодействия подложки и испаряющейся жидкости.*

Так, например, с определенной долей достоверности можно утверждать, что чем выше адгезия жидкости к подложке, тем труднее формируются циркуляционные течения.

Так, например, для воды циркуляционные течения более интенсивные, чем для барды в сходных условиях.

Указанные факторы могут влиять как отдельно, так и в комплексе, что требует дополнительных исследований в этой области.

На поверхности высыхающей капли барды в определенный момент времени начинает формироваться тонкая пленка. Это явление хорошо визуально наблюдается при анализе макро-видеосъемки поверхности высыхающей капли с разных углов зрения. Анализ макро-видеосъемки позволяет увидеть характер формирования тонкой пленки на поверхности (рис. 2).

Тонкая пленка на поверхности высушиваемой барды формируется при всех исследованных режимах сушки. Соединение визуальных наблюдений с термограммой и кривой сушки, позволяет определить время и температуру образца при начале формирования пленки.

Исходя из полученных данных, можно предположить следующий механизм процесса сушки капли жидкой послеспиртовой барды, в ходе которого идет формирование тонкой пленки, а затем и твердой корки.

#### *Формирование пленки.*

Мелкие частицы твердой фазы увлекаютсядвигающейся к поверхности испарения жидкостью. По мере роста температуры на поверхности увеличивается градиент температуры по толщине капли, который приводит к увеличению концентрации мелких частиц твердой фазы на поверхности, что соответственно приводит к агрегации их в определенную структуру – тонкую проницаемую для испаряющейся жидкости пленку.

Сформировавшаяся пленка несколько снижает поверхность испарения, что приводит к вырождению (монотонному увеличению значения температуры) площадки мокрого термометра на термограмме.

В процессе испарения капля теряет влагу и следовательно начинает уменьшаться в объеме. Так как по поверхности капли сформировалась устойчивая пленка, то идет процесс уменьшения толщины капли послеспиртовой барды в режиме закрепления контактной линии капли (т.н. режим пиннинга контактной линии), в отличии от капли воды.

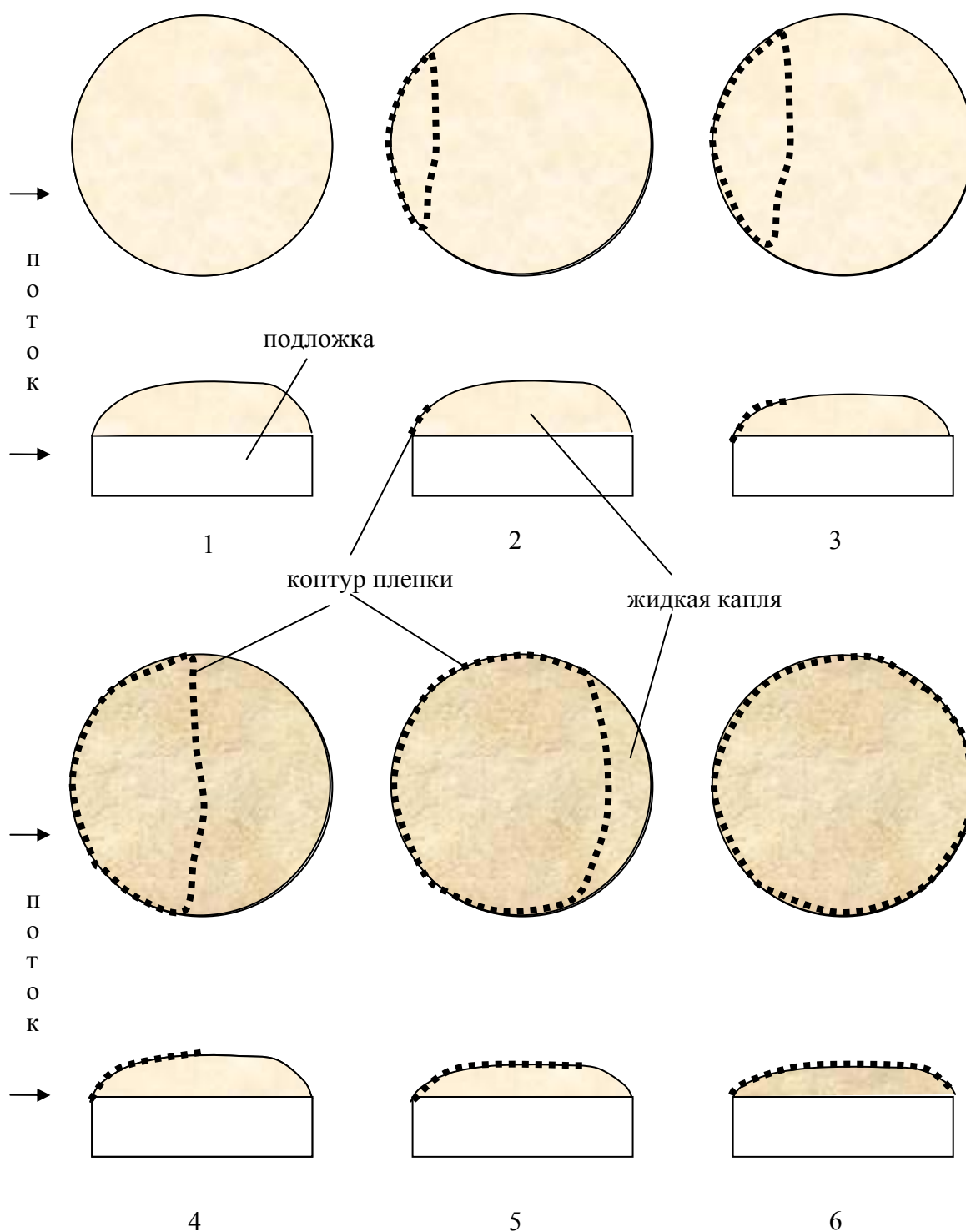


Рис. 2. Формирование тонкой пленки на поверхности высыхающей капли барды, нанесенной на твердую подложку:  
 1 – капля в начале процесса сушки;  
 2-5 – процесс формирования пленки;  
 6 – капля покрыта пленкой полностью  
 (процесс сушки идет, капля еще не высохла)



Испарение капли жидкости на твердой подложке в режиме закрепления контактной линии наблюдается для многих биологических жидкостей (кровь), пищевых продуктов (кофе, чай), коллоидных растворов. При высыхании капель таких жидкостей наблюдается т.н. эффект «кофейных колец». Большинство авторов исследовавших этот процесс [1-6] приходят к выводу, что явление закрепления линии контакта происходит вследствие миграции частиц коллоидных размеров к линии контакта твердое тело – газ – жидкость. Частицы мигрируют вследствие наличия течений внутри капли. В результате коллоидные частицы собираются у контактной линии и формируют определенную структуру – «краевой валик». Эта структура препятствует сжатию капли по поверхности подложки. Капля высыхает, уменьшая только свою толщину.

#### *Формирование корки.*

В момент времени, когда в толще капли не остается свободного пространства для движения крупных частиц твердой фазы начинается формирование корки.

Твердые частицы, закрепленные на месте в корке, начинают высыхать сверху и по мере высыхания изменяют цвет. Одновременно, зона испарения оставшейся влаги движется к поверхности твердой подложки. То есть наблюдается режим углубления зоны испарения. На этом этапе процесс сушки аналогичен сушке капиллярно-пористого тела во втором периоде (характер кривых сушки и термограмм аналогичен), но осложненный тем, что одновременно с углублением зоны испарения происходит сушка частиц из которых состоит корка. Эти частицы в процессе сушки термодеструктурируются. Проницаемость верхних слоев уменьшается и при определенных условиях (например, при интенсивном теплоподводе при  $T > 140$  °C) может уменьшиться практически до нуля. При этом в нижних слоях еще, как правило есть влага. Эта влага начинает кипеть при  $T > 100$  °C и образовавшийся пар прорывает корку (прорыв наблюдается визуально в виде формирующихся и лопающихся на поверхности пузырей). Эта картина наблюдается при жестких режимах ( $T > 140$  °C) по центру и по краям капли, а при более мягких режимах (при температуре сушильного агента от

100 до 140 °С) только по краям капли. Это можно объяснить тем, что на краю высыхающей капли, толщина капли сравнима с размерами частиц твердой фазы, следовательно формирование пленки и корки идет быстрее чем в центральной зоне капли.

Визуальные наблюдения характера формирования пленки, изменения размеров капли, характер изменения цвета корки косвенно подтверждают правоту предложенного механизма формирования корки и пленки.

#### *Список использованной литературы*

1. Бараш, Л.В. Испарение и динамика лежащей на подложке капли : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.17.08 / Л.В. Бараш. – М., 2009. – 19 с.

2. Водолазская, И.В. Моделирование эволюции фазового фронта в высыхающей на горизонтальной подложке капле коллоидного раствора / И.В. Водолазская, Ю.Ю. Тарасевич, О.П. Исакова. // Нелинейный мир. – Т. 8, № 3. – 2010. – С. 142-150.

3. Тарасевич, Ю.Ю. Качественный анализ закономерностей высыхания капли многокомпонентного раствора на твердой подложке./ Ю.Ю. Тарасевич, Д.М. Православнова // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – Вып. 2. – С. 53-56.

4. Пахомова, Ю.В. Особенности механизма и кинетики сушки капель дисперсий (на примере сушки послеспиртовой барды) / Ю.В. Пахомова, В.И. Коновалов, А.Н. Пахомов // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 70-82.

5. Пахомова, Ю.В. Оценка качества готового продукта при сушке жидких дисперсных веществ / Ю.В. Пахомова, В.И. Коновалов // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 2(33). – С. 407–412.

6. Коновалов, В.И. Геометрия, циркуляция и тепломассоперенос при испарении капли на подложке/ В.И. Коновалов, А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 371-387.

УДК 66. 047

ББК Л 872.09

## **Экспериментальные исследования свойств жидкой послеспиртовой барды**

Пахомова Ю.В., Слюняева С.Ю., Тришакова Т.А., Сахарова Е.М.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В качестве исследуемого продукта для сушки капель на подложке нами была выбрана жидкая послеспиртовая барда. Для анализа особенностей кинетики сушки барды и наблюдаемых структурных эффектов были произведены исследования для определения плотности, вязкости, поверхностного натяжения и угла смачивания жидкой барды.

### *Определение плотности и вязкости жидкой барды*

Плотность жидкой послеспиртовой барды определялась нами стандартным образом путем взвешивания пробы барды, помещенной в мерный цилиндр, на весах ВК-150.1.

Полученные значения плотности для жидкой послеспиртовой барды при температуре 20 °С составляют от 1012 до 1043 кг/м<sup>3</sup>. Такой разброс полученных значений связан со следующими факторами:

- плотность послеспиртовой барды зависит от концентрации твердой фазы (в исследуемых образцах концентрация сухих веществ составляла от 7 до 9,8 %);
- плотность послеспиртовой барды зависит от концентрации растворенных веществ (в исследуемых образцах концентрация растворенных веществ составляла от 2 до 5 %);
- плотность послеспиртовой барды сильно зависит от сырья, которое было использовано для приготовления бражки, тонкости помола, режима брожения и режима работы бражной колонны.

Если измерять плотность послеспиртовой барды в малых объемах, то разброс по плотности может увеличиваться от 1012 до 1053 кг/м<sup>3</sup> за счет расслаи-

вания жидкой барды и неравномерности состава твердой фазы в выбранном образце.

Вязкость жидкой послеспиртовой барды определялась с использованием вискозиметра.

Полученные значения вязкости для жидкой послеспиртовой барды при температуре 20 °С составляют от 1,2 до 1,8 мПа·с. Такой разброс полученных значений также как и для плотности можно объяснить следующим образом:

– вязкость послеспиртовой барды зависит от концентрации твердой фазы (в исследуемых образцах концентрация сухих веществ составляла от 7 до 9,8 %);

– вязкость послеспиртовой барды зависит от концентрации растворенных веществ (в исследуемых образцах концентрация растворенных веществ составляла от 2 до 5 %);

– вязкость послеспиртовой барды сильно зависит от сырья, которое было использовано для приготовления бражки, тонкости помола, режима брожения и работы бражной колонны.

Соответственно можно сделать вывод о том, что плотность и вязкость продуктов спиртового производства зависит от концентрации растворенных веществ, от концентрации нерастворенных веществ, от режима производства.

Для некоторых жидкостей (например, сушло значения вязкости могут отличаться в 1.5 – 2 раза в зависимости от применяемых материалов и режима обработки).

*Определение коэффициента поверхностного натяжения и угла смачивания жидкой барды*

Определение угла смачивания является важным вопросом при решении задачи тепло-массопереноса при сушке капли на подложке, т.к. в процессе высыхания изменяется форма капли. Вообще, определение угла смачивания является принципиальным, имеющий большой теоретический интерес, не только при сушке, но и в области адсорбции, адгезии, применении поверхностно-активных веществ, пленок, волокон и.т.п. Исследованиями в этой области в разное время

занимались крупнейшие учёные (Б.В. Дерягин, Л.Д. Ландау и др.). До сих пор появляются публикации, посвященные этому вопросу [1, 4-6].

Однако надёжных данных по углам смачивания быть не может: смачиваемость – это крайне нестабильный процесс, сильно зависящий от примесей в жидкости (даже при казалось бы незначительных концентрациях), загрязнений поверхности и т.п.

Поэтому мы использовали метод обрисовки формы сидячей на поверхности подложки капли. Жидкость дозировалась на подложку и производилась макросъемка капли с оптическим 12х увеличением. Затем форма капли анализировалась в графическом редакторе на компьютере. В частности измерялась толщина и диаметр капли, угол смачивания.

Подобный метод успешно используется в настоящее время на кафедре ТПиА ТГТУ. Только раньше делали проекцию капли на экран и обрисовывали ее контур вручную, затем производили необходимые измерения и расчеты. Таким образом, например, проводили измерение угла смачивания капли на волокне в исследованиях процессов сушки кордных материалов [2].

Как показал опыт исследований процессов сушки, проводимых на кафедре ПАХТ ТГТУ, и опубликованные результаты исследований других авторов, по фторопласту данные по смачиваемости не надёжны [3].

Ориентировочно (в зависимости от чистоты поверхности фторопласта, свойств барды) угол смачивания жидкой послеспиртовой барды и фторопласта может составлять от 45 до 90 град.

#### *Список использованной литературы*

1. Дохов, М.П. Влияние кривизны на испарение малых капель жидкостей/ М.П. Дохов // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – № 5. – С. 83-84.
2. Гатапова, Н.Ц. Кинетика и моделирование процессов сушки растворителей, покрытий, дисперсий, растворов и волокнистых материалов: единый подход : дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.08 : защищена 10.06.2005 / Гатапова Наталья Цибиковна. – Тамбов, 2005. – 554 с.

3. Чегодаев Д.Д. Фторопласты / Д.Д. Чегодаев, З.К. Наумова, Ц.С. Дунаевская. – Л.: ГХИ, 1960. – С. 43-45, 33.
4. Коновалов, В.И. Геометрия, циркуляция и тепломассоперенос при испарении капли на подложке/ В.И. Коновалов, А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 371-387.
5. Пахомов, А.Н. Возможности самоорганизации дисперсных систем при сушке на подложке/ А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова, Е.А Ильин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 633-637.
6. Liming Che, Convective drying kinetics of single droplets of aqueous glucose / Liming Che, Dong Li, Xiao Dong Chen // 7th Asia-Pacific Drying Conference (ADC 2011), Tianjin, China, 18-20 September 2011. – Tianjin, 2011 – 1. General statements. – Vol. B. – P. 5-28.

**Разработка конструкции экспериментальной установки для получения высококачественных смесей сыпучих материалов**

Поляков Б.Е.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В настоящее время возросли требования к качеству смесей сыпучих материалов. Наиболее высокие требования предъявляются к смесям, содержащим частицы наноматериалов. При этом содержание этих компонентов в общем объеме смеси весьма незначительно.

Для получения высококачественных смесей с малыми количествами ключевых компонентов разработан целый ряд конструкций циркуляционных смесителей. Наиболее перспективными, на мой взгляд, являются циркуляционные смесители с упорядоченной загрузкой компонентов [1, 2]. Проведение смешивания с использованием этих конструкций и способов позволяет, но не гарантирует получение положительного результата без обеспечения определенных режимов работы. Особый интерес представляет методика проведения процесса с использованием упорядоченной загрузки компонентов смеси в циркуляционный смеситель, причем характер этого процесса должен быть предварительно рассчитан для любых конкретных сочетаний компонентов сыпучих материалов [3, 4].

Устройство для осуществления указанного способа показано на рис. 1. На рис. 1 показано поперечное сечение смесителя  $A-A$ . Конструкция включает в себя смеситель 1, с узлами загрузки 2-4, узел выгрузки готовой смеси 5, дозаторы 6-8 для непрерывной подачи компонентов  $A$ ,  $B$  и  $C$ , соответственно, перфорированные трубы 9 и 10 с приводами вращения 11 и 12.

Устройство работает следующим образом: основной компонент  $A$  с помощью узла загрузки вводится в смеситель. Ключевые компоненты с помощью узлов загрузки 3 и 4 вводятся в перфорированные трубы таким образом, чтобы

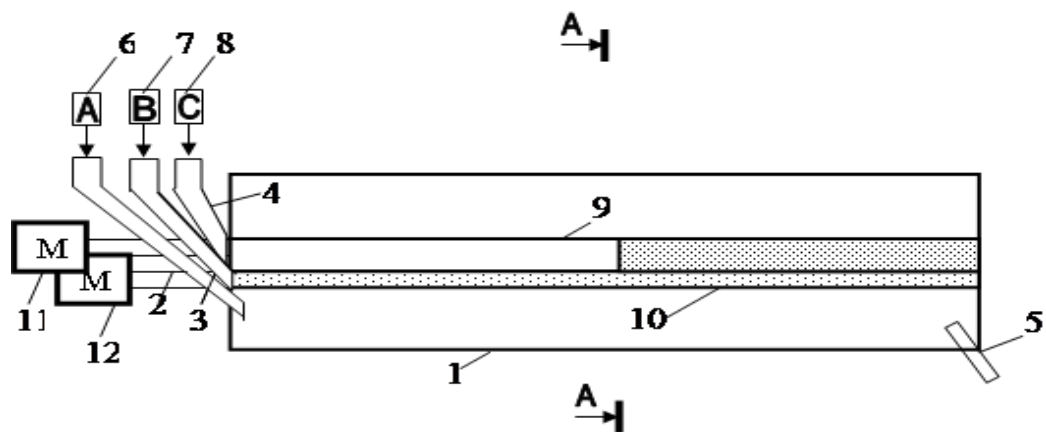


Рис. 1

они были заполнены соответствующими сыпучими материалами. Перфорация на трубе 9 для подачи в барабан наиболее склонного к сегрегации ключевого компонента начинается не с начала трубы, а на определенном расстоянии от места выгрузки. В частности, компонент С начинали загружать в сечении, когда время пребывания двух основных составляющих смеси соответствовало расчетному моменту времени ввода данного компонента. При этом загрузка ключевых компонентов в смеситель осуществляется через отверстия перфорации в трубах. Диаметр отверстий подбирается таким образом, чтобы через них производилась вполне определенная, необходимая по требованиям к готовой смеси, загрузка ключевых компонентов в смеситель, в результате вращения труб приводами 11 и 12.

На рис. 2 показано сечение трубы 13 с установленной на ней перфорированной обечайкой 14. Отверстия на обечайке расположены таким образом, что в случае, показанном на этом рисунке возможна выгрузка сыпучего материала через все отверстия трубы. При повороте обечайки относительно трубы на некоторый угол против часовой стрелки возникает перекрытие одного отверстия трубы, двух и т.д. до полного перекрытия отверстий в трубе. Вследствие того, что на трубе установлен ряд подобных обечаек, возможно на определенных участках трубы как полное, так и частичное перекрытие отверстий для осуществления необходимого регламента загрузки ключевых компонентов.



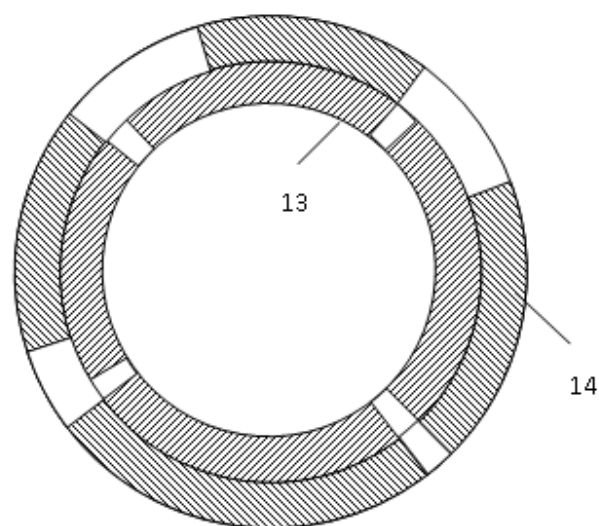


Рис. 2

К недостаткам данного технического решения можно отнести сложность конструкции элементов подачи ключевых компонентов в смеситель. Узлы подачи ключевых компонентов можно упростить. Позиции с 1 по 8 на этом рисунке соответствуют этим же позициям на рис. 1.

Ключевые компоненты В и С подаются на ленточные дозаторы 9 и 10 (рис. 3). На концах дозаторов, введенных внутрь смесителя, закреплены перфорированные лотки 11 и 12, которые представляют собой П-образные профили из тонкого листового металла, с перфорацией в их основании. При этом они расположены под определенным углом к горизонту. Сыпучий материал с каждого ленточного дозатора попадает на лоток и за счет того, что он имеет определенный угол наклона к горизонту, равномерно распределяется по длине. Частицы ключевого компонента, высыпаясь из отверстий перфорации, попадают на открытую поверхность циркуляционного контура, т.е. в полном соответствии с вариантом, соответствующем рис. 1. Плотность перфорации и угол наклона выбираются таким образом, чтобы ключевой компонент равномерно распределялся по длине участка загрузки. Лотки фиксируются с помощью консольных креплений за неподвижные оси 13, 14 ленточных транспортеров, с возможностью регулировки углов наклона. Позициями 15 и 16 обозначены приводы ленточных дозаторов.

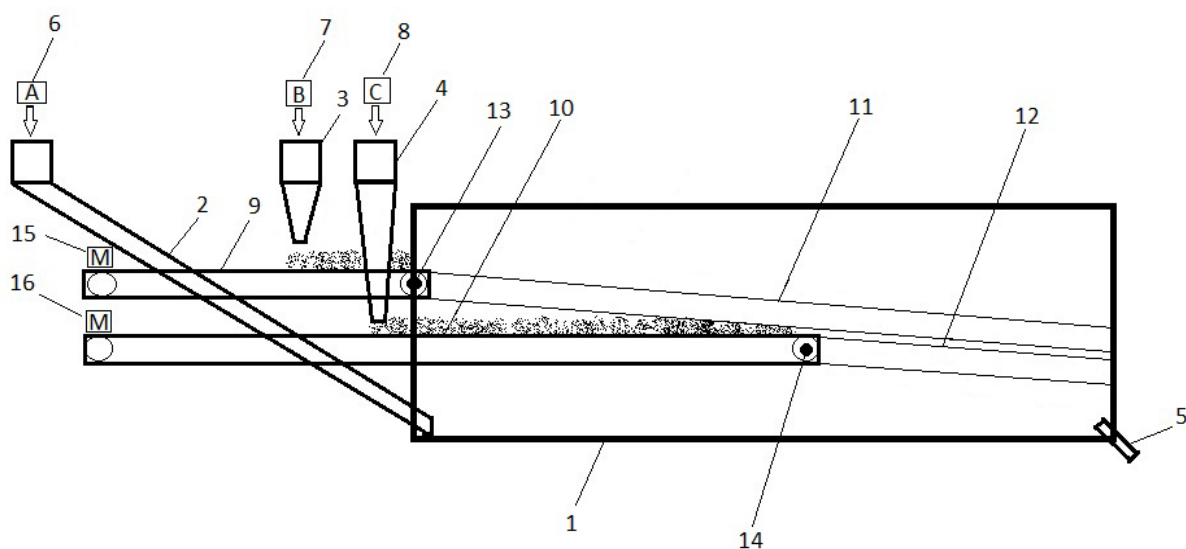


Рис. 3

В результате использования представленной конструкции можно устранить из смесителя вращающиеся перфорированные трубы 9 и 10 (см. рис. 1), заменив их более простыми элементами конструкции – неподвижными перфорированными лотками. При этом полностью реализуется запатентованный способ непрерывного приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов [3].

#### *Список использованной литературы*

1. А. с. 1125036 СССР, МПК В 01 F 3/18. Барабанный смеситель / Макаров Ю.И., Квак А.Г., Репкин Ю.А. и др.; заявитель и патентообладатель Моск. институт хим. машиностроения. – 1984. – Бюл. № 43.
2. А. с. 1509073 СССР, МПК В 01 F 3/18. Барабанный смеситель сыпучих материалов / Першин В.Ф., Селиванов Ю.Т., Ткачев А.Г. и др.; заявитель и патентообладатель Тамб. институт хим. машиностроения. – 1990. – Бюл. № 38.
3. Патент № 2207900 Российская Федерация, МПК В 01 F 3/18. Способ непрерывного приготовления многокомпонентных смесей и устройство для его реализации / Селиванов Ю.Т., Першин В.Ф., Орлов А.В.; заявитель и патентообладатель Тамб. госуд. техн. университет. – 2003. – Бюл. № 19.
4. Першин, В.Ф. Расчет регламента загрузки компонентов в барабанный смеситель / В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов // Вестник ТГТУ. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 591-598.

УДК 628.166

ББК В 253.3

### **Кавитационные технологии дезинфекции и очистки жидкостей**

Промтов М.А., Степанов А.Ю., Алешин А.В., Ионов Г.В.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Традиционные методы очистки и обеззараживания жидкостей (воды, пищевых и фармацевтических продуктов) основаны на их механической, физико-химической и биологической обработке. На современном этапе развития технологий возрастают требования к остаточному содержанию реагентов, используемых для обеззараживания жидкостей, содержанию вредных и опасных веществ. В связи с этим, растет интерес к безреагентным методам обработки жидких сред. Безреагентные методы очистки не загрязняют природную среду химическими веществами, не оказывают вредного или раздражающего воздействия на организм человека при контакте с очищенной водой и другими жидкостями. Для небольших или вахтовых поселений необходимы модульные недорогие установки безреагентной очистки воды с минимальным удельным энергопотреблением. В таких модульных установках очистки и обеззараживания могут применяться ультрафиолетовое облучение, электроразрядная, кавитационная обработка и другие способы физического воздействия на жидкости. При сравнении различных методов обеззараживания, кавитация оказывается относительно недорогим способом. Если финансовые затраты на кавитационную дезинфекцию единицы объема питьевой воды принять за единицу, то затраты на ультрафиолетовую обработку больше примерно в 1,6 раза, на хлорирование – в 3 раза, озонирование – в 10 раз [1]. Кавитационные технологии показывают хорошую эффективность для интенсификации химико-технологических процессов в жидкостях, в том числе и для их очистки, пастеризации и обеззараживания [2-7].

Под кавитацией в жидкости понимают образование заполненных паром и газом полостей или пузырьков при локальном понижении давления в жидкости

до давления насыщенных паров. Соотношение содержания газа и пара в полости может быть различным. Необходимо отметить, что понижение давления в жидкости до давления насыщенных паров возможно также при кипении или вакуумировании жидкости. Но эти процессы распространяются по всему объему жидкости в отличие от кавитации, которая имеет ограниченную область.

Кавитация представляет собой средство локальной концентрации энергии низкой плотности в высокую плотность энергии, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В фазе разрежения акустической волны или за счет местного понижения давления, например, при обтекании твердого тела, в жидкости образуются каверны. В фазе сжатия под действием внешнего давления и сил поверхностного натяжения каверна захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Через стены каверны в нее диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию.

В момент схлопывания кавитационной каверны, давление и температура газа локально могут достичь значительных величин (по расчетным данным до 100 МПа и до 10000°K) [8]. После схлопывания каверны в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве. При генерировании импульсных растягивающих напряжений в жидкости, присутствующие в ней зародыши кавитации (устойчивые паровые и газовые пузырьки малых размеров) начинают расти, образуя кавитационный кластер, форма и размеры которого определяются начальным спектром размеров кавитационных зародышей, характером прикладываемого напряжения и граничными условиями.

Энергетическая эффективность метода создания кавитационных пузырей с заданными динамическими параметрами может быть принята как главный критерий для сравнения различных видов кавитации [9-11]. Кавитацию и методы создания кавитационных каверн можно разделить на следующие виды:

1. Акустическая кавитация (Acoustic Cavitation): кавитационные каверны генерируются за счет прохождения через жидкость звуковых волн, как правило,

ультразвукового диапазона (16 кГц – 100 МГц). Исследование химических изменений веществ, вследствие кавитации, вызванной прохождением через жидкость звуковых волн, относится к разделу химии, называемой звукохимией (Sonochemistry).

2. Гидродинамическая кавитация (Hydrodynamic Cavitation): кавитация генерируется за счет локального понижения давления в жидкости за счет изменения геометрии гидравлической системы, создающей изменение скорости потока. Например, изменение давления и скорости потока жидкости при обтекании твердых тел различной конфигурации, при протекании потока через местное сужение в отверстиях, трубе Вентури и т.п.

3. Оптическая кавитация (Optic Cavitation): кавитационные каверны образуются за счет пропускания через образец жидкости световых фотонов высокой интенсивности (лазерное облучение), которые локально создают разрывы в жидкости.

4. Кавитация от частиц высокой энергии (Particle Cavitation): генерируется пучком частиц высокой энергии, например лучом нейтронов, проходящим через жидкость в пузырьковой камере.

Выделяющейся в процессе схлопывания пузырька энергии достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной полости. На этой стадии любой из присутствующих газов является активным компонентом, участвуя в передаче энергии возбуждения, перезарядке и других процессах. При схлопывании кавитационного пузырька в раствор переходят радикалы  $H^\circ$ ,  $OH^\circ$ , ионы и электроны малой энергии, образовавшиеся в газовой фазе при расщеплении молекулы  $H_2O$  и веществ с высокой упругостью пара, продукты их взаимодействия и частичных рекомбинаций, а также метастабильные возбужденные молекулы  $H_2O$ . Независимо от природы растворенных веществ, акустическая волна действует на одно вещество – на воду, что приводит к изменению ее физико-химических свойств: увеличению рН, электропроводности воды, увеличению числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул [12-16].

При кавитационном воздействии на воду разрушаются коллоиды и частицы, внутри которых могут содержаться бактерии, микроорганизмы лишаются защиты перед другими химическими и физическими воздействиями кавитации. Бактерицидное действие кавитации прямо пропорционально ее интенсивности, кратности или времени обработки. Кавитация способна дробить крупные молекулы органики, являющимися центрами образования кавитационных пузырьков точно так же, как и микробы являются центрами притяжения кавитационных образований. По размеру, микробы соизмеримы с крупными молекулами органики, особенно с молекулами тяжелых нефтепродуктов [1].

Воздействие кумулятивных струй жидкости, локальные пульсации давления и температуры при схлопывании кавитационных пузырьков способны вызывать гибель бактерий, что используется при обеззараживании жидких продуктов и растворов [17-28]. При интенсивном воздействии ударных волн в водных растворах было показано уменьшение численности в тысячи раз санитарно значимых представителей семейства *Enterobacteriaceae* – грам-отрицательных бактерий *Echerichia coli* и *Salmonella* sp.

Эффективность биологической очистки сточных вод повышается за счет использования в качестве активного ила на стадии аэрации вспухшего ила, работоспособность которого обеспечивается кавитационной обработкой подаваемой сточной воды в кавитационном аппарате, циркулирующей в процессе сорбции и окисления смеси сточной воды и активного ила. При перекачке возвратного вспухшего ила на регенерацию и во время регенерации подают атмосферный воздух и производят диспергирование иловоздушной смеси и ее насыщение растворенным кислородом. Импульсное многофакторное воздействие на сточную воду и иловые отложения позволяет искусственно культивировать вспухший ил, так как кавитационная обработка способствует переходу микрофлоры активного ила в нитчатую (палочковую) форму, а также позволяет поддерживать окислительную и сорбционную его способность на наиболее высоком уровне. При кавитационной обработке образуется вспухший ил и подавля-

ется рост иных видов микроорганизмов, обладающих значительно более низкой способностью объемного сорбирования, происходит процесс разрушения флокул и переход задержанного ила в первоначальное хлопьевидное состояние, что позволяет производить процесс регенерации без регенераторов и удешевить процесс очистки [29, 30].

Кавитационная обработка позволяет регенерировать эмульсии смазочно-охлаждающих жидкостей, предназначенные для утилизации. Кавитационная обработка улучшает не только биологическую стабильность эксплуатируемой эмульсии, но и позволяет улучшить ее технологические свойства [7, 31].

Нами проведены исследования по кавитационной обработке в роторном импульсном аппарате сточной воды, которые показали, что количество общих колиформных бактерий (ОКБ) уменьшилось почти в 100 тысяч раз, количество термотолерантных бактерий (ТКБ) – в 60 тысяч раз, количество колифагов (бактериальных вирусов) – более чем в 80 раз (табл. 1).

Таблица 1

Результаты кавитационной обработки сточной воды

Анализируемые показатели	Единицы измерения	Метод проведения анализа	Содержание в сточной воде	
			до обработки	после обработки
Общие колиформные бактерии – ОКБ (интегральный показатель фекального загрязнения)	КОЕ/100мл	Метод мембраной фильтрации	$9 \times 10^4$	не обнаружены
Термотолерантные колиформные бактерии – ТКБ (подтверждение фекального загрязнения)	КОЕ/100мл	Метод мембраной фильтрации	$6 \times 10^4$	не обнаружены
Колифаги (бактериальные вирусы)	БОЕ/100мл	Титрационный метод	86	не обнаружены

Одной из проблем при производстве жидких органических удобрений из торфа и сапропеля является присутствие в растворе готовой продукции живых клеток бактерий и спор грибов, свободноплавающих и иммобилизованных на остатках частиц исходного материала. Некоторые виды грибов могут проявлять фитопатогенные свойства. При длительном хранении органических удобрений такие микроорганизмы способны активно расти и размножаться. Их развитие и накопление продуктов жизнедеятельности могут приводить к снижению качества готовой продукции [27].

После кавитационной обработки жидких органических удобрений в роторных импульсных аппаратах (РИА) выявлено снижение численности бактерий в 2–10 раз. Импульсная многофакторная обработка приводила и к снижению численности грибных спор, особенно малого размера (диаметром менее 3 мкм), но почти не влияла на численность более крупных спор и содержание грибного мицелия, что указывает на преобладание кавитационного фактора воздействия на споры и грибные мицелии.

Результатом импульсной многофакторной обработки в РИА явилось снижение в 2 раза численности способных к росту колониеобразующих единиц – спор и фрагментов мицелия – культивируемых микроскопических грибов. Видовое разнообразие грибов после обработки сохранялось, существенного изменения таксономического состава содержащихся в образцах микромицетов не отмечено. В тоже время после импульсной многофакторной обработки установлено снижение уровня присутствия ряда видов, в том числе доминирующих грибных комплексов [27].

#### *Список использованной литературы*

1. Шиян, Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.
2. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing / Under edition Hao Feng, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Jochen Weiss // Springer Science + Business Media, LLC. 2011. – 678 p.



3. Kumar, J. K. Cavitation – a New Horizon in Water Disinfection. Water disinfection by ultrasonic and hydrodynamic cavitation / J.K. Kumar, A.B. Pandit. VDM Verlag. 2010. – 304 p.
4. Ashokkumar, M. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing / M. Ashokkumar, R. Rink, S. Shestakov // Electronic Journal «Technical Acoustics», URL: <http://www.ejta.org>, - 2011, 9.
5. Промтов, М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М.А. Промтов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869.
6. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества. Учебное пособие. – М.: «Издательство Машиностроение – 1», 2004. – 136 с.
7. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
8. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. - М.: Мир, 1974. – 668 с.
9. Young F.R. Cavitation. McGraw-Hill, London, UK, 1989.
10. Gogate R.P. Cavitation reactors for process intensification of chemical processing applications: A critical review. Chemical Engineering and Processing, 47, 2008. 515–527.
11. Gogate R.P., Pandit V.A. Application of Cavitation reactors for cell disruption for recovery of intracellular enzymes. J. Chem. Technol. Biotechnol., 83, 2008. 1083–1093.
12. Маргулис, М.А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях): Учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1984. – 272 с.
13. Маргулис, М.А. Сонолюминисценция // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170, №3. – С. 263 – 287.
14. Волков, В.И. Механохимические преобразования воды в высокоградиентных потоках / В.И. Волков, В.Н. Беккер, И.Б. Катраков, Е.Р. Кирколуп, М.Г. Иванов // Известия Алтайского государственного университета. – 2007. – № 3. – С. 63 – 70.

15. Витенько, Т.Н. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т.Н. Витенько, Я.М. Гумницкий // Химия и технология воды, 2007. – Т. 29, № 5. – С. 422 – 432.
16. Сизых, М.Р. Перспективы применения пероксида водорода в процессах обезжелезивания природных вод / М.Р. Сизых, А.А. Батоева // Экология и промышленность России. – 2012. – Февраль. – С. 18 – 20.
17. Loraine, G. Disinfection of Gram – Negative and Gram – Positive Bacteria using DYNAJETS Hydrodynamic Cavitating Jets / G. Loraine, G. Chahine, C.-T. Hsiao, P. Aley // Ultrasonics and Sonochemistry. – 2012. – No. 19. – P. 710 – 717.
18. Effect of Hydrodynamic Cavitation on Zooplankton: a Tool for Disinfection / Subhash Shivram Sawant et al. // Biochem. Eng. J. – 2008. – No. 42(3). – P. 320 – 328.
19. Milly, P.J. Inactivation of Food Spoilage Microorganisms by Hydrodynamic Cavitation to Achieve Pasteurization and Sterilization of Fluid Foods / P.J. Milly, R.T. Toledo, M.A. Harrison, D. Armstead // Journal of Food Science. – 2007. – Vol. 72, No. 9. – P. 414 – 422.
20. Arrojo, S.A Parametrical Study of Disinfection with Hydrodynamic Cavitation / S. Arrojo, Y. Benito, A. Martinez // Science Direct. Ultrasonics Sonochemistry. – 2007. – No. 15. – P. 903 – 908.
21. Kalumuck, K.M. Remediation and Disinfection of Water Using Jet Generated Cavitation / K.M. Kalumuck, G.L. Chahine, C-T Hsiao, J-K Choi // 5th Int. Symp. on Cavitation – CAV2003, Osaka, Japan, November, 2003.
22. Mahvi, AH. Application of Ultrasonic Technology for Water and Wastewater Treatment / Iranian J. Publ. Health. – 2009. – Vol. 38, No. 2. – P. 1 – 17.
23. Тарасенков, Н.В. Повышение эффективности очистки нефтезагрязненных сточных вод на флотационных установках / Н.В. Тарасенков, В.П. Панов // Экология и промышленность России. – 2005, июнь. – С. 28 – 29.
24. Оботурова, Н.П. Исследование влияния разрядно-импульсной обработки на микробиологические показатели жидких систем / Н.П. Оботурова, А.А. Нагдалян // Сб. науч.тр. СтавропольНИИ животноводства и кормопроизводства. – 2012. – Т. 3. № 1-1. – С. 139 – 142.

25. Шестаков, С.Д. Исследования и опыт применения сонохимических технологий в пищевой промышленности / С. Д. Шестаков, О. Н. Красуля // Электронный журнал «Техническая акустика». URL: <http://www.ejta.org>. – 2010, №10. – С. 1 – 10.
26. Беляев А.Н. Оценка эффективности использования гидродинамической кавитации при хлорировании воды / А.Н. Беляев, И.В. Флегонтов, А.С. Суслов // Глобальный научный потенциал. – 2012. – № 4(13). – С. 20 – 22.
27. Гимранов, Ф.М. Оценка возможности использования комплексных методов обеззараживания воды в пищевой промышленности / Ф. М. Гимранов, А.Н. Беляев, И.В. Флегонтов, А.С. Суслов // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2012. – № 8. – С. 289 – 291.
28. Гимранов, Ф.М. Гидродинамическая кавитация как метод интенсификации процесса озонирования в пищевых технологиях / Ф.М. Гимранов, А.Н. Беляев, И.В. Флегонтов, А.С. Суслов // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2012. - №8. – С. 292 – 294.
29. Патент RU 2146231. Способ биологической очистки сточных вод. Степкин А.А., Степкина Ю.А. 10.03.2010.
30. Патент RU 2388705. Способ аэробной биологической очистки сточных вод. Маршалов О.В., Юдаев В.Ф., Биглер В.И. 27.04.2009.
31. Цыбускина, И.И. Кавитационно-тепловая обработка жидкостей как эффективный метод защиты от биопоражений / И.И. Цыбускина, В.В. Диженин, А.А. Викарчук // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2010. – Т. 12, № 1(9). – С. 2266 – 2270.
32. Промтов, М.А. Кавитационное обеззараживание жидких органических удобрений / М.А. Промтов, А.Е. Иванова, А.Ю. Степанов, А.В. Алешин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 899 – 904.

УДК 669-408.2

ББК К391

**Современное состояние исследования методов и добавок, используемых  
для повышения антифрикционных свойств армированных  
композиционных материалов**

Пыльнева Ю.И.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Современная техника нуждается в более совершенных материалах для различных деталей машин. Растут удельные нагрузки и скорости относительного перемещения трущихся деталей, ужесточаются температурные условия эксплуатации и агрессивность сред. Весьма остро стоит вопрос о снижении энергозатрат на трение, повышении долговечности и надежности трибосопряжений.

В связи с этим важное значение приобретают работы по созданию принципиально новых антифрикционных материалов с гетерофазной структурой, в том числе металлокомпозитов (МКМ), в которых искусственно объединены высокопластичные матрицы, например из сплавов алюминия, и тугоплавкие высокопрочные, высоко модульные наполнители. При таком сочетании фаз достигаются значительное повышение несущей способности подшипниковых материалов и расширение температурных интервалов работы, высокая износостойкость и задиростойкость в условиях сухого трения скольжения, стойкость против абразивного изнашивания.

Преимуществами алюминиевых сплавов в качестве матриц МКМ являются высокие показатели теплопроводности, теплоемкости, высокие технологические свойства, в том числе возможность варьирования механических свойств и износостойкости за счет выбора систем легирования и режимов термических и термомеханических обработок, литейные свойства, обрабатываемость резанием и, наконец, совместимость с дискретными наполнителями. Введение в алюминиевые сплавы армирующих частиц микронных размеров с резко отличной от матрицы твердостью не только повышает износостойкость сплавов, но вследствие возросшей гетерогенности может расширить область существования во фрикционном контакте так называемых вторичных структур, обеспечивающих

нормальное протекание процесса трения в широком диапазоне параметров нагружения.

Дискретными наполнителями для МКМ с матрицами из сплавов алюминия служат нитевидные кристаллы (НК), короткие волокна и частицы из высокопрочных, высокомодульных тугоплавких веществ с высокой энергией межатомной связи — графита, бора, тугоплавких металлов, карбидов, нитридов, боридов, оксидов.

В работе проф. д.т.н. Чернышовой Т., к.т.н. Кобелевой Л., Болотовой Л., к.т.н. Панфилова А. «Аллюмоматричные композиционные материалы антифрикционного назначения» рассмотрены некоторые дисперсно армированные алюмоматричные МКМ антифрикционного назначения, способы их производства, результаты трибологических испытаний в условиях сухого трения [1].

Проведенные исследования свидетельствуют о высоких трибологических свойствах дисперсно наполненных МКМ на базе Al сплавов. Армирование относительно мягкой матрицы высокотвердыми керамическими частицами позволяет получить высокие значения износостойкости.

Полиармирование керамическими частицами и графитом обеспечивает низкий коэффициент трения и задиростойкость.

Арбузин Ю.А. в своей работе «Функциональные металлические композиционные материалы и технологии в машиностроении» рассматривает усиление специальных возможностей функциональных МКМ [2].

Значительный прогресс современного материаловедения привел к созданию новых материалов, объединение которых с хорошо известными металлами и сплавами позволяет дополнительно усилить специальные возможности функциональных металлокомпозитов.

Разработка квазикристаллических материалов, обладающих твердостью на уровне корунда и низким коэффициентом трения, открывает широкие возможности армирования классических антифрикционных материалов на основе свинца, алюминия, меди с достижением повышенных и антифрикционных и механических свойств в обеспечение возросших требования по контактным давлениям, скоростям и ресурсу современных механизмов. Измерения коэффициента трения композиционного материала на основе меди, армированной мик-

ронными частицами квазикристалла системы Al-Cu-Fe, позволило получить достаточно низкое и очень стабильное значение коэффициента трения.

Армирование квазикристаллами свинца и алюминия приводит к усилению антифрикционных свойств композиционного материала и повышению уровня его технологических и механических характеристик. Такие материалы могут стать серьезной основой для создания новых эффективных пар трения для криогенных температур, а также для работы в тяжело нагруженных подшипниках скольжения автомобильной промышленности, транспорта и энергетики.

Федорченко И.М. и Пугина Л.И. в книге «Композиционные спеченные антифрикционные материалы» описывают факторы, влияющие на значение коэффициента трения [3].

Одна из важнейших характеристик антифрикционных материалов – коэффициент трения, величина которого определяет степень потери энергии в узлах трения.

Одним из факторов, уменьшающим значение коэффициента трения является добавление в спеченный подшипниковый материал так называемых антизадирных присадок и твердых смазок. К ним относят графит, серу, сульфиды, селениды, некоторые легкоплавкие металлы и их сплавы.

Основным недостатком аллюмоматричных материалов является проблема удаления с поверхности детали оксида алюминия. Поэтому актуальным является поиск материалов для использования их в качестве матриц.

#### *Список использованной литературы*

1. Аллюмоматричные композиционные материалы антифрикционного назначения / Т. Чернышова, Л. Кобелева, Л. Болотова, А. Панфилов // Международный виртуальный журнал для науки, техники и инновации для индустрии «Машины, технологии, материалы». – С. 181-184.

2. Арбузин, Ю.А. Функциональные металлические композиционные материалы и технологии в машиностроении / Ю.А. Арбузин // Actual Conference. – 2009. – № 6 (69). – С. 52-54.

3. Федорченко, И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. – Киев: Наукова думка, 1980. – 404 с.

УДК 66.047

ББК 31.38

### **Энергосберегающая сушильная установка с тепловым насосом**

Романова Е.В., Колиух А.Н.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Повышение эффективности использования энергии от этапа добычи первичных энергетических ресурсов до их реализации в промышленности является одной из основ устойчивого экономического развития страны. В связи с этим в последние годы в России проводится активная государственная политика в области энергосбережения, разработана нормативная база, которая постоянно дополняется новыми законодательными актами.

Важнейшим является Федеральный закон № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". Также распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р утверждена государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Основная цель программы - рациональное использование топливно-энергетических ресурсов за счет энергосбережения, повышение энергоэффективности различных отраслей экономики, расширение использования возобновляемых источников энергии [1].

Одним из важнейших направлений в энергосбережении является увеличение объемов использования вторичных энергетических ресурсов, которые образуются в различных технологических процессах (сушка, выпаривание, ректификация), а также на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

Энергосбережение в сушильных и других теплотехнологических установках имеет значительный потенциал, в связи с широкой распространенностью процессов сушки, высокой энергоемкостью и недостаточным техническим совершенством используемых сушильных установок. С этой целью предлагается использовать тепловые насосы для утилизации теплоты отходящего сушильного

агента. Тепло отработавшего агента сушки после повышения его потенциала в тепловом насосе используется для нагрева приточного воздуха, подаваемого в сушильную камеру для поддержания требуемого температурно-влажностного режима.

Анализ существующих способов сушки и термообработки с тепловым насосом и соответствующего аппаратного оформления позволил оценить достоинства и недостатки реализованных конструктивных решений, осуществить выбор оптимальной схемы сушки с тепловым насосом [2].

В результате чего была создана экспериментальная установка, состоящая из следующих элементов: теплового насоса, смонтированного на базе парокомпрессионного холодильного агрегата, сушильной камеры, калорифера для дополнительного нагрева, а также рекуперативного теплообменника.

Экспериментальная установка имеет возможность варьирования скорости воздуха в диапазоне от 0,5 до 10 м/с, мощности калорифера в диапазоне от 0,1 до 1 кВт. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований планируется использовать для обоснования технологических параметров процесса сушки с тепловым насосом.

#### *Список использованной литературы*

1. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года // Российский социально-экологический союз. – URL: [http://www.rusecounion.ru/doc\\_rf\\_energysave2020](http://www.rusecounion.ru/doc_rf_energysave2020).

2. Коновалов, В.И. Сушка с тепловыми насосами в химической промышленности: возможности и экспериментальная техника / В.И. Коновалов, Е.В. Романова, Н.Ц. Гатапова // Вестник ТГТУ. – 2011. – Том 17, № 1. – С. 153-178.



УДК 66.047

ББК Л113.2

## **Высокоэффективные органоминеральные материалы для поддержания заданной влажности воздуха**

Ряшенцева И.А., Попова С.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Все адсорбционные процессы основаны на избирательных свойствах адсорбентов, поглощающих отдельные компоненты смесей лучше, чем другие. Явление избирательности адсорбции было использовано в 1903 г. русским ботаником М. С. Цветом [1].

По характеру поглощения сорбата сорбционные явления делятся на два типа: адсорбцию и абсорбцию. Различие между адсорбцией и абсорбцией в том, что адсорбция происходит на поверхности конденсированной фазы, а абсорбция – в ее объеме. Типичные примеры абсорбции – растворение  $\text{CO}_2$  в воде или  $\text{H}_2$  в непористом металлическом палладии. Термин абсорбция – синоним термину растворение, но включает растворение как в жидкой, так и твердой фазе [2].

Адсорбционный процесс заключается в приведении в контакт объемной фазы и адсорбента, в ходе которого нежелательные молекулы объемной фазы поглощаются адсорбентом, а объемная фаза становится чистой [3].

Для адсорбционных и каталитических процессов очень важное значение имеют большая удельная поверхность, развитая в порах, а для кинетики этих процессов – размеры пор [4].

Примером применения процесса адсорбции может служить извлечение жидких углеводородов из потоков газа, содержащих мало тяжелых компонентов, активированным углем, удаление воды из газа силикагелем или алюмогелем, удаление меркаптанов молекулярными ситами и т.п. [5].

В качестве осушителей газов и жидкостей используют различные адсорбенты с развитой поверхностью, такие как силикагели, оксид алюминия, цеолиты,

а также жидкие абсорбенты, например растворы солей, серную кислоту, этиленгликоль. К основным недостаткам перечисленных осушителей относятся либо невысокая динамическая и статическая сорбционная емкость, либо относительно высокая температура регенерации. Кроме того, применение жидкостных абсорбентов значительно усложняет технологическую схему осушительной установки.

Довольно эффективными осушителями, обладающими высокими сорбционной емкостью и механической прочностью, с одной стороны, и удобными в использовании, с другой, являются импрегнированные осушители, совмещающие принципы объемного поглощения паров воды жидким осушителем и адсорбции на развитой поверхности.

Они представляют собой гранулы сорбента, пропитанные раствором гигроскопических солей. Для этого используют галогениды, сульфаты, нитраты щелочных и щелочноземельных металлов и их смеси, а в качестве пористой матрицы – неорганические оксиды, пористые угли, природные сорбенты, пористые металлы, пористые композиты или их смеси [6].

Выбор того или иного осушителя, а также способа его использования, определяется техническими возможностями объекта, в котором необходимо производить осушку воздуха. Часто возникают задачи поддержания оптимальной влажности в замкнутом объеме без возможности принудительной вентиляции (условия естественной конвекции). В таких случаях предпочтение следует отдавать осушителям с «развернутой» геометрической поверхностью и малым диффузионным сопротивлением. Этими свойствами будут обладать известные волокнистые материалы в виде отдельных листовых поверхностей с использованием в качестве основы осушителя картона, асбеста, бумаги, пористых полимеров, то есть материалов с низкой термостойкостью и стекловолоконных материалов, которые имеют удовлетворительные показатели термостойкости, но характеризуются как «хрупкие». Диспергирование гигроскопической добавки в волокнистой основе повышает скорость сорбции паров воды по сравнению с осушителем в форме зерна, и применение листовых волокнистых осушителей

позволяет поддерживать заданную влажность в замкнутом объеме в условиях естественной конвекции [7].

В качестве пористой основы для полимерного осушителя были предложены следующие материалы: ворсин с добавкой угля, арселон-3, арселон-2, лавсан, вискоза из неорганики, арселон, БМДК, стеклоткань С-2, арселон с металлическими нитями и базальтовое волокно. Образец каждого материала размером 20x20 мм пропитывали раствором полимерного осушителя, и оставили на воздухе не менее чем на 24 часа, после чего образцы помещали в электропечь для завершения реакции полимеризации при температуре  $150 \pm 10$  °С на 4 часа. Далее для всех образцов определили кинетику сорбции паров воды в статических условиях. Образцы из электропечи после остывания взвешивали, и помещали в эксикаторы с определенной влажностью (1%, 7%, 16%, 32%, 55%, 75% и 100%). Периодически проводили взвешивание навески на аналитических весах. Количество сорбированного вещества ( $a$ , мг\г) за определенный промежуток времени определяли по формуле:

$$a = \frac{(m_i - m) \cdot 1000}{m},$$

где  $m$  – масса исходной навески;  $m_i$  – масса навески по истечении времени  $i$ ; 1000 – переводной коэффициент

После серии проведенных испытаний было установлено, что с поставленной задачей поглощения паров воды при влажности 75% за 5 часов в минимальном объеме 250 мг/г лучше всего справился нетканый материал арселон-1, который и будет использоваться в дальнейшем.

Арселон-1 – высокотермостойких материалов на основе полипарафениленоксадиазола (ПОД). Полиоксадиазол является линейным ароматическим полимером, синтезируемым на основе терефталевой кислоты и гидразинсульфата. Волокна и нити арселон формируются из раствора в 100%-ной серной кислоте (растворитель), промываются и высушиваются. В созданной технологии предусматривается рециклинг и отсутствуют экологически вредные трудноочищаемые выбросы [8].

Задачей в эксперименте является повышение динамической сорбционной емкости получаемого осушителя по парам воды.

Брали два образца волокнистого осушителя – арселона. Образец 1 полимерного осушителя мы получали путем нейтрализации органической непредельной кислоты сильным основанием с последующей полимеризацией при термообработке. Образец 2 осушителя получали путем введения раствора активного влагопоглощающего вещества в кислоту и основание также с последующей полимеризацией при термообработке при температуре  $(150 \pm 10^\circ\text{C})$ .

В качестве активного влагопоглощающего вещества использовали соль хлорид лития, который представляет собой белые, гигроскопические кристаллы, расплывающиеся на воздухе.

Сорбционную ёмкость полученных образцов оценивала эксикаторным методом в статических условиях.

Эксперимент проводили при влажности  $\varphi=75\%$  в течение 5 часов. Результаты эксперимента представлены на рис 1.

Можем сделать вывод, что сорбционная ёмкость осушителя возросла при введении в раствор активного влагопоглощающего вещества.

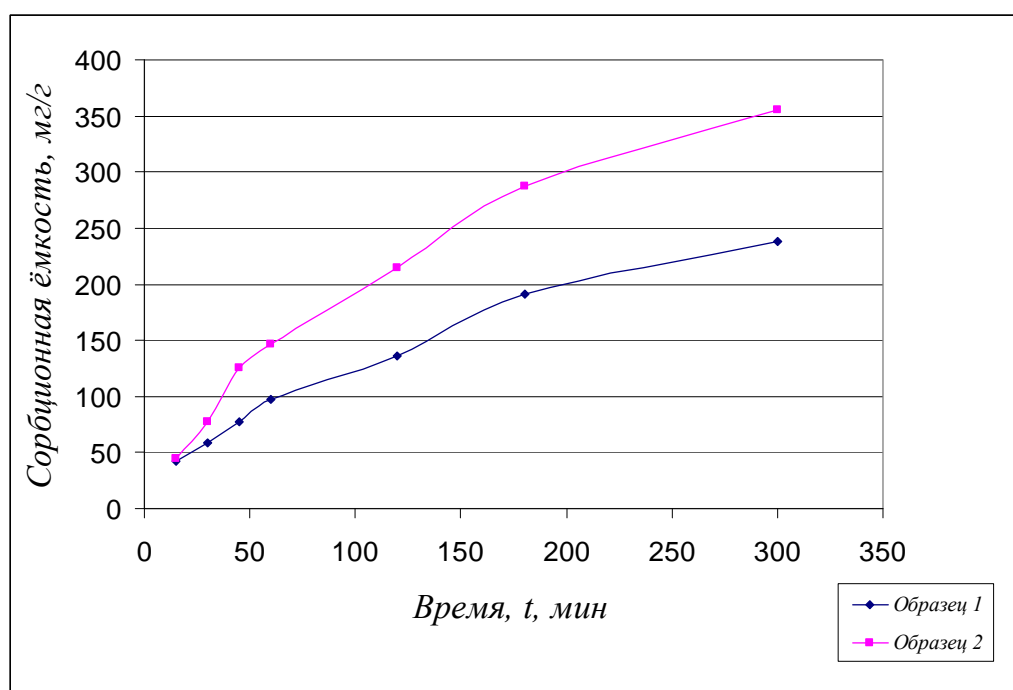


Рис. 1. Изменения сорбционной емкости во времени

### *Список использованной литературы*

1. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
2. Фенелонов, В.Б. Введение в основы адсорбции и текстурологии / В.Б. Фенелонов // Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН. – URL: [http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=5&;SECTION\\_ID=207](http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=5&;SECTION_ID=207).
3. Шумяцкий, Ю.И. Промышленные адсорбционные процессы / Ю.И. Шумяцкий. – М.: КолосС, 2009. – 183 с.
4. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А.П. Карнаухов. – Новосибирск: Наука, 1999. – 456 с.
5. Коротаев, Ю.П. Добыча, подготовка и транспорт природного газа и конденсата / Ю.П. Коротаев. – М.: Недра, 1984. – Т.2. – 288
6. Композитный осушитель газов и жидкостей: пат. 2169606 Рос. Федерация: В01D53/26, В01J20/28 / Аристов Ю.И.; Гордеева Л.Г.; Коротких В.Н.; Пармон В.Н.; Токарев М.М.; заявитель и патентообладатель Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН. – № 99112544/12; заявл. 15.06.1999; опубл. 27.06.2001
7. Полиоксадиазольные высокотермостойкие волокна Арселон и волокнистые материалы на их основе: [Электронный ресурс] / RusTM. – 2011. – Режим доступа : <http://rustm.net/catalog/article/2011.html>.
8. Ульянова, М.А. Волокнистый листовый материал для удаления влаги из воздуха / М.А. Ульянова, А.С. Гурова, Н.П. Юркина, Е.С. Рагулина, А.И. Везенцев, Е.Л. Румянцева, Н.Ц. Гатапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 1. – С. 106-112.

УДК 53.09

ББК 22.3

**Исследование влияния углеродных наноматериалов  
на реологические свойства водно-дисперсионной краски**

Саютина В.<sup>1</sup>

*МАОУ лицей № 14 им А.М.Кузьмина (Россия, г. Тамбов)*

Цель исследования: исследовать влияние углеродных наноматериалов на реологические свойства водно-дисперсионной краски.

Актуальность: увеличение текучести краски приведет к уменьшению толщины покрытия без ухудшения свойств краски посредством разбавления водой.

Гипотеза исследования: Добавление УНМ в малых концентрациях положительно влияет на реологические свойства акриловой краски, так как наночастицы, добавленные в краску выполняют функцию смазочного материала между слоями жидкой краски, увеличивая ее текучесть.

Задачи:

1. Изучение строения и свойств углеродных наноматериалов (УНМ).
2. Изучение различных теорий текучести.
3. Поиск метода определения текучести в домашних условиях и проведение опытов.
4. Получение данных, составление таблиц, построение графиков.
5. Исследование зависимости текучести от других факторов.
6. Анализ полученных данных.
7. Проверка возможности влияния малых концентраций УНМ на изменение физических свойств лакокрасочных материалов.

Методы решения задачи:

---

<sup>1</sup> Саютина В., ученица 9 класса МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов.  
Руководитель: Юдаков С.Г., МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов.

В нашем исследовании применялся УНМ «Таунит», который представляет собой мелкодисперсионную аллотропную модификацию углерода, с характерными размерами углеродных нанотрубок (УНТ) диаметром не более 40 нм и длиной до 5 мкм. УНТ образуют агломераты размером порядка 100 нм.

В качестве объекта исследования использовалась акриловая краска «OLECOLOR» ЗАО «ABC Фарбен». Не имея специального оборудования для определения текучести краски, мы определяли текучесть различных образцов, считая мерой текучести длину следа растекания краски, оставленного ею при стекании с наклонной плоскости.

На растекание краски и скорость её высыхания могли влиять следующие факторы: скорость выдавливания, неравномерное растекание краски в длину и в стороны, трение с поверхностью, вероятность впитывания в поверхность, дефекты или неровности поверхности, вероятность высыхания краски до того, как она успевала полностью растечься, высота расположения кончика шприца, плохое перемешивание краски и УНМ.

Для того чтобы исключить влияние этих факторов мы использовали разные виды поверхности: 1) наклонная деревянная; 2) наклонная стеклянная; 3) горизонтальная стеклянная.

Выводы:

1. На нестабильность результатов УНМ не влияют, т.к. краска изначально была неоднородной, и вода в ней распределена неравномерно.

2. Между УНМ и молекулами краски практически отсутствует взаимодействие.

3. Добиться однородного распределения дисперсии по всему объему краски в домашних условиях без применения специальных методов и оборудования невозможно.

4. Эффект увеличения текучести если и имеет место, то локально и в разной степени для одной концентрации УНМ.

### *Список использованной литературы*

1. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия / К.И. Евстратова, Н.А. Купина, Е.Е.Малахова; под ред. проф. К.И. Евстратовой.
2. Ткачев, А.Г. Углеродный наноматериал «Таунит» – структура, свойства, производство и применение / А.Г. Ткачев.
3. Щукин, Е.Д. Коллоидная химия : изд. третье, переработанное и дополненное / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. – М.: Высшая школа, 2004.
4. 1940 успехи физических наук Т.ХХIII. Вып. 2.
5. <http://ligamasterov.com/note/40/>.
6. [http://triunite.narod.ru/n-r-j\\_kraski.html](http://triunite.narod.ru/n-r-j_kraski.html).



УДК 621.357

ББК 34.663

**Метод нанесения наномодифицированных цинковых гальванических покрытий для защиты металлов от коррозии**

Симагин Д.Н.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Разработка методов нанесения цинковых гальванических покрытий для повышения коррозионной стойкости является актуальной проблемой для защиты стальных конструкций от коррозии.

Целью данной работы является разработка эффективного метода нанесения наномодифицированных цинковых гальванических покрытий для увеличения коррозионной стойкости.

При нанесении цинковых гальванических покрытий в электролит добавляются фуллереноподобные углеродные нанотрубки (УНТ) – наноуглеродный материал, зарегистрированный под торговой маркой «Таунит», который производится в ООО «НаноТехЦентр».

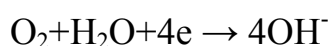
В раствор электролита цинкования состава: окись цинка (12 мг/л), натр едкий (115 г/л), блескообразующая добавка Zn-1(12 мл/л) вводились УНТ «Таунит» в виде порошка с помощью ультразвукового диспергатора ИЛ 100-6/4, частота 22 кГц. Для полного растворения перемешивание в диспергаторе производилось в течение трёх минут. После приготовления наномодифицированного электролита нанесение цинкового покрытия осуществлялось традиционным способом при температуре 23<sup>0</sup>С и плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup>. Эксперименты проводились при различных концентрациях УНТ в электролите.

Влияние наномодифицированных цинковых гальванических покрытий на скорость коррозии определялась потенциодинамическим методом, основанным на снятии поляризационных кривых для металла, контактирующего с агрессивными средами, а также на последующем анализе этих кривых.

Потенциодинамический метод заключается в измерении зависимости плотности тока от навязываемого электродного потенциала, который изменяется с заданной скоростью (автоматическая развертка потенциала).

Снятие поляризационных кривых осуществлялось при помощи потенциостата IPC-PRO в потенциодинамическом режиме (скорость наложения потенциала 0,66 мВ/с) в трехэлектродной ячейке через стёкла «Пирекс» в растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В качестве рабочего электрода использовали электрод из стали Ст3. Рабочий электрод изолирован эпоксидной смолой и обнажена лишь одна его грань. Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный, вспомогательный – платиновый. Потенциалы приведены по нормальной водородной шкале.

Введение в электролит цинкования 100-400 мг/л УНТ не изменяет потенциал коррозии цинкового покрытия, который близок к обычному – -0,8 В, что характерно для компактного цинка в нейтральных средах. Наличие в электролите 100 мг/л УНТ несколько тормозит анодную реакцию ионизации цинка и катодный процесс восстановления растворённого кислорода.



Влияние на анодную реакцию недостаточно стабильно, торможение катодного процесса более стабильно.

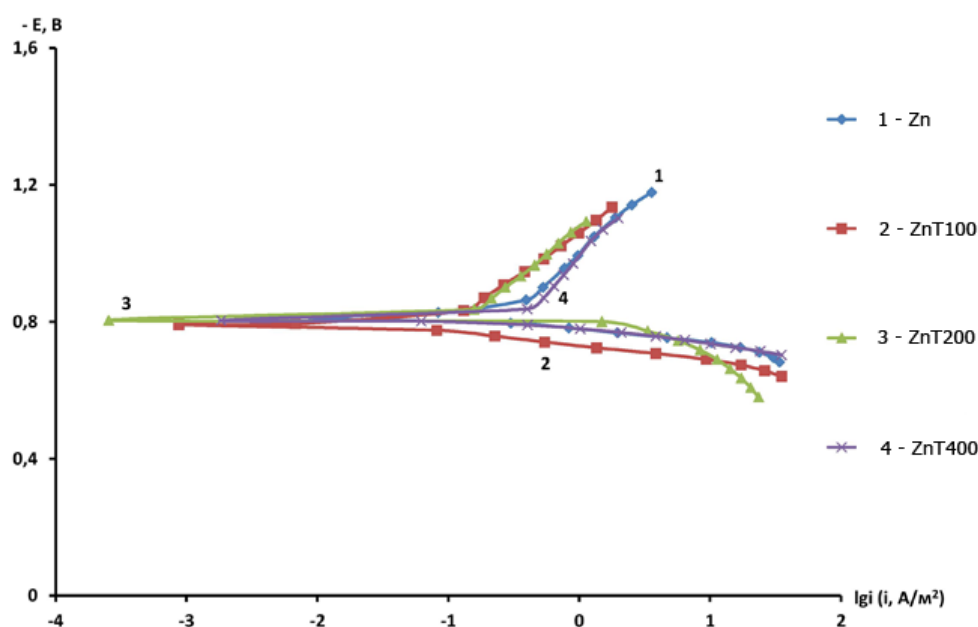


Рис. 1. Поляризационные кривые для образцов из стали Ст3 с чистым цинковым покрытием (Zn) и цинковым покрытием при добавлении УНТ «Таунит» 100 мг/л (ZnT100), 200 мг/л (ZnT200) и цинковым покрытием с концентрацией УНТ 400 мг/л (ZnT400)

Анализ поляризационных кривых показал, что ток коррозии цинкового покрытия, полученного в присутствии 100 мг/л УНТ по сравнению с таковым покрытием, полученным без добавления УНТ, снижается в 4 раза. Природу торможения катодной реакции объяснить трудно, но в первом приближении она обусловлена изменением структуры осадка. Рост концентрации УНТ до 400 мг/л снимает наблюдение эффекта.

*Работа выполнена в рамках государственного контракта №10334р/18346 от 04.06.2012 «Разработка научно обоснованных методик использования углеродных наноструктур для получения электрохимических наномодифицированных цинковых гальванических покрытий с высокой коррозионной стойкостью».*

**Использование углеродных наноструктурных материалов  
как компонентов смесевых антидетонационных присадок<sup>1</sup>**

Слепов Д.С., Ткачев А.Г., Слепов С.К., Ткачев М.А., Меметов Н.Р.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Химические соединения, добавляемые к моторным бензинам в незначительных количествах и повышающие их детонационную стойкость (октановое число (ОЧ) называют антидетонаторами моторных топлив. При этом физико-химические свойства топлив при добавлении антидетонаторов практически не изменяются.

Для всех антидетонаторов, чем меньше исходное октановое число исходного продукта, тем больше эффект от введения присадки.

На кафедре «Техника и технология производства нанопродуктов» ФГБОУ ВПО «ТГТУ» разработана добавка (модификатор горения) к традиционным бензиновым присадкам на основе монометиланилина (ММА) и метилтретбутилового эфира (МТБЭ), включающая в свой состав углеродный наноструктурный материал «Таунит» (УНМ «Таунит») в концентрации от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$ % массовых.

При экспериментальном изучении влияния концентрации модификатора горения на октаноповышающее воздействие присадки для автобензинов на основе ММА, первоначально была использована максимально допустимая концентрация ММА в бензине, т.е. 1,5 % массовых технической массы (или 1,3 % массовых на 100%-й ММА).

Для изготовления модификатора горения использовалась опытно-промышленная установка, размещенная на базе ООО «НаноТехЦентр». Определённое количество изопропилового спирта загружали в реактор-ёмкость с интенсивным перемешиванием и вносили расчётное количество дезинтегрированного порошка «Таунит» совместно с ПАВ – стабилизатором коллоидального

---

<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ 12-08-97560-р\_центр\_a.

«Таунита» в растворе. Соотношение УНМ «Таунит» : ПАВ составляло 1:4. После тщательного перемешивания с помощью циркуляционного насоса при водяном охлаждении суспензию прокачивали через ультразвуковой аппарат в течение определённого времени. По окончании УЗ обработки суспензию выгружали в ёмкость-накопитель, которая снабжена мешалкой с интенсивным перемешиванием, чтобы суспензия находилась в объёме во взвешенном состоянии.

Из ёмкости-накопителя отбирали часть пробы для выполнения контрольного анализа и приготовления смесевой присадки (ММА + УНМ «Таунит»), чтобы испытать её на прирост ОЧ в эталонной топливной смеси (ЭТС). Концентрация УНМ «Таунит» варьировалась в пределах от  $0,1 \cdot 10^{-4} \%$  до  $1,8 \cdot 10^{-4} \%$  массовых. Концентрация ММА оставалась постоянной – 1,5 % массовых технической массы (или 1,3 % массовых на 100%-й ММА) или 15 мг/л ЭТС.

В силу того, что мы имеем дело с суспензией УНМ «Таунит» в изопропиловом спирте, удобнее концентрацию УНМ «Таунит» для внесения его в ММА и в последующем в ЭТС или бензин, выражать титром – количество *мг* УНМ «Таунит» в *мл* спиртового раствора. Так, например: в 1 л изопропилового спирта содержится 13 г УНМ «Таунит» в коллоидном состоянии, следовательно, титр УНМ «Таунит» будет равен 13 *мг/мл*.

По причине того, что концентрация УНМ «Таунит» незначительна, то его, удобно вносить в присадку к определённому объёму ЭТС или бензина в объёмных величинах.

На рис. 1 приводится зависимость ОЧ ЭТС от концентрации УНМ «Таунит» в присадке (концентрация ММА в присадке для всех концентраций УНМ «Таунит» постоянна и равна 1,5 % массовых технической массы или 1,3 % массовых на 100%-й ММА, а ОЧ ЭТС с 1,5 % массовых технической массы ММА принято равным, согласно экспериментальным данным – 76,0 октановых единиц).

Согласно полученным данным ОЧ ЭТС с увеличением концентрации УНМ «Таунит» с 0,7 мг/л ( $0,1 \cdot 10^{-4} \%$ ) до 3,8 мг/л ( $5,2 \cdot 10^{-4} \%$ ) возрастает, проходя через максимум, который приходится на концентрацию УНМ «Таунит» в системе ЭТС – присадка 1,0-1,3 мг/л ( $1,4 \cdot 10^{-4} \%$  –  $1,8 \cdot 10^{-4} \%$ ). Прирост ОЧ в этом интервале концентрации УНМ «Таунит» составляет 2,2 – 2,5 окт.ед.

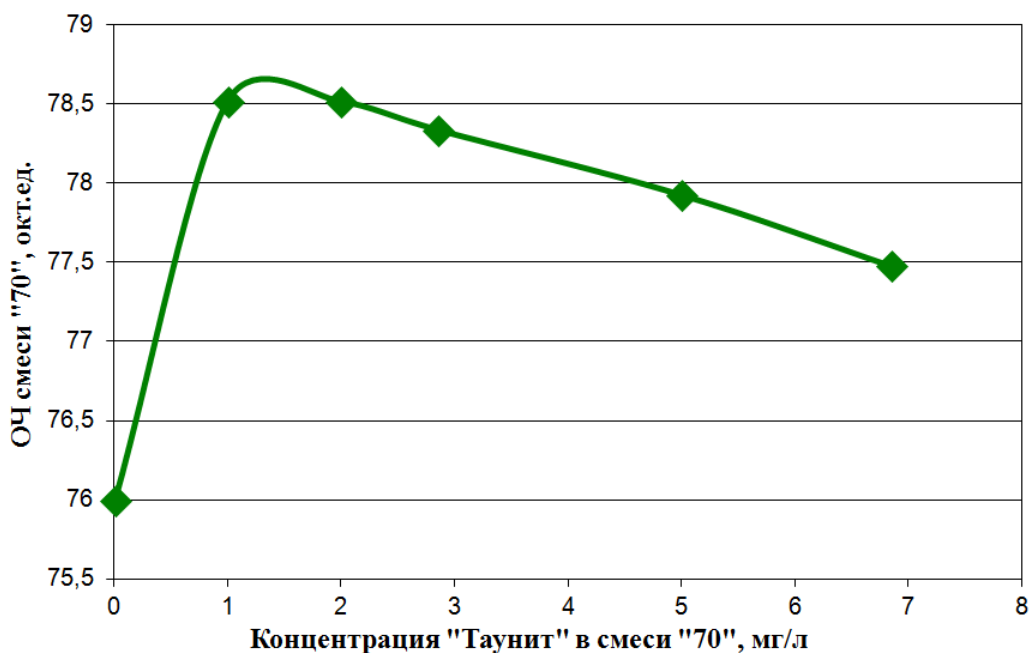


Рис. 1. Зависимость дополнительного прироста октанового числа смеси "70" от концентрации УНМ "Таунит" в присадке (концентрация ММА в присадке постоянна 1,5 % масс.)

Прирост ОЧ ЭТС находится в пропорциональной зависимости от концентрации октаноповышающей добавки ММА в ее составе. Эта зависимость показана на рис. 2.



Рис. 2. Зависимость прироста октанового числа ЭТС от концентрации ММА в ее составе

ОЧ ЭТС без введения в её состав присадки составляет 70 окт.ед. Это число взято за нулевой отсчёт. Прирост ОЧ ЭТС от применения ММА будет выражаться разностью, т.е.:

$$\Delta\text{ОЧ} = \text{ОЧ}_{\text{экспериментальное}} - \text{ОЧ}_{\text{ЭТС (без присадки)}}$$

При увеличении концентрации ММА в качестве присадки к смеси «70» с 0,5 % массовых до 2,0 % массовых, прирост ОЧ составляет от 2,0 до 8,1 окт. ед. Максимальное содержание ММА в бензинах может составлять не более 1,5 % массовых технического ММА (или 1,3 % массовых на 100 % -й ММА).

Т.о. если рассматривать суммарный эффект по приросту ОЧ от применения смесевой присадки (ММА + «Таунит»), то он составляет от 7,5 до 8,5 окт.ед. (табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что дополнительный прирост ОЧ от присутствия модификатора «Таунит» в смесевой присадке дополнительно составит от 1,5 до 2,5 окт.ед. в зависимости от концентрации УНМ «Таунит» в системе.

Согласно вновь вводимой нормативно-технической документации на бензины, концентрация ММА в бензине не должна превышать 1,0 % масс. И возможно этот концентрационный максимум будет уменьшаться в связи с введением новых нормативов для бензинов Евро-4, Евро-5.

На многих нефтеперерабатывающих заводах России для доведения бензинов до нужных значений ОЧ применяется МТБЭ. МТБЭ – оксигенат, выпускается многими НПЗ и может применяться как самостоятельная октаноповышающая присадка, так и как компонент смесевой присадки. При внесении 10% массовых МТБЭ в ЭТС, ОЧ смеси возрастает на 6,0 ед. Недостатком МТБЭ является низкая температура кипения 55 °С, наиболее приемлемая температура кипения оксигенатов 75-90 °С, потому что в этих пределах расположены фракции товарных бензинов с низким ОЧ.

МТБЭ может быть использован в качестве компонента в смесевой присадке, например, совместно с ММА (антагонизма не наблюдается, а экономический эффект может быть достигнут).

Прирост октанового числа эталонной топливной смеси в зависимости  
от используемых присадок

№ п/п	Наименование образца	Состав испытуемого образца	Октановое число по моторному методу, окт.ед.	Прирост октанового числа, окт.ед.	Прирост октанового числа за счёт введения в присадку модификатора «Таунит», окт.ед.
1	Смесь «70»	70 % об. изооктана + 30 % об. н-гептана	70,0	-	-
2	Смесь «70» + ММА	Смесь «70» + 1,5 % масс. ММА	76,0	6,0	-
3	Смесь «70» + ММА + модификатор «Таунит»	Смесь «70» + 1,5 % масс. ММА + $0,1 \cdot 10^{-4}$ % масс. модификатора «Таунит»	77,5	7,5	1,5
4	Смесь «70» + ММА + модификатор «Таунит»	Смесь «70» + 1,5 % масс. ММА + $1,4 \cdot 10^{-4}$ % масс. модификатора «Таунит»	78,2	8,2	2,2
5	Смесь «70» + ММА + модификатор «Таунит»	Смесь «70» + 1,5 % масс. ММА + $1,8 \cdot 10^{-4}$ % масс. модификатора «Таунит»	78,5	8,5	2,5
6	Смесь «70» + ММА + модификатор «Таунит»	Смесь «70» + 1,5 % масс. ММА + $3,8 \cdot 10^{-4}$ % масс. модификатора «Таунит»	77,3	7,3	1,3

При проведении экспериментов по применению наноструктурного углерода «Таунит» в качестве октаноповышающей добавки к МТБЭ нами были получены результаты, из которых следует, что при введении в состав МТБЭ (10 % масс) УНМ «Таунит» в количестве от  $0,1 \cdot 10^{-4}$  % до  $5,0 \cdot 10^{-4}$  % масс. прирост ОЧ ЭТС увеличивается, проходя через максимум в интервале концентрации от  $2,0 \cdot 10^{-4}$  % до  $3,5 \cdot 10^{-4}$  % масс. УНМ «Таунит».



Совместное использование присадок ММА и МТБЭ с добавкой «Таунита» испытывалось на повышение ОЧ ЭТС. Предварительные результаты показали, что максимально эффективный концентрационный интервал «Таунита» в смеси присадки ММА + МТБЭ находится в тех же значениях, что и для индивидуальных ММА и МТБЭ, т.е. от  $1,0 \cdot 10^{-4}$  % до  $3,0 \cdot 10^{-4}$  % масс.

Добавка наноструктурного углерода «Таунит» вносилась во все присадки в виде коллоидного раствора в изопропиловом спирте.

#### *Список использованной литературы*

1. Данилов, А.М. Применение присадок в топливах / А.М. Данилов – М.: Мир, 2005. – 767 с.

УДК 629.039.58 : 67.08

ББК 20.1

## **Технологии производства резин и образующиеся отходы**

Стегачева Ю.Н.<sup>1</sup>, Козачек А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Завод Тамбовполимермаши» (Россия, г. Тамбов)

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)

### ***Роль резино-технической промышленности в экономике***

Производство резиновых изделий в настоящее время имеет тенденцию к увеличению.

Резинотехнические изделия (РТИ) нашли свое применение во многих отраслях промышленности, таких как: машиностроение, горнодобывающая промышленность и т.д. Ассортимент вырабатываемой резинотехнической продукции масштабен и с каждым годом совершенствуется.

Сегодня более одной трети резины, производимой в мире, изготавливается из синтетического каучука. Каучук и резина внесли огромный вклад в технический прогресс последнего столетия.

Производство РТИ имеет чрезвычайно широкий ассортимент, поскольку изделия находят применение практически во всех сферах деятельности современного общества. В связи с быстро растущими требованиями к РТИ решается комплекс сложнейших научно-технических задач, включающий наряду с использованием новых полимеров разработку специфических способов создания эластомерных композиционных материалов, высокомеханизированных и автоматизированных процессов, более совершенных конструкций и методов продления срока службы изделий путем дополнительной обработки.

Особенностью резиновой промышленности является высокая стоимость применяемого сырья, чаще всего являющегося продуктом других отраслей химической и нефтехимической индустрии. Огромное значение имеют экономия сырья и материалов, разработка безотходных технологий, продление сроков эксплуатации изделий.

Современное развитие резиновой промышленности характеризуется следующими основными особенностями:

- требованиями охраны здоровья и защиты окружающей среды;
- стремление использовать наиболее дешевые и доступные армирующие материалы, каучуки и ингредиенты при невозможности беспредельного увеличения их ассортимента;
- необходимостью снижения материалоемкости изделий и трудоемкости их изготовления;
- расширением областей применения и ассортимента резиновых изделий;
- ужесточение условий эксплуатации изделий (температуры, нагрузки, скорости, агрессивные среды и т.д.) [5].

### ***Особенности изготовления резино-технических изделий***

Процесс изготовления резины и резиновых деталей состоит из приготовления сырой резиновой смеси, получения из нее полуфабрикатов или деталей и их вулканизации.

Технологический процесс включает в себя следующие операции: вальцевание, каландрирование, получение заготовок, формование и вулканизацию, обработку готовых деталей.

Для придания пластичности резине каучук нарезают на куски и пропускают через вальцы. В специальных смесителях резиновую смесь точно по весовой дозировке смешивают с порошкообразными компонентами, входящими в состав резины (вулканизирующие вещества, наполнители, ускорители вулканизации и т.д.). Таким образом получают однородную, малоупругую массу – сырую резину. Перемешивание можно производить и на вальцах. Она легко растворяется в органических растворителях, формируется и при нагревании становится клейкой.

Для получения листовой резины провальцованная резиновая смесь поступает на каландр. Из каландрованных листов заготовки деталей получают вырезкой по шаблонам, вырубкой штанцевыми ножами, формированием на шприцмашине.

Гидравлические вулканизационные прессы с электрообогревом используются для изготовления резиновых деталей формовым способом. Литье под давлением применяют для изготовления деталей сложной конфигурации. Детали, изготовленные литьем под давлением, имеют повышенную вибростойкость и хорошо воспринимают знакопеременные нагрузки. Прессование производят в пресс-формах методами прямого и литьевого прессования.

Вследствие высокой пластичности резиновых смесей для заполнения форм, даже сложной конфигурации, не требуется давление выше 5 МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>). В большинстве случаев изделия формуют под давлением 1–2 МПа (10–20 кгс/см<sup>2</sup>).

Для получения высокоэластичных прочных изделий (покрышек, трансмиссионных лент, ремней, рукавов) резиновую смесь наносят на высокопрочные ткани (корд, белтинг) из хлопчатобумажного волокна, полиамидного или полиэфирного волокна. Для сцепления резины с тканью применяют способы напрессовывания или пропитывания. В первом случае тонкие листы каландрованной сырой резины на специальных дополнительных дублировочных каландрах напрессовывают на ткань. Во втором случае ткань пропитывают раствором резиновой смеси (резиновым клеем) и сушат для удаления растворителя. Прорезиненную ткань раскраивают, собирают в пакеты и прессуют в изделия.

Многие резиновые изделия армируют металлическими деталями. Металлы или сплавы (за исключением латуни) не обладают адгезией (прилипаемостью) к резине, поэтому легко вырываются из изделия. Для придания адгезии металлической арматуры к резине на металл наносят клеевую пленку или осуществляют латунирование. Наиболее высокая прочность сцепления металла с резиной достигается путем нанесения на металлическую поверхность пленки изоционатного клея «лейконат» или ее латунирования.

Любой процесс формования заканчивается процессом вулканизации. Каучук превращается в резину при нагревании с серой (вулканизации) происходит укрупнение молекул и образование сетчатой структуры молекул. В резине кроме линейных есть и трехмерные молекулы [2].

Резина примерно на одну треть состоит из сажи, которая создает кристалличность строения вещества, увеличивает его прочность. Усложнение и укрупнение молекул приводит к тому, что вещество приобретает упругость, не снижая эластичности, а кроме того, и стойкость к температурным и химическим воздействиям.

Вулканизацию осуществляют с нагревом и без нагрева. Длительность и температура вулканизации определяются рецептурой резиновой смеси (типом каучука и эффективностью введенного ускорителя); но обычно вулканизацию проводят при температуре 120–150.

При формировании деталей вулканизация их производится в пресс-формах на вулканизационных гидравлических прессах с паровым или электрическим обогревом. Формовой метод вулканизации дает более плотную, однородную структуру, более точные размеры и более чистую поверхность резинового изделия. При невозможности вулканизации в пресс-форме особенно изделий, полученных на шприцмашине накатыванием и дублированием, вулканизацию проводят в вулканизационном котле.

Методом эмульсионной полимеризации в водных средах получают почти все синтетические каучуки. Образующийся в этих условиях полимер получается с частицами, близкими к размерам коллоидных частиц. В присутствии специально вводимых веществ (эмульгаторов) частицы полимеров образуют устойчивую эмульсию полимера в воде, которая называется латексом [1].

В настоящее время выпускается большое количество латексов, из которых непосредственно можно изготавливать резиновые изделия. Они применяются для получения фрикционных изделий, для пропитки корда, для изготовления абразивных шлифовальных камней, резиновых нитей, толстостенных изделий, для замены клеев латексными пастами, для получения резиновых пеноматериалов.

Для получения резиновых изделий толщиной не более 0,2 мм форму (обычно стеклянную) несколько раз погружают в латекс. После каждого погружения на форме остается слой латекса, из которого удаляют воду высушиванием.

Процесс изготовления изделий из латексов состоит из следующих операций: смешения латекса с вулканизирующими агентами и другими компонентами резиновой смеси; высаживания резины на форму в виде пленки по мере испарения воды; вулканизации.

Вулканизированные резиновые детали в зависимости от предъявляемых к ним требований, подвергают дополнительной обработке. В большинстве случаев достаточно удаления облоя (заусенцев), что может выполняться и небольшими ножницами с загнутыми концами. Для окончательного удаления следов облоя проводят дополнительную зашлифовку. В некоторых случаях для получения точных размеров требуется обточка и шлифовка всей поверхности детали. При наличии в деталях сквозных отверстий применяют вырубные ножи.

### ***Проблемы образования отходов резино-технических изделий***

Проблема утилизации отходов, в том числе отходов резины в современном обществе остается важной, несмотря на развитие технологии производства новой технологичной и в меру экологически безопасной продукции. Складирование и утилизация и захоронение отходов экономически неэффективно и экологически небезопасно, так как при длительном хранении они могут выделять в окружающую среду вещества, способные привести к нарушению экологического равновесия. К тому же, на момент утраты резиновыми изделиями их эксплуатационных свойств и качеств собственно полимерный материал претерпевает весьма незначительные структурные изменения, что порождает возможность и даже необходимость их вторичной переработки [4].

Отходы, образующиеся в процессе изготовления резиновых технических изделий и в ходе их эксплуатации, делятся на две категории: отходы производства и отходы потребления.

Отходы производства – это остатки материалов, сырья, полуфабрикатов, образующихся в процессе производства продукции, частично или полностью утративших свое качество и не соответствующих стандартам. Эти остатки после соответствующей доработки могут быть использованы в качестве сырья или готовой продукции.

Отходы потребления – это изношенные изделия и отработанные материалы, восстановление которых экономически нецелесообразно. Часть отходов, возвратные отходы, без дополнительной обработки возвращается в производственный цикл. Не могут быть возвращены в производство безвозвратные отходы без дополнительной переработки [5].

К отходам резинового производства относятся:

- резиновые невулканизованные смеси, образующиеся при изготовлении и переработке резиновых смесей (выпрессовки из резиносмесителей, вальцов, каландров и червячных прессов);
- окончательный брак резиновых смесей;
- резиновые вулканизованные отходы (брак ободных лент, вулканизованные выпрессовки, отходы от шсреховки покрышек);
- резинотканевые невулканизованные отходы (обрезиненные моноволоконно, велотред, чефер, бязь, вискозный и полиамидный корд);
- необрезиненные металлические материалы (металлокорд, бортовая лента);
- бракованные ездвые камеры;
- отработанные изделия (варочные камеры на основе каучуков общего назначения и на основе бутилкаучука, диафрагмы вулканизованные);
- технический углерод и сыпучие ингредиенты, улавливаемые фильтром;
- обрезиненные металлические материалы (металлокорд, бортовая лента);
- покрышки после испытаний и «буфер» (покрышки с текстильным кордом, с металлокордом, мотопокрышки, массивные шины — без бандажей);
- диафрагмы второй стадии сборки покрышек.

Классификация отходов РТИ представлена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация отходов [4]

Невулканизованные отходы	Вулканизованные отходы
Резиновые смеси	Резиновые отходы
Резинотканевые отходы	Резинотканевые отходы
Резинометаллические отходы	Резинометаллические отходы
	Шины

## ***Отходы резино-технических изделий как фактор воздействия на окружающую среду***

Изношенные резинотехнические изделия и шины – один из факторов нарушения экосистемы Земли. В настоящее время проблема исчерпаемости природных ресурсов, загрязнения окружающей среды и утилизации отходов принимает глобальные масштабы.

Вследствие высокой стойкости к воздействию внешних факторов окружающей среды резинотехнические изделия и шины разрушаются чрезвычайно медленно. Окружающая среда подвергается длительному воздействию вредных выделений, в том числе канцерогенных и токсичных веществ, выделяющихся в воздух и мигрирующих в грунтовые воды. Места скопления таких отходов, особенно в регионах с жарким климатом, служат благоприятной средой обитания и размножения ряда грызунов и насекомых, являющихся разносчиками различных заболеваний. Резинотехнические отходы обладают высокой пожароопасностью, а продукты их неконтролируемого сжигания оказывают вредное влияние на окружающую среду (почву, водные ресурсы, воздух).

В то же самое время, резинотехнические изделия и шины являются источником ценного вторичного сырья (резина, металл, текстиль) и, в соответствии с действующим в России законодательством, подлежат переработке. Основной продукт переработки резины – резиновая крошка, являющаяся товарным продуктом, имеющим спрос на внутреннем рынке и за рубежом, и сырьем для производства регенерата, а также целого ряда резинотехнических изделий и композиционных материалов.

### ***Выводы***

Таким образом, можно сказать, что образование резино-технических отходов на данный момент является одним из результатов деятельности предприятий резино-технической промышленности. Имея разнообразные формы, структуру, физические свойства и химический состав, резиновые отходы оказывают целый спектр воздействия на компоненты окружающей среды. С дру-



гой стороны, резиновые отходы представляют собой источник различных химических веществ, имеющих спрос на рынке, особенно резины. В итоге возможные решения по переработке резиновых отходов могут стать эффективными как с экологической (защита окружающей среды), так и с экономической (экономия производственных ресурсов) стороны.

#### *Список использованной литературы*

1. Кошелев, Ф.Ф. Общая технология резины / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, Н.С. Климов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1968. – 560 с.
2. Белозеров, Н.В. Технология резины / Н.В. Белозеров. – М.: Химия, 1979. – 470 с.
3. Бекин, Н.Г. Оборудование заводов резиновой промышленности / Н.Г. Бекин, Н.П. Шанин. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1978. – 397 с.
4. Тимонин, А.С. Инженерно-экологический справочник / А.С. Тимонин. – К., 2003. – 1020 с.
5. Утилизация шин и экология [Электронный текст]. – М.: ООО ПО «Основа Успеха», 2009. – URL: <http://www.utilrti.ru/ru/poleznaya-informatsiya/4-utilizatsiya-shin-i-ekologiya.html>.

## **Классификация способов переработки резиновых отходов**

Стегачева Ю.Н.<sup>1</sup>, Козачек А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Завод Тамбовполимермаши» (Россия, г. Тамбов)

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)

### ***Об актуальности переработки резиновых отходов***

Важной проблемой, имеющей экологическое и экономическое значение, является проблема переработки резиновых отходов. Несмотря на многообразие известных в настоящее время способов утилизации резиновых отходов, эта проблема в большинстве государств с достаточной экологической и экономической эффективностью не решена.

Проблема переработки вышедших из эксплуатации резинотехнических изделий имеет большое экологическое и экономическое значение. В место гор мусора мы могли бы получить новую для нашего региона отрасль промышленности - коммерческую переработку отходов.

Утилизация непрерывно накапливаемых резиновых отходов – острая экологическая проблема в большинстве стран. Эти изделия не подвергаются естественному разложению, при сжигании они выделяют ядовитые сернистые соединения, складирование их создает дополнительные трудности:

- свалки резины являются пожароопасными областями;
- на свалках возникают гнездовые места для грызунов и вредных насекомых – возбудителей и переносчиков опасных заболеваний;
- большие территории используются под свалки.

### ***Образование резиновых отходов***

Резина ко времени выхода изделия из эксплуатации претерпевает незначительные структурные изменения. Защитные вещества, тормозя развитие процесса окисления, лежащего в основе старения резин, удерживают его на стадии ин-

дукционного периода и препятствуют переходу в автокаталитическую фазу. Ничтожные доли кислорода, присоединяющегося к каучуковому полимеру резины в индукционном периоде окисления, известным образом могут повлиять на ее прочностные и эластичные свойства, но не способны вызвать глубоких структурных превращений полимера, так как защитные вещества обрывают окислительные цепи в их начальных звеньях.

Отрезки невулканизированных обрезиненных материалов, подвулканизированные резиновые смеси, выпрессовки, отработанные варочные камеры и диафрагмы, бракованные изделия относятся к безвозвратным отходам резинового производства. Отходы этих видов, за исключением отработанных варочных камер и диафрагм, содержат новые, не подвергавшиеся эксплуатации материалы: волокна, каучуки, ингредиенты [2].

Наиболее массовые отходы в виде изношенных покрышек, не подлежащих восстановительному ремонту, относятся к отходам потребления. К этой же категории отходов следует отнести резиновую крошку, и отходы кордного полотна производства регенерата или товарной резиновой крошки.

### ***Классификация способов переработки резиновых отходов***

Резиновые изделия являются ценным вторичным сырьем, хорошо сохранившееся в количественном и качественном отношении, содержащим каучуковое вещество.

Принципиально важно, с точки зрения утилизации отходов, образовались ли они до вулканизации или после нее.

Резиновые отходы, образовавшиеся до стадии вулканизации, по свойствам мало отличаются от исходных резиновых смесей и могут возвращаться в производство без значительной обработки. Эти отходы перерабатываются непосредственно на тех предприятиях, где образуются. Они могут быть использованы в производстве неответственных изделий технического назначения: шлангов для полива, резиновых ковриков, кровельных материалов, рукавиц, поддонов для пола салонов легковых автомобилей, резиновых плит для животноводческих ферм.

Невулканизованные и частично вулканизованные резиновые отходы используют для изготовления резиновой кровли (волнистых и плоских листов).

Более сложно обстоит дело с переработкой вулканизованных резин, они обладают высокой эластичностью, т.е. способностью к обратимым и высоким деформациям, что затрудняет их измельчение. Вулканизованные резиновые отходы требуют перед утилизацией тщательной обработки и подготовки [3].

Известные способы переработки вулканизованных резиносодержащих отходов можно разделить на химические, физико-химические и физические (рис. 1).

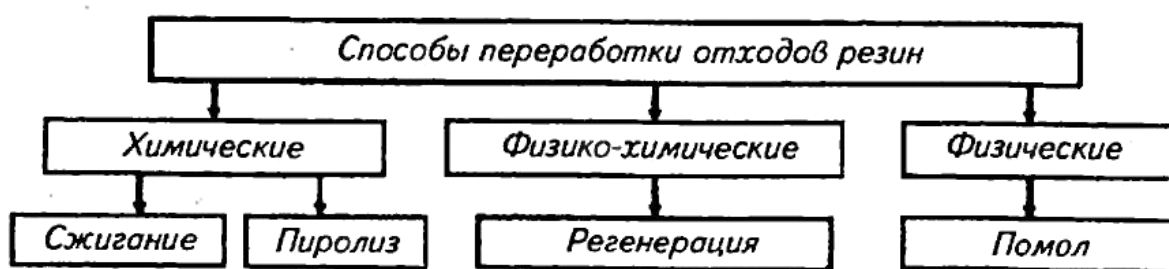


Рис. 1. Существующие способы переработки резины [4]

Химические методы осуществляются при высокой температуре, вследствие чего происходит деструктивное разрушение материала и это приводит к необратимым химическим изменениям не только резины, но и веществ, ее составляющих (каучуков, мягчителей и т.д.). К химическим методам относятся сжигание и пиролиз.

Такая утилизация недостаточно эффективна, поскольку не позволяет сохранить исходные полимерные материалы.

Физико-химические методы переработки отходов или регенерация, осуществляемая различными способами, позволяют сохранить структуру сырья, использованного в процессе производства резины. При регенерации разрушается пространственная вулканизационная сетка за счет теплового, механического и химического воздействия на резину. Получаемый продукт используется при изготовлении резиновых смесей с целью замены каучука и обладает пластическими свойствами.

Рассмотрим способы переработки резиновых отходов.

### *Физические методы переработки резиновых отходов*

Физические методы переработки резиновых отходов представляют собой способы их измельчения резины с целью получения резиновой крошки (муки), наиболее полно сохраняющей свойства резины [4].

Процесс измельчения резины достаточно сложен, поскольку, благодаря ее высоким эластическим свойствам, энергия, затрачиваемая на разрушение, расходуется в значительной степени на механические потери. Эффективность измельчения резины зависит от скорости приложения нагрузки и температуры.

Измельчение резиновых отходов может производиться сжатием, сжатием со сдвигом, ударным воздействием, истиранием, резанием. При ударном воздействии на резиновые отходы кинетическая энергия ударного инструмента расходуется на деформацию разрушения. Эффект воздействия инструмента при ударе зависит от скорости движения и его массы. Ударные измельчители имеют высокую долговечность инструмента.

При сжатии измельчение резин происходит за счет воздействия на них высокого давления. Этот способ может осуществляться на прессе или на вальцах, валки которых вращаются навстречу друг другу с одинаковой скоростью. Процесс, как правило, происходит между двумя рабочими поверхностями, где материал раздавливается.

При сжатии со сдвигом, осуществляемом в экструдере или на вальцах, у которых валки вращаются навстречу друг другу, но с различной скоростью, происходит объемное деформирование материала, что позволяет при сравнительно небольших затратах энергии получать мелкодисперсный порошок резины [1].

При истирании резиновые отходы контактируют с абразивным инструментом. На процесс измельчения истиранием влияет относительная скорость взаимодействия измельчаемого материала и абразивного инструмента. Такие измельчители имеют невысокую производительность и могут использоваться на второй стадии процесса для получения тонкодисперсных порошков из предварительно измельченных другим инструментом отходов.

При резании резиновых отходов их разделение на фрагменты происходит с помощью режущих инструментов (ножей), являющихся концентраторами напряжения. На эффективность резания влияют скорость резания, форма инструмента и свойства отходов [3].

### ***Низкотемпературная технология утилизации резины***

При этой обработке дробление производится при температурах  $-60^{\circ}\text{C}$  ...  $-90^{\circ}\text{C}$ , когда резина находится в псевдохрупком состоянии. Дробление при низких температурах значительно уменьшает энергозатраты на дробление. Во всех известных установках для охлаждения резины используется жидкий азот. Но сложность его доставки, хранения, высокая стоимость и высокие энергозатраты на его производство являются основными причинами, сдерживающими в настоящее время внедрение низкотемпературной технологии. Производительность линии 6000 т/год [4].

### ***Полностью механическая переработка резины***

В основу переработки заложено механическое измельчение до небольших кусков, основанное на принципе "повышения хрупкости" резины при высоких скоростях соударений, и получение тонкодисперсных резиновых порошков размером до 0,2 мм. Производительность линии 5100 т/год [3].

### ***Новейшая технология переработки (утилизации) шин***

Способ озонной переработки резины, предложенный группой российских ученых и инженеров. Суть технологии – в "продувании" озоном автомобильных покрышек, что приводит к полному их рассыпанию в мелкую крошку с отделением от металлического и текстильного корда. При этом новая технология значительно экономнее и, кроме того, абсолютно экологически безвредна – озон окисляет все вредные газообразные выбросы. В России созданы две опытные озонные установки, их суммарная производительность – около 4 тыс. тонн резиновой крошки в год. Как правило, эти методы осуществляются при высо-

ких температурах и заключаются в термическом разложении (деструкции) полимеров в той или иной среде и получению продуктов различной молекулярной массы. Речь идет о методах, приводящих к глубоким необратимым изменениям структуры полимеров. К этим методам относятся сжигание, крекинг, пиролиз [4].

### ***Прямой и косвенный способы сжигания резины***

В прямом способе шины, грубоизмельченные или целиком, сжигают в избытке кислорода. Так в США Фирма "Waste Management Inc" сооружает установки по дроблению шин и поставляет резиновую крошку в качестве топлива на целлюлозно-бумажные комбинаты и цементные заводы. Также резиновая крошка как топливный материал используется в виде 10% добавки при сжигании угля. Этой же фирмой проводится эксперимент по сжиганию резины крупного дробления (до 25 мм) в циклонных топках энергетических котлов. Доля резины составляет 2-3% от массы угольного топлива.

В США, в свою очередь, развивается строительство электростанций, использующих в качестве топлива только автомобильные шины. Фирма "Oxford Energy" построила и эксплуатирует в г. Модесто электростанцию мощностью 14 МВт для сжигания 50 тыс. т. шин в цельном виде. На основании успешного опыта сжигания шин в США планируется построить 12 таких электростанций.

В Великобритании рассматривается вопрос строительства электростанций мощностью 20-30 МВт для сжигания 12 млн. шин в год массой 90 тыс. т. Из стран СНГ по такой технологии работают лишь в Казахстане.

Во втором случае на сжигание поступает газ, полученный в процессах переработки изношенных шин, например, при пиролизе (основаны на термическом разложении отходов при отсутствии или большом дефиците кислорода с целью сохранения углеводородного сырья).

Энергия горючего газа используется для получения горячей воды или водяного пара при помощи теплообменников. На Международной выставке-конгрессе "Высокие технологии. Инновации. Инвестиции" был представлен проект по созданию эффективной системы сбора и комплексной утилизации

покрышек в Петербурге и Ленинградской области. Сутью проекта является оригинальный способ утилизации измельченных автопокрышек совместно с горючим сланцем, который позволяет на газогенераторах, стоящих в городе Сланцы, утилизировать до 100 тыс. тонн старых покрышек и резины в год, при этом получая жидкое и газообразное топливо. Из тонны резиновых отходов можно получить пиролизом 450-600 литров пиролизного масла и 250-320 кг пиролизной сажи, 55 кг металла,  $10,2\text{ м}^3$  пиролизного газа. В США в настоящее время фирмой "Firestone Tyres" проведены успешные опыты по трансформированию резины в метанол с получением пылевидной сажи, соответствующей стандарту для резинотехнического производства. Первая установка имеет производительность по метанолу 300 т/сутки. Установка рассчитана на переработку шин легковых автомобилей диаметром 50 см. Основным процессом деструкции резины для дальнейшего трансформирования продуктов разложения в метанол является пиролиз в окислительной камере при температуре  $1000^\circ\text{C}$ . Для переработки шин необходимо их разрезать на части с отделением борта, который используется как побочный товарный продукт.

Жидкие продукты пиролиза можно использовать в качестве пленкообразующих растворителей, пластификаторов, мягчителей для регенерации резин. Пек пиролизной смолы является хорошим мягчителем, который может использоваться самостоятельно или в смеси с другими компонентами. Тяжелая фракция пиролизата как добавка к битуму, используемому в дорожном строительстве, может повысить его эластичность, устойчивость к холоду и влаге. Из газообразной фракции пиролиза можно выделять ароматические масла, пригодные для применения в производстве резиновых смесей. Низкомолекулярные углеводороды могут быть использованы в качестве сырья для органического синтеза и в качестве топлива [3].

### *Паротермическая деструкция резиновых отходов в среде перегретого пара*

Направлением переработки резиновых отходов, позволяющим не только решать проблему уничтожения отходов, но и получать ценные сырьевые и



энергетические ресурсы, является паротермическая деструкция резиновых отходов в среде перегретого пара. Важным направлением применения продуктов переработки резиновых отходов является возможность использования их в качестве исходного сырья для резиновой промышленности (масломагчители, теуглерод, сажа, пластификаторы и т.д.), промышленности нефтеоргсинтеза, в дорожном строительстве для производства битумных эмульсий и мастик.

Углеродсодержащий остаток (пирокарбон) представляет собой твердое вещество черного цвета (содержание углерода до 90 %). Пирокарбон может быть использован для производства сорбционных материалов, может применяться в металлургической промышленности в качестве заменителя аморфного графита, возвращаться в производство резины. Образующаяся жидкая фаза, как показывают исследования, представляет собой готовый масломагчитель для резиновой промышленности.

Данная технология позволяет существенно снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, гидросферу, достичь высокой энергетической эффективности как за счет рециркуляции тепла, так и путем использования части продуктов термической деструкции отходов для энергообеспечения процесса [5].

### ***Возможные направления использования резиновой крошки***

Возможные направления использования резиновой крошки:

- порошковую резину с размерами частиц до 1,0 мм можно применять для изготовления композиционных кровельных материалов (рулонной кровли и резинового шифера), подкладок под рельсы, резинобитумных мастик, вулканизированных и не вулканизированных рулонных гидроизоляционных материалов;
- порошковая резина с размерами частиц до 0,6 мм используется в качестве добавки (до 50...70%) при изготовлении резиновой обуви и других резинотехнических изделий. При этом свойства таких резин (прочность, деформируемость) практически не отличаются от свойств обычной резины, изготовленной из сырых каучуков;

- порошковая резина с размерами частиц от 0,5 до 1,0 мм применяется в качестве добавки для модификации нефтяного битума в асфальтобетонных смесях;

- порошковая резина с размерами частиц от 0,2 до 0,45 мм используется в качестве добавки (5...20%) в резиновые смеси для изготовления новых автомобильных покрышек, массивных шин и других резинотехнических изделий. Применение резинового порошка с высокоразвитой удельной поверхностью частиц (2500-3500 см. кв/г), получаемой при его механическом измельчении, повышает стойкость шин к изгибающим воздействиям и удару, увеличивая срок их эксплуатации [3].

### ***Выводы***

Резиновые невулканизированные отходы, основным компонентом которых является каучук, перерабатываются путем сортировки, очистки от посторонних включений, обработки очищенных отходов на смесительных вальцах. Полученная смесь возвращается в производство резины. Резиновые вулканизирующие отходы, образующиеся на стадиях вулканизации и отделки готовой продукции, а также бракованные изделия, перерабатываются в резиновую крошку, которая применяется на предприятиях как добавка к исходному сырью.

Особый класс резиновых отходов составляют отходы шинной промышленности, а также изношенные шины. Основными возможными направлениями утилизации таких отходов являются: использование крошки для дорожного строительства, производства гидроизоляционных, строительных и технических материалов; получение технических продуктов методом пиролиза; получение тепла путем сжигания изношенных шин в специальных котлоагрегатах [3].

Отходы резины используются в качестве топлива для получения энергии, а также в цементной промышленности. Однако такое направление, как и переработка в резиновую крошку, является малоэффективным, поскольку не позволяет в полной мере реализовать ценные свойства материалов.

Таким образом, в настоящее время разработаны различные технологии по переработке резиновых отходов. В зависимости от вида отходов применяется та

или иная технология их переработки, конечным этапом которой является возврат в исходное производство ценных компонентов, либо простое уничтожение отходов.

*Список использованной литературы*

1. Кошелев, Ф.Ф. Общая технология резины / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, Н.С. Климов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1968. – 560 с.
2. Бекин, Н.Г. Оборудование заводов резиновой промышленности / Н.Г. Бекин, Н.П. Шанин. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1978. – 376 с.
3. Утилизация шин и экология [Электронный текст]. – М.: ООО ПО «Основа Успеха», 2009. – URL: <http://www.utilrti.ru/ru/poleznaya-informatsiya/4-utilizatsiya-shin-i-ekologiya.html>.
4. Тимонин, А.С. Инженерно-экологический справочник / А.С. Тимонин. – К., 2003. – 1020 с.

УДК 628.358

ББК К342.9

**Доочистка сточных вод КОО «Предприятие Эрдэнэт» (Монголия)  
с целью повторного использования**

Сэрээтэрням Ц.

*КОО «Предприятие Эрдэнэт» (Монголия),*

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России*

*Б.Н. Ельцина (Россия, г. Екатеринбург)*

Монголо-российское КОО «Предприятие Эрдэнэт» является одним из крупнейших предприятий в Азии по добыче и обогащению меди и молибдена. Основано в 1978 году в соответствии с межправительственным соглашением двух стран

на месторождении «Эрдэнэтийн Овоо». В год перерабатывает 26 млн. т руды; производит около 530.0 тыс. т медного и около 4,5 тыс. т молибденового концентрата.

Хвостовое хозяйство обогатительной фабрики КОО «Предприятие Эрдэнэт» включает комплекс гидротехнических сооружений, систему гидравлической укладки хвостов, обратное водоснабжение.

Площадка хвостохранилища расположена в 4,5 км к северу от обогатительной фабрики в долине реки Зуныгол. С двух сторон хвостохранилище ограничено бортами долины, с третьей – плотиной (дамбой), перегораживающей реку Зуныгол.

Хвостохранилище обеспечивает складирование хвостов в течение 40 лет эксплуатации. Проектная емкость хранилища составляет 507 млн. м<sup>3</sup>, площадь – 1800 га. По действующему проекту 1 очереди хвостохранилища конечная абсолютная отметка заполнения установлена в 1283 метра (II очередь в стадии разработки).

Особенности водного хозяйства КОО «Предприятие Эрдэнэт». Основным «источником» промышленного водоснабжения КОО «Предприятие Эрдэнэт» является обратная вода, расход которой составляет 3,75 м<sup>3</sup> на 1 тонну руды.

Используется также фильтрационная вода в количестве около 30000 м<sup>3</sup>/сут., которая подается на фабрику периодически совместно с оборотной водой. Дополнительно используется техническая вода, подаваемая из резервуаров чистой воды (из р. Сэлэнга), в количестве 28000-36000 м<sup>3</sup>/сут. Вся производственно-технологическая вода составляет около 220000 м<sup>3</sup>/сут. Качество сточной воды приведено в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сточных вод комбината

Выявленные элементы (средний показатель за взятые годы)	Годы			
	2009	2010	2011	2012
Mo, мг/л	2.63	3.17	2.39	2.48
Cu, мг/л	0.27	0.10	0.07	0.40
Ca, мг/л	177.25	209.97	214.8	226.7
Mg, мг/л	17.10	15.73	14.46	27.45
Fe, мг/л	0.43	0.25	0.25	4.60
SO <sub>4</sub> , мг/л	886.64	1002.31	1053.72	1193.02
HCO <sub>3</sub> , мг/л	87.88	81.52	84.53	72.15
CO <sub>3</sub>	1.85	1.09	0.00	0.38
Сухой остаток	1512.67	1653.25	1750.5	1820.3
pH	8.27	8.10	7,63	7.54
Жесткость, мг-экв/л	10.25	11.77	11.91	13.60
Взвешенные вещества, г/л	0.317	0.331	0.343	0.358

КОО «Предприятие Эрдэнэт» приходится выплачивать государству свыше 20 миллиардов тугриков (около 20 млн. долларов США) в год за использование природной воды. Поэтому возник вопрос о повторном использовании сточной воды в технических и других целях, что позволит снизить затраты на использование воды.

В данной работе была поставлена задача доочистки 1000 м<sup>3</sup>/ч исходного стока с целью его использования для охлаждения подшипников насосных станций.

В результате проведенных исследований была получена технология доочистки исходного стока.

Реагентная обработка включала добавление извести в количестве 1 г/л, сернокислого алюминия в количестве 5 г/л, и флокулянта Аквапол в количестве 3 г/л. После осветления вода имеет следующий состав (табл. 2).

Таблица 2

Качество воды после реагентной обработки

Выявленные элементы	Анализы				Средний показатель
	1	2	3	4	
рН	7.6	7.9	7.9	8.4	7.9
Кальций ион ( $\text{Ca}^{2+}$ ), мг/л	635	601	543	476	564
Сульфат ион ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), мг/л	1370	1150	1280	1210	1252.5
Перманганатная окисляемость, мг $\text{O}_2$ /л	5.2	5.1	5.1	4.9	5.0
Взвешенных вещества, г/л	0.211	0.207	0.278	0.246	0.236
Общее солесодержание, мг/л	1.421	2.005	2.110	1.126	1.666

Полученное качество доочищенной воды удовлетворяет требованиям производства. При необходимости получения воды более высокого качества требуется дополнительная очистка на мембранных установках, либо на биооплато.

УДК 66.047

ББК Л283

**Влияние скорости охлаждения на качественные характеристики  
сульфаминовой кислоты**

Татаринцева О.С., Орлова Н.В., Пятакова Н., Суслина А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Продукция химических предприятий широко используется в лакокрасочной, нефтеперерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности. Показатели выпускаемой продукции и эффективность функционирования предприятия определяются уровнем технологии производства, аппаратурным оформлением основных стадий и качеством применяемых сырьевых компонентов. Поэтому основными задачами, стоящими перед химической промышленностью являются: внедрение высокоэффективных, энергосберегающих, ресурсосберегающих, безотходных технологий; совершенствование структуры производства; повышение уровня автоматизации и механизации производства [1]. В связи с этим первостепенное значение приобретает: создание более совершенных машин и аппаратов, модернизация существующих в химических производствах, разработка более эффективных производственных процессов и технологий [2].

Производство сульфаминовой кислоты, которая применяется для удаления «молочного» и «пивного» камня из пастеризаторов и накипи с теплообменников и паровых котлов, а также используется в процессе диазотирования для снятия избытка азотистой кислоты, имеет ряд недостатков, включающих низкую концентрацию целевого продукта, высокое содержание примесей и неоднородный гранулометрический состав.

На базе применяемой технологии (сульфирование мочевины→выделение→кристаллизация→фильтрация) необходимо совершенствование стадии кристаллизации с целью получения продукта имеющего следующие характеристики: концентрация целевого вещества не менее 99,5 %, массовая доля суль-

фат – ионов до 0,04 %, содержание нерастворимых в воде примесей не более 0,08 %.

Одним из параметров процесса кристаллизации существенно влияющим на качественные характеристики сульфаминовой кислоты (гранулометрический состав, содержание примесей и выход продукта) является скорость охлаждения. При длительном охлаждении средний размер кристаллов и насыпная плотность увеличивается, но гранулометрический состав становится неоднородным [3]. При быстром охлаждении гранулометрический состав более однородный, но насыпная плотность уменьшается [4].

В связи с этим задачей экспериментальных исследований являлось определение такой скорости охлаждения, при которой будут достигнуты требуемые качественные характеристики сульфаминовой кислоты.

Для изучения влияния скорости охлаждения на качественные характеристики сульфаминовой кислоты, была использована лабораторная установка, представленная на рис. 1.

Была проведена серия экспериментов с одинаковой начальной температурой раствора 60 °С при скоростях охлаждения  $0,05 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $0,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $0,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ .

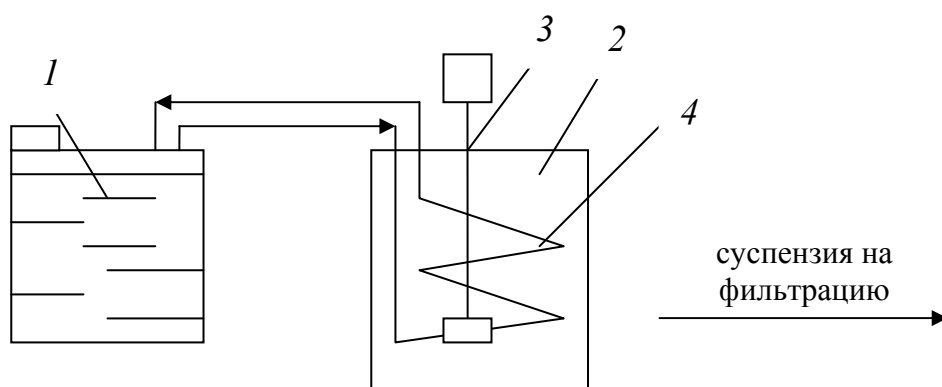


Рис. 1. Лабораторная установка для изучения кинетики процесса кристаллизации сульфаминовой кислоты марки А:

1 – термостат; 2 – кристаллизатор; 3 – перемешивающее устройство; 4 – змеевик



Чтобы избежать возникновения большого числа центров кристаллизации и увеличить тем самым размер получаемых кристаллов, охлаждающую воду в змеевик подаем не сразу после заполнения кристаллизатора горячим раствором [5]. Время выдержки 30 минут. Затем охлаждаем до 15 °С. Температура охлаждающей жидкости 13 °С.

Изменение температуры раствора при различных скоростях охлаждения представлено в виде температурной зависимости (рис. 2).

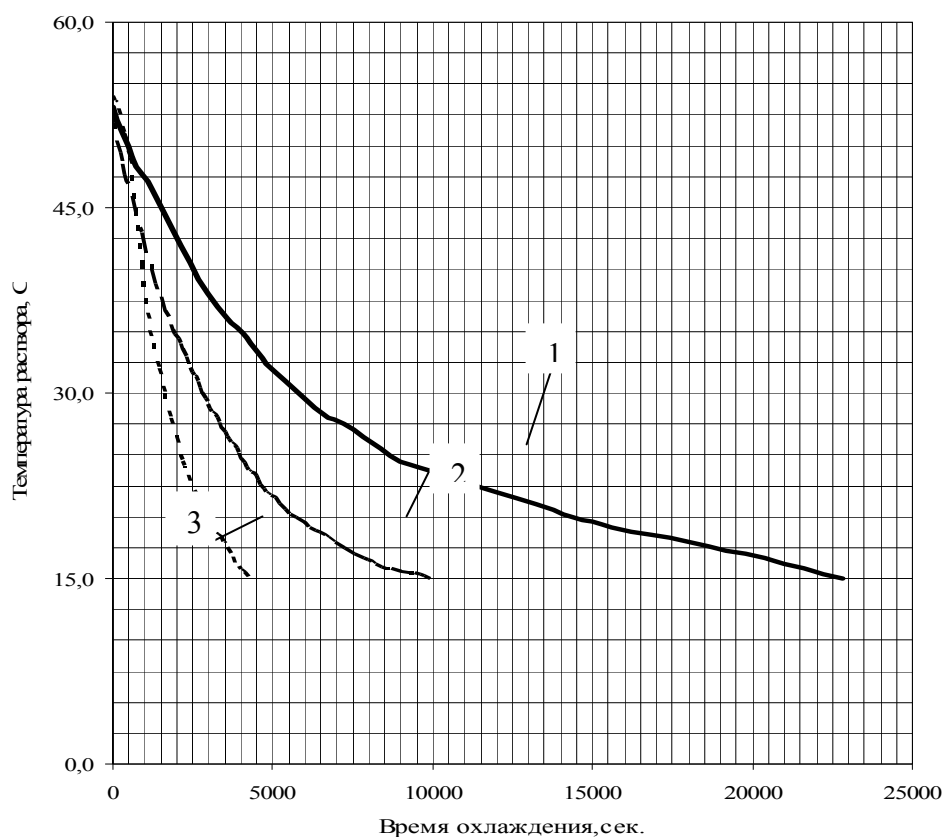


Рис. 2. Изменение температуры раствора во времени при различных скоростях охлаждения:

$$1 - 0,05 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; 2 - 0,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; 3 - 0,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

В результате обработки результатов экспериментальных исследований была определена насыпная плотность полученных образцов сульфаминовой кислоты при различных скоростях охлаждения. Лучшая насыпная плотность 1127,5 кг/м<sup>3</sup> была получена при скорости охлаждения  $0,05 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Для определения гранулометрического состава использовался ситовой метод анализа [6]. Ситовому анализу подвергалась предварительно высушенная проба сульфаминовой кислоты. Перед рассевом для обеспечения сыпучести добавлялся 0,25 % цеолита типа NaA. Результаты ситового анализа представлены в виде графиков на рис. 3.

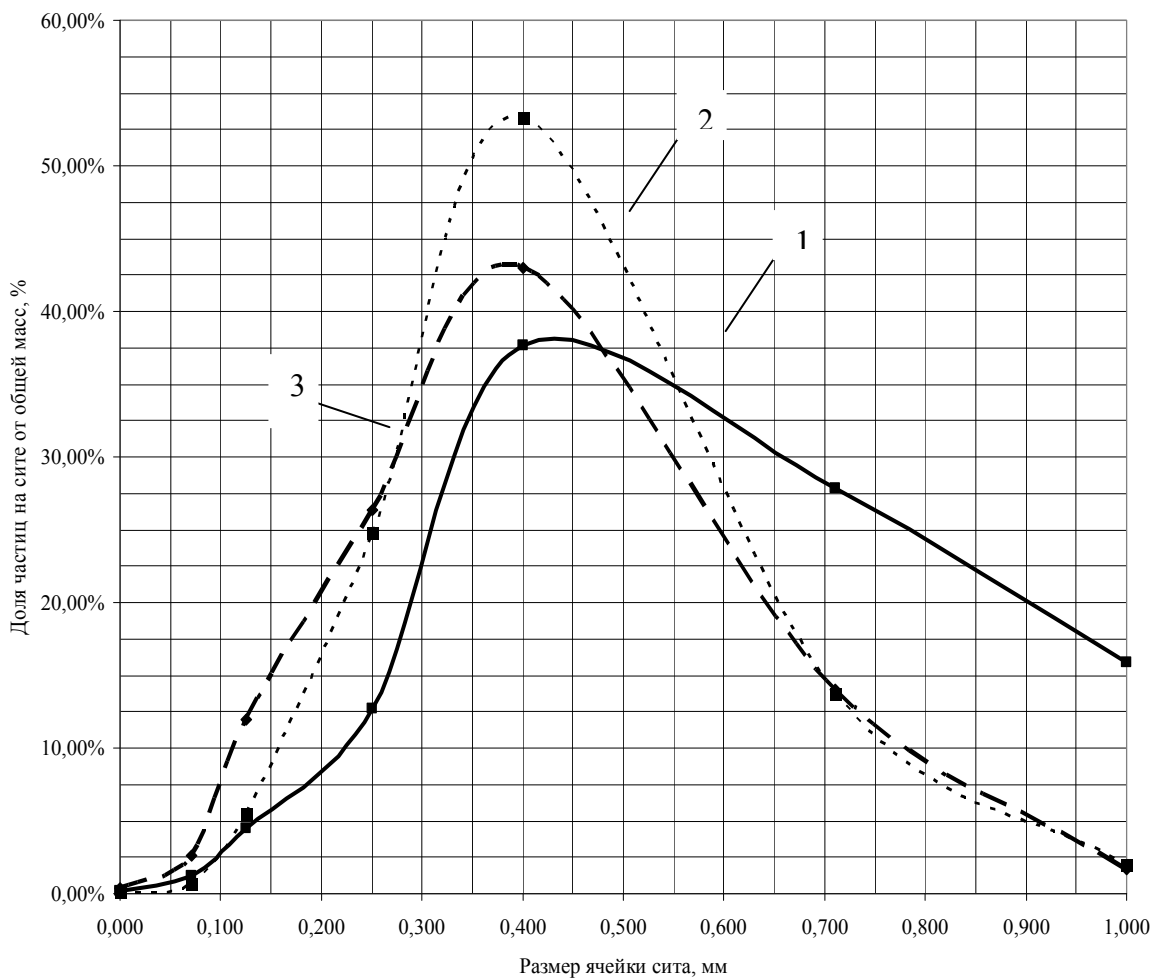


Рис. 3. Функция распределения кристаллов сульфаминовой кислоты в зависимости от скорости охлаждения:

$$1 - 0,056 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; \quad 2 - 0,194 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; \quad 3 - 0,417 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

В результате анализа полученных экспериментальных данных сделан вывод о том, что большая масса кристаллов размером 0,7 – 1 мм формируются при скорости охлаждения  $0,05 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ . Наиболее однородный гранулометрический состав (0,4 – 52 %) наблюдается при скорости охлаждения  $0,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ .

### *Список использованной литературы*

1. Пунин Ю.О., Петров Т.Г. – В кн.: Рост кристаллов. – М.: Наука, 1972. – С. 76-79.
2. Химическая энциклопедия. – Т. 4. – М.: Советская энциклопедия, 1995. – 454 с.
3. Матусевич Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. – М.: Химия, 1968. – 304 с.
4. Стрикленд-Констэбл Р.Ф. Кинетика и механизм кристаллизации / Пер. с англ. под ред. Пунина Ю.А. – Л.: Недра, 1971. – С. 299.
5. Зеленко В.Л. Стационарные режимы, неустойчивость при кристаллизации в условиях интенсивного механического и теплового воздействия // Химическая промышленность. – 1993. – № 8. – С. 364-367.
6. Третьяков О.В., Крицкий В.Г. Уравнение Оствальда-Фройдлиха и описание гомогенной кристаллизации в растворах с малым пересыщением // Химия и химическая технология. – 1989. – № 10. – С. 48-53.

**Энергосберегающие высокоэффективные аппараты  
пульсирующего горения**

Терещенко М.А., Мозговой И.Н.

*Воронежский государственный технический университет (Россия, г. Воронеж)*

Проблема энерго- и ресурсосбережения стоит достаточно остро перед научным сообществом уже давно, ведь ни для кого не секрет, что запасами недр планеты Земля невозможно пользоваться вечно. Большое количество отходов и потерь – следствие несовершенства технологий, используемых современным обществом. Целесообразность создания мало- или безотходных производств диктуется все более жесткими требованиями как со стороны надзорных органов в области экологии, так и возрастающими запросами со стороны конечного потребителя – человека. В последнее время все больше внимания уделяется экологической эффективности оборудования, в том числе и теплогенерирующего оборудования.

Одной из основных зон загрязнения, в процессе деятельности человека, является атмосфера, от состояния которой во многом зависят все процессы, происходящие на земле, и в первую очередь состояние здоровья нынешнего и последующих поколений. Главными источниками загрязнения атмосферы являются промышленность, крупные индустриальные объекты, транспорт, тепловые электростанции, а основными вредными веществами являются оксиды углерода, серы, азота, органические соединения, промышленная пыль и т.д.

В настоящее время около 90% всей энергии, потребляемой нашим обществом (выработка электроэнергии, получение тепла, транспорт и т.д.), обеспечивается за счет сжигания топлива, то есть процессами горения. Поэтому реализация этих процессов с учетом выполнения экологических требований, накладывает необходимость использования, как аппаратов, так и теплоносителей, обладающих высокими теплотехническими показателями, с минимизацией со-

держания вредных примесей в продуктах сгорания. Таким образом, одной из важнейших задач является разработка нового и усовершенствование имеющегося теплогенерирующего оборудования. Оно должно быть энергоэффективным и экологически безопасным.

Таким требованиям и примером успешного сочетания высоких эксплуатационных, потребительских, экономических и экологических характеристик являются так называемые аппараты пульсирующего горения.

Действие таких аппаратов заключается в осуществлении принципов, заложенных в самом определении, а именно пульсирующее горение – это периодический процесс химического взаимодействия компонентов топлива (горючего и окислителя), характеризующийся тем, что амплитуда изменения интенсивности горения соизмерима (имеет тот же порядок величины) со средним значением интенсивности, а период колебаний амплитуды не превосходит время пребывания компонентов топлива и продуктов сгорания в объеме устройства, где этот процесс осуществляется.

Существует большое количество устройств пульсирующего горения, или аппаратов пульсирующего горения с различным видом организации колебательной системы. Они делятся на автоколебательные системы, а так же на аппараты с принудительным подводом энергии к колебательному контуру. Автоколебательные системы бывают квазигармонические, релаксационные, и имеют различное применение и множество вариантов их использования в промышленности – от котлов до печей-утилизаторов и сушильных установок.

Одним из примеров для рассмотрения является водогрейный котел, основанный на аппарате пульсирующего горения типа резонатора Гельмгольца. Характерной особенностью подобного аппарата является способность совершать низкочастотные собственные колебания, длина волны которых значительно превышает геометрические размеры резонатора.

Процесс пульсирующего горения происходит следующим образом. При первичном поступлении воздушно-топливной смеси в камеру сгорания осуще-

ствляется ее поджог от запальника или свечи зажигания. После полного сгорания смеси возникает ударная волна и, как следствие, снижение давления за ударной волной с одновременным охлаждением дымовых газов за счет теплопередачи в стенку камеры. При этом за счет разряжения происходит поступление новой порции газозвушной смеси. Эта смесь нагревается до температуры самовозгорания за счет остаточной теплоты дымовых газов. В процессе сгорания смеси дымовые газы из камеры сгорания под действием проталкивающей силы ударной волны направляются к открытому выходу через резонаторную горловину. Процесс повторяется без поджигания смеси посторонним источником. Система входит в автоколебательный режим. Устанавливается периодический процесс, именуемый пульсирующим горением. Частота этого процесса определяется конструкцией и геометрическими размерами резонансной системы. Камера сгорания и резонансные трубы окружены водяной рубашкой, по которой движется нагреваемая вода [1].



Рис. 1. Схема камеры сгорания водогрейного котла на основе аппарата пульсирующего горения

Данные котлы на основе аппарата пульсирующего горения имеют следующие преимущества:

- высокий КПД котла;

- малая поверхность теплообменного аппарата и незначительная металлоемкость котлоагрегата и как следствие – малая собственная теплоемкость;
- отсутствие дымососа и постоянно действующего вентилятора (электроэнергию потребляют только контрольно-измерительная аппаратура и автоматика);
- малое гидравлическое сопротивление контура котла;
- небольшой расход тепла на собственные нужды котельной вследствие ее малогабаритности;
- значительное снижение количества вредных выбросов в атмосферу по сравнению с аппаратами, в которых реализуется стационарный процесс горения [2].

Последнее преимущество с каждым годом становится все более и более ценным. В некоторых работах отмечено, что количество оксидов азота, образующихся в аппаратах такого типа на порядок ниже, чем в аппаратах, в которых реализуется стационарный процесс сжигания топлива [3].

В качестве основного недостатка котлов такого типа исследователями отмечается повышенный уровень шума. Однако бытовые котлы имеют относительно небольшой размер, а так же могут быть дополнительно оснащены специальными глушителями, которые снижают уровень шума на 15-20 дБ.

Перспективным направлением является использование в теплогенерирующих установках пульсирующего горения водорода или метана в качестве топлива. Такой подход позволит обеспечить максимальную полноту сгорания топлива и существенно снизить количество вредных выбросов.

Об экологических показателях данного оборудования можно судить по результатам расчета выхода  $NO_x$ . В работе [6] авторами показано, что «термический» путь образования NO по механизму Я.Б. Зельдовича вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды выбросами окислов азота при стационарном горении топлива.

В работах [4, 5] был произведен теоретический анализ выхода оксидов азота в аппаратах пульсирующего горения. Было доказано, что, в отличие от факель-

ного горения, основной вклад в итоговое содержание оксидов азота, образующихся при сгорании топлива в аппаратах пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном, вносят «быстрые» оксиды азота.

Конечная концентрация «быстрых» оксидов азота практически не зависит от температуры в камере сгорания. Их содержание в продуктах сгорания примерно одинаково как для аппаратов пульсирующего горения, так и в установках факельного сжигания топлива.

Таким образом, конечное снижение концентрации  $NO_x$  во многом определяется снижением «термических» оксидов азота в аппаратах пульсирующего горения.

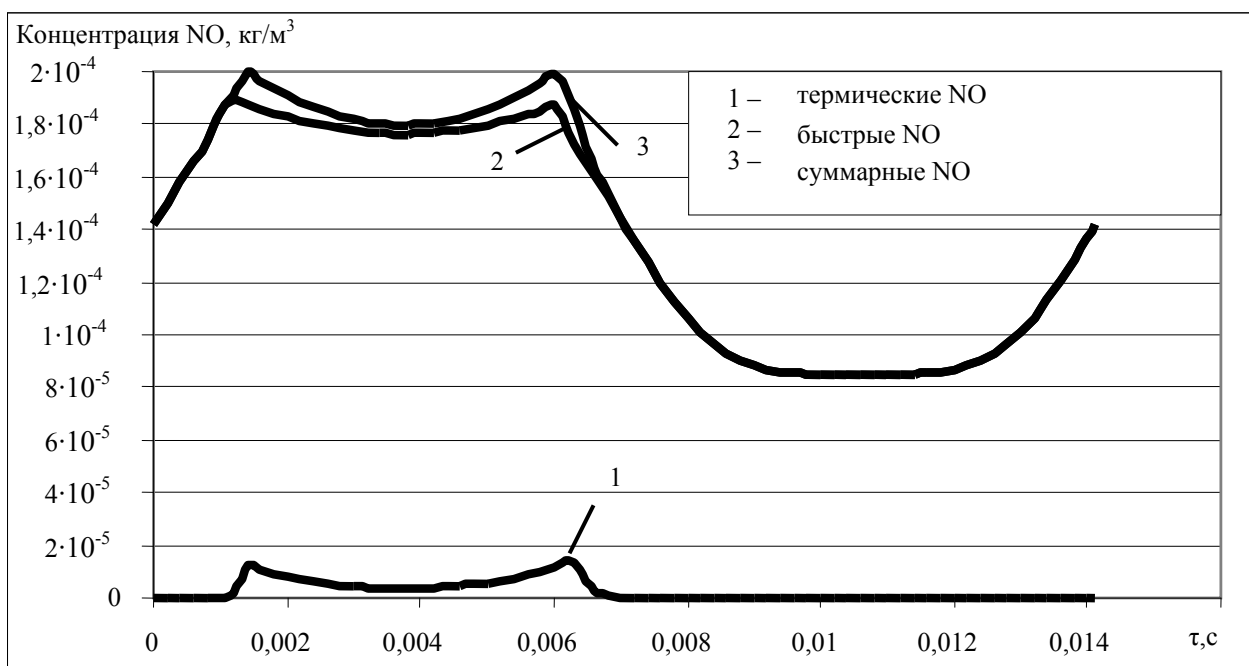


Рис. 2. График концентраций оксида азота при горении метана в воздухе в аппарате пульсирующего горения

В связи с децентрализацией коммунального хозяйства, а именно с переходом все большего количества котельных в частную собственность, растет и требование к теплогенерирующему оборудованию. Именно аппараты пульсирующего горения топлива, как наиболее совершенные и эффективные, должны прийти на смену котлов со стационарным, факельным процессом сжигания.



### *Список использованной литературы*

1. Сеницын, А.А. Исследование особенностей работы котла, основанного на пульсирующем горении газообразного топлива / А.А. Сеницын // Нефтегазовое дело. – Вологда: ВоГТУ, 2006.
2. Терещенко, М.А. Механизмы образования окислов азота при горении метано-воздушной и водородо-воздушной топливных композиций / Н.В. Мозговой, М.А. Терещенко // Компьютерные технологии автоматизированного проектирования систем машиностроения и аэрокосмической техники: труды Российской конф. – Воронеж: ВГТУ, 2007. – С. 134-139.
3. Быченко, В.И. Парогенератор на основе пульсирующего горения для термовлажностой обработки материалов / Н.В. Мозговой, М.А. Терещенко // Вестник ВГТУ. – 2006. – Т. 2, № 6. – С. 32-36.
4. Терещенко, М.А. Модель влияния колебательного процесса на параметры в камере сгорания АПГ с аэродинамическим клапаном / М.А. Терещенко, Н.В. Мозговой // Труды одиннадцатой всероссийской научно-технической конференции. – Воронеж: АКТ-2010. – С. 355-360.
5. Мозговой, Н.В. Влияние процессов пульсации в камере сгорания аппаратов пульсирующего горения на выход оксидов азота / Н.В. Мозговой, М.А. Терещенко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4, № 7. – С. 73-76.
6. Мозговой, Н.В. Термодинамические параметры продуктов сгорания водорода и метана в аппаратах пульсирующего горения / Н.В. Мозговой, М.А. Терещенко // Авиакосмические технологии «АКТ-2008: Труды девятой международной научно-технической конференции. – Воронеж: ВГТУ, 2008. – С. 72-77.

**Application of the concept of ecologically conscious leadership in the  
management of industrial enterprises**

Uvarova O.A.

*Tambov State Technical University (Russia, Tambov)*

One of the key factors that have a significant impact on the ecological state of the environment is industrial plants. One of the features of a modern industrial production – a significant amount of waste that are fed to the environment.

Today's ecological state of Russia can be defined as critical. Intensive pollution of the environment is underway. The decline in production did not result in a corresponding restriction of pollution whereas under the critical conditions companies have started saving on environmental costs. Developed and partially implemented state and regional ecological programs do not contribute to improving of the overall environmental situation, and every year on the territory of Russia more and more regions, cities and towns become dangerous for living of people.

In the Russian Federation over the past few decades in terms of rapid industrialization and chemicalization of production faulty technologies were introduced. In addition, not enough attention was paid to the conditions in which people will live, that is, how they will breathe the air, what kind of water they will drink, what they will eat, on which land they will live. However, this problem concerns not only the Russians, it is also relevant for the population of other countries.

Humanity must realize that environmental degradation is a great threat to our future [1].

That is why the concept of environmentally conscious management is becoming more and more relevant in the present. Environmental pollution has reached enormous proportions and is a global problem of mankind. In order to prevent an environmental disaster in the world, it is necessary to look for new approaches to the management of industrial enterprises and to apply them in practice. The concept of environmentally conscious management is one of these approaches.

The basis of the concept – an idea of the organization as part of the natural circulation. Environmental behavior plays a significant role in the concept of environmentally conscious management, and ecological processes are in the focus of attention.

In this concept ecological areas of company's activities are systematized and by each of them environmental challenges are proposed.

The most important objectives of the enterprise as ecological subsystem within this concept are:

- protection of resources (getting at the entrance to a subsystem environmentally proved resources and their economical expenditure);
- emission limitation (prevention or reduction of the outflow of hazardous substances into the environment at the output of the subsystem);
- waste reduction (reduction of their amount, recycling and re-use);
- limitation of risk (reduction of potential hazards at the output of the subsystem, prevention of accidents or reduction of seriousness of their consequences);
- production of non-hazardous products, i.e. such that throughout their life cycles are resource-conserving, do not harm the environment (no harmful emissions and waste), have a low level of risk to the health of their consumers [2].

Implementation of this concept requires appropriate management systems. Terms of ecological dimension, of ecological efficiency are introduced. It is referred to the transition from control of the production of harmful substances at the final stage to the management of the use of resources at the input to the system and prevention of the formation of harmful substances.

Environmental responsibility is an integral part of the responsibility of the enterprise. It requires a focused consideration and reduction of environmental impact and risks in all areas of activity and at all stages of the product life cycle.

Therefore, industrial enterprises should tend to minimize the negative impacts of industrial production on the environment. By this is meant purposeful, motivated, consistent changes of total and specific indicators of discharges and emissions of wastes, resource utilities, of the environmental performance of finished products achieved through the use of complex of diverse organizational, technological and technical methods and means [3].

On the ground of the concept of environmentally conscious management, the following directions of stabilization and subsequent improvement of the environmental conditions can be identified:

- introduction of non-waste production

Non-waste production involves the development of processes that ensure the maximum possible complex raw material processing. This allows, on the one hand, to use natural resources more efficiently, to recycle the waste in a commercial output, and on the other hand, to reduce the amount of waste and thereby reduce their negative impact on ecological systems [4].

- establishment of a system of ecological certification of manufacturing and other objects that are the sources of environmental pollution

Enterprise's ecological passport is a brief description of impact of the enterprise on the environment. Ecological passport includes general information about the enterprise, about the volume of industrial production and process procedure, i.e. about the consumption of raw materials and the nature of the finished product. These data allow to evaluate objectively the nature of plant's emissions and the assumed amount of waste [5].

The development of the ecological passport is an important step in solving the problem of ecological control of state of the environment, management of its development and compilation of environmental predictions.

Therefore, these actions will not only solve some complicated organizational, technological, technical, economic and other problems, but also will reduce industrial emissions of pollutants into the environment.

#### *References*

1. <http://www.newecologist.ru/ecolog-1788.html>.
2. [http://revolution.allbest.ru/management/00181444\\_0.html](http://revolution.allbest.ru/management/00181444_0.html).
3. <http://www.newecologist.ru/ecologs-4383-6.html>.
4. <http://www.bibliotekar.ru/enc-Tehnika/26.htm>.
5. <http://www.ngpedia.ru/id243987p1.html>.

УДК 621:004.896

ББК К5-642-5-05

**Система прогнозирования акустическим методом износа инструмента  
при различных токарных обработках детали**

Усман Ф.Д., Соколов М.В.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В данной работе исследована система прогнозирования акустическим методом износа инструмента при различных токарных обработках детали.

На основе анализа влияния условий механической обработки, закономерностей изнашивания и разрушения инструмента на основные характеристики процесса резания разработаны и приведены методики исследования работоспособности металлорежущего инструмента при технических требованиях.

В данной работе исследованы физические, химические и механические явления, происходящие на микроуровне, которые приводят к изменению свойств материала, и это изменение в значительной степени непредсказуемо из-за случайного характера движения атомов и ничтожного, на первый взгляд, разброса первичных свойств изделий, предназначенных для одной и той же цели.

Известно, что различные элементы технологической системы и сам процесс резания по-разному «шумят» на различных частотах. Поэтому необходимо выделить информативную полосу частот, амплитуда колебаний в которой зависит только от элементов режима резания и величины износа инструмента. Для решения этой задачи был построен план эксперимента, в котором подача и частота изменялась в пределах  $0,18-1,5 \text{ мин}^{-1}$ ,  $250-2000 \text{ об/мин}$  соответственно. Это требовалось для нахождения оптимальных условий, при которых резец изнашивался за 1-3 прохода по поверхности заготовки. Таковыми режимами стали  $n = 2000 \text{ об/мин}$ ,  $P_z = 1,44 \text{ мин}^{-1}$ ,  $t = 0,5 \text{ мм}$  и на рис. 1 построены спектры сигнала акустического излучения (АИ) в условиях цехового шума и при установленном резании для каждого пункта плана эксперимента, расстояние микрофона от инструмента 50 мм.

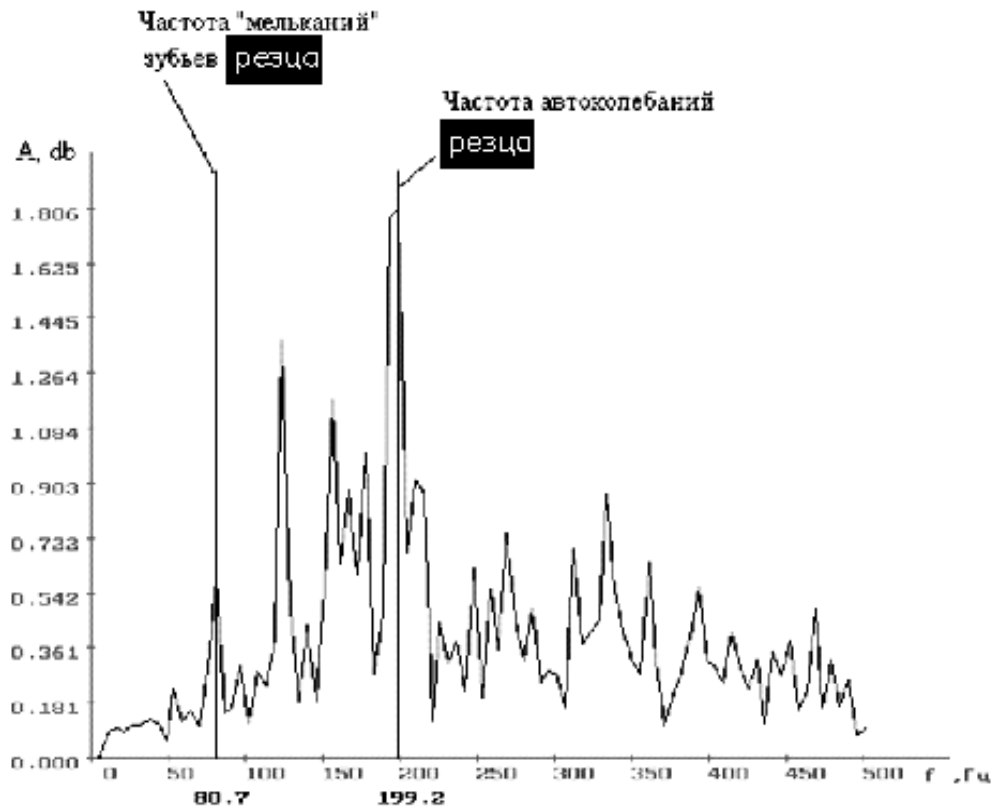


Рис. 1. Спектр акустического излучения процесса точения

Эти спектры были наложены друг на друга, как показано на рис. 2, и выделены участки, характеризующиеся увеличением амплитуды сигнала при изменении износа инструмента.

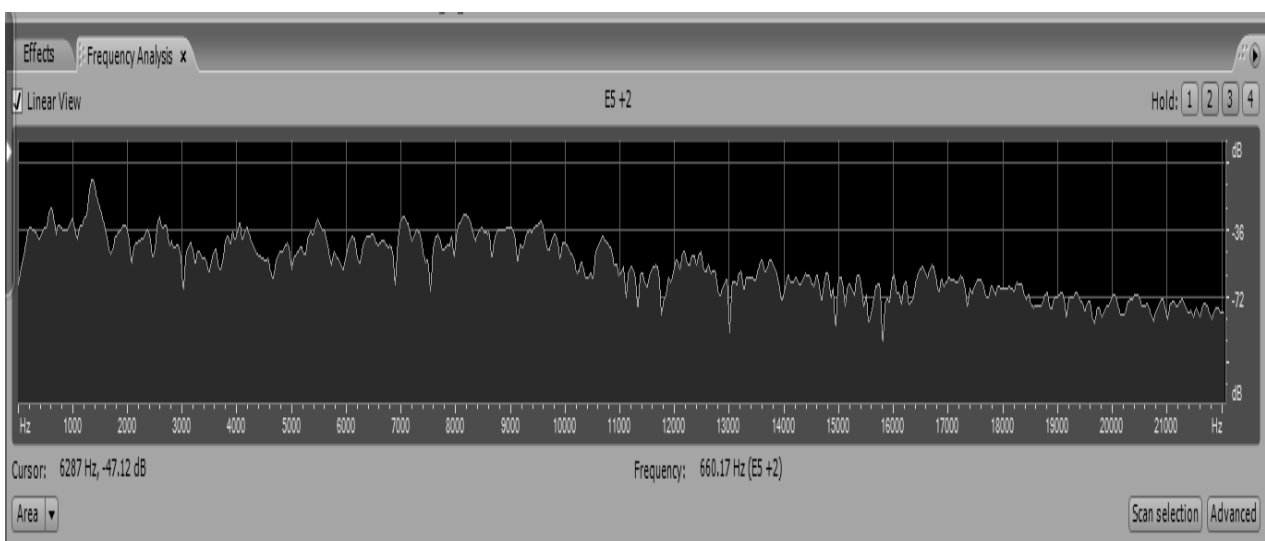


Рис. 2. Определение информационной полосы акустического излучения при точении

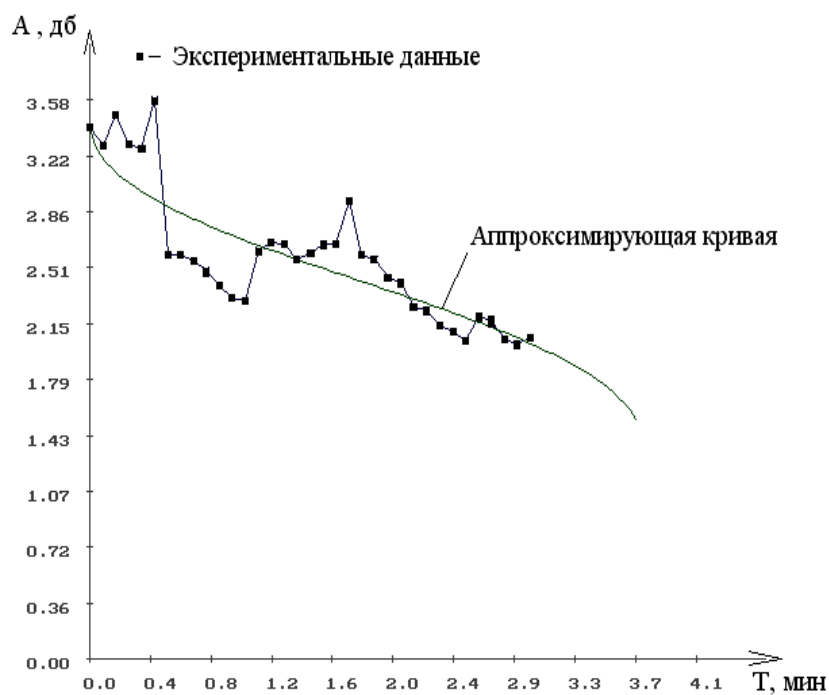
В результате проведенных исследований было установлено, что при резании заготовки заточенным, не заточенным и изношенным инструментом на различных режимах (табл. 1) есть только одна широкая информативная полоса частот – от 700 Гц до 1200 Гц, - чувствительная к изменению износа инструмента. Результаты экспериментов приведены на рис. 3, 4.

#### 1. Режимы обработки и среднее значение децибел

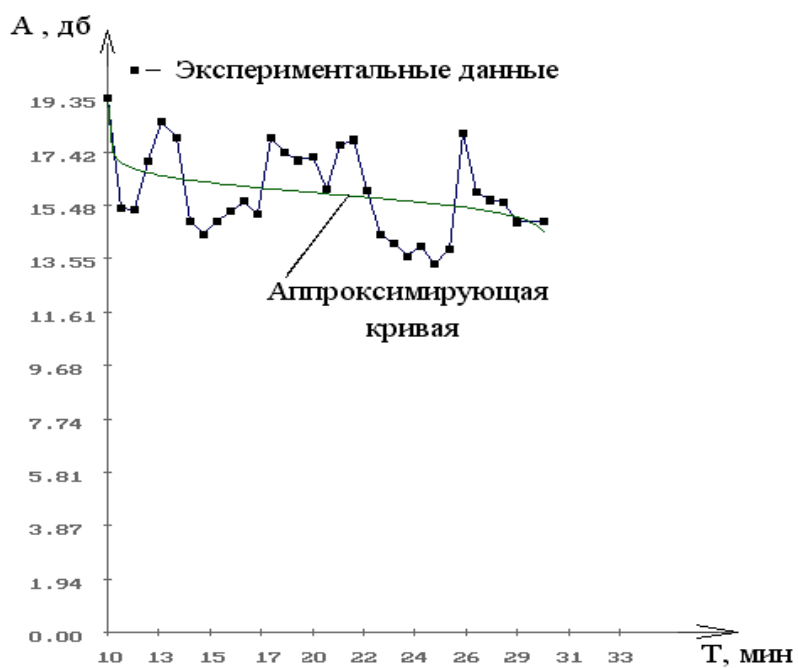
№ Опыт	Частота вращения шпинделя $n_p$ , мин <sup>-1</sup>	Подача инструмента $S$ , мм/об	Среднее значение децибел, dB		
			при обработке заточенным инструментом	при обработке не заточенным инструментом	при обработке изношенным инструментом
1	250	0,18	54,5	55,5	57
2	315	0,23	55,1	56,5	57,8
3	400	0,29	56,0	57,4	58,2
4	500	0,36	57,5	58	59
5	1000	0,72	57,8	58,5	62
6	1600	1,15	60,5	60,5	65,5
7	2000	1,44	61,5	62	67

#### Выводы

До настоящего времени механическая обработка материалов давлением и резанием остается одной из важнейших операций формообразования в технологических процессах. Наряду с формированием характеристик металлических изделий, механическими средствами обрабатываются большие объемы самых разных материалов, таких как древесина, полиграфические материалы, пластмассы, стекло, композиционные материалы и др. Эффективность процессов механической обработки является основой для выпуска конкурентоспособной продукции. Повышение производительности, гибкости, надежности и экономичности при обеспечении качества и точности получаемых изделий в настоящее время связано с научно обоснованным выбором оптимальных инструментальных материалов, геометрических параметров инструментов и режима резания, внедрению систем контроля за состоянием инструмента и т.д. [1].



a)



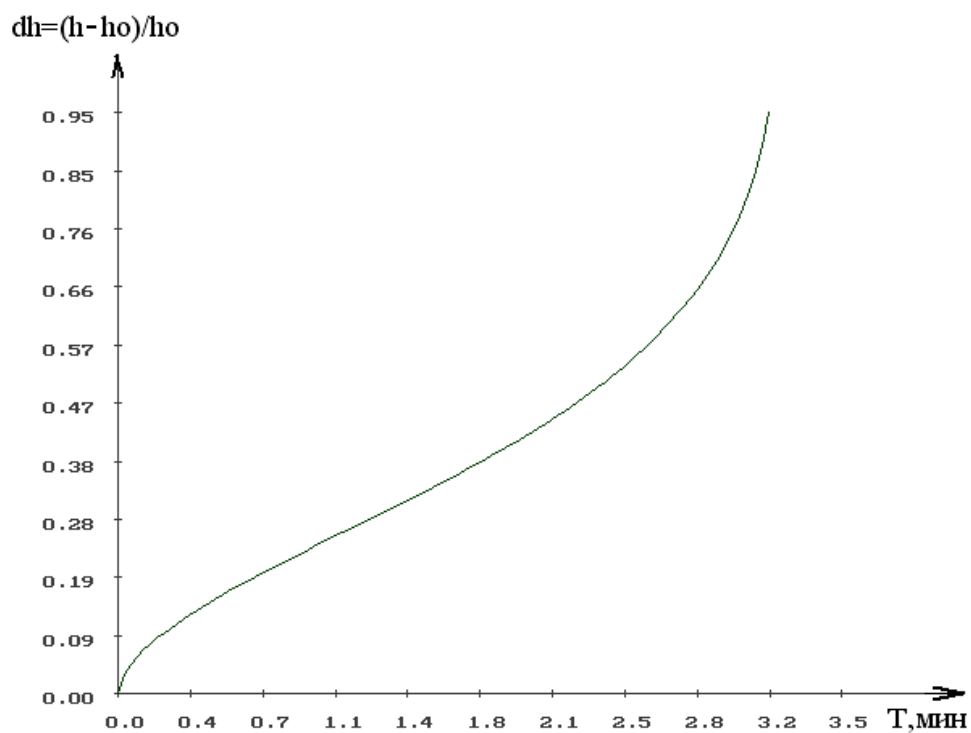
б)

Рис. 3. Изменение с течением времени уровня шума, генерируемого процессом точения:

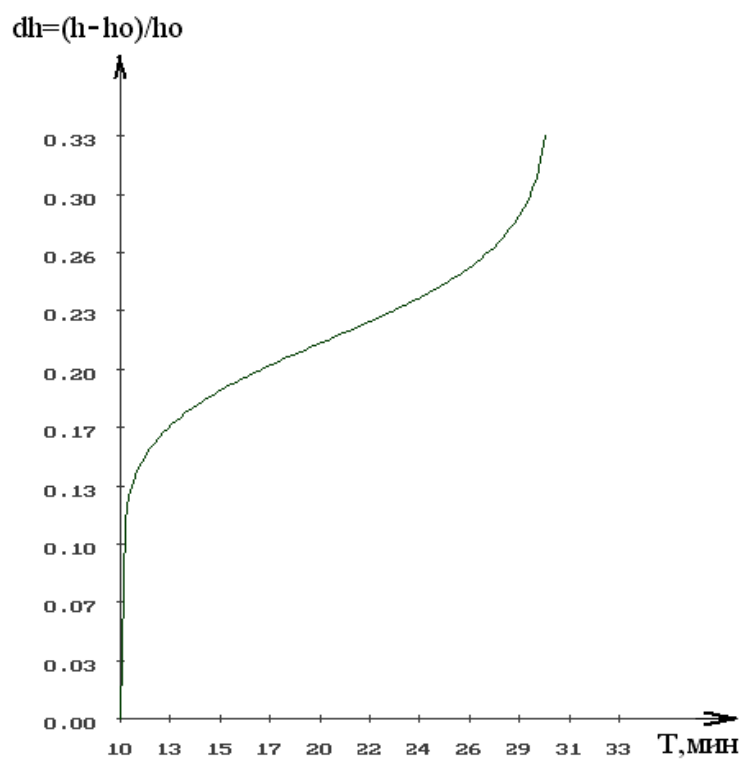
*a* – обработка заточенным инструментом;

*б* – обработка не заточенным инструментом





a)



б)

Рис. 4. Изменение с течением времени степени износа резца:

a – обработка заточенным инструментом;

б – обработка не заточенным инструментом

### 3. Протокол контроля состояния режущего инструмента при обработке заточенным инструментом

При сроке его эксплуатации	2.96 мин
Состояние инструмента	недопустимое
Степень поврежденности Q	0.6005
Надежность инструмента P	0.3995
Скорость изменения технического состояния	недопустимая
Наработка инструмента до недопустимой степени износа (снятия на перезаточку) составляет:	0.1 ... 0.3 мин

### 2. Протокол контроля состояния режущего инструмента при обработке не заточенным инструментом

При сроке его эксплуатации	2.38 мин
Состояние инструмента	недопустимое
Степень поврежденности Q	0.6285
Надежность инструмента P	0.3715
Скорость изменения технического состояния	недопустимая
Наработка инструмента до недопустимой степени износа (снятия на перезаточку) составляет:	0.1 ... 0.3 мин

Физические, химические и механические явления, происходящие на микроуровне, приводят к изменению свойств материала и на макроуровне, и это изменение в значительной степени непредсказуемо из-за случайного характера движения атомов и ничтожного, на первый взгляд, разброса первичных свойств изделий, предназначенных для одной и той же цели. Поддержание заданного уровня надежности в данном случае возможно посредством своевременной корректировки технического состояния машины, за счет применения эффективных методов диагностики, в частности, методов вибродиагностики. Причем к этой проблеме необходимо подходить шире и применять диагностику не только для контроля состояния машины, как таковой, но и для контроля состояния режущего инструмента, применяемого в процессе её изготовления [2].

Результаты данной работы можно будет использовать не только для практического технологического приложения, но и в учебном процессе для повышения уровня подготовки специалистов в области механической обработки материалов резанием.

*Список использованной литературы*

1. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Введение // Вестник машиностроения. – 2008. – № 1. – С. 57-67.
2. Верещака, А.С. Резание материалов: учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высш. шк., 2009. – 535 с.

УДК 681

ББК К635

**Анализ погрешностей обработки на токарно-копировальном станке,  
оснащенном следящей системой с электромагнитными муфтами**

Фидаров В.Х.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В последнее время с целью повышения степени автоматизации станков для переключения направления подачи в фартук токарного станка вместо зубчатых муфт стали встраивать фрикционные электромагнитные муфты, которыми можно управлять как вручную, так и автоматически. Это позволяет автоматизировать цикл работы станка, расширить его технологические возможности, встраивать в автоматические линии. На таких станках уже возможно обрабатывать тела вращения сложного профиля, если их снабдить копировальным датчиком и несложной станцией управления электромагнитными муфтами.

Однако такие станки имеют низкую производительность при требуемой точности обработки или же неудовлетворительную точность при приемлемой производительности. Поэтому повышение точности обработки и производительности копировальной обработки станков с электромагнитными муфтами является актуальной задачей для машиностроения.

В связи с этим данная работа посвящена выявлению причин возникновения погрешностей обработки, вносимых следящей системой станка с электромагнитными муфтами.

Принципиальная схема токарно-копировального станка представлена на рис. 1.

При токарно-копировальной обработке на заготовке воспроизводится профиль, соответствующий форме копира. Это происходит следующим образом.

Заготовке, установленной в трехручачковом самоцентрирующем патроне сообщается вращательное движение со скоростью резания  $V$  от электродвигателя  $M$  через коробку скоростей  $i_v$  и шпиндель. Суппорту сообщается движение продольной подачи с постоянной скоростью  $S_{зад}$  от шпинделя через коробку подач  $i_s$ , механизм продольной подачи фартука и передачу «зубчатое колесо

(з.к.) – рейка». Переключение направления продольной подачи осуществляется посредством включения электромагнитных муфт ЭМл (влево) и ЭМп (вправо); муфта ЭМт2 служит для осуществления быстрого торможения.

Резец крепится в резцедержателе на поперечных салазках суппорта, жестко связан с корпусом копирующего датчика и перемещается в продольном направлении вместе с суппортом. Поперечные салазки вместе с резцом и копирующим датчиком могут перемещаться в поперечном направлении при вращении ходового винта  $t_{х.в.}$ . Вращение на ходовой винт передается от шпинделя через коробку подач  $i_s$  и механизм фартука.

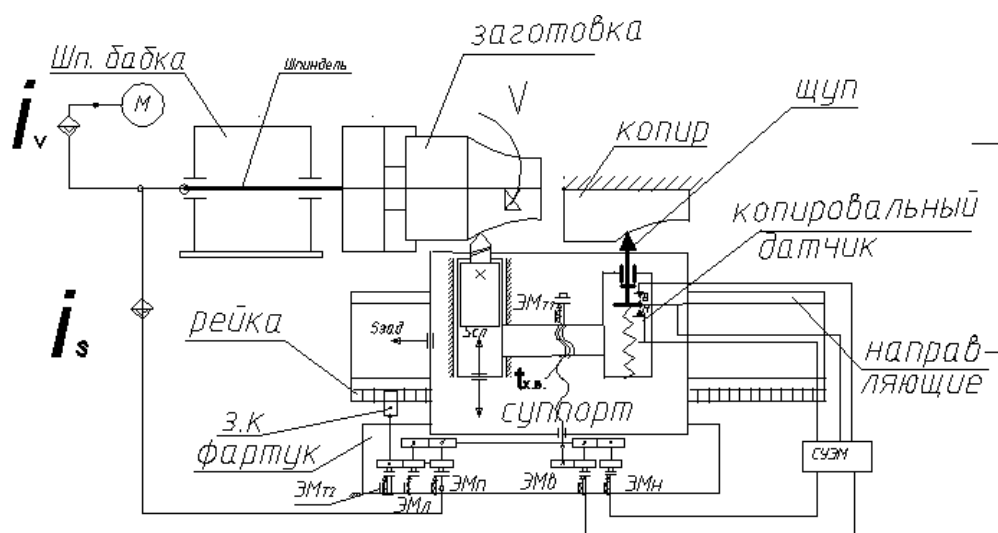


Рис. 1. Принципиальная схема токарно-копировального станка

При включении электромагнитной муфты ЭМв поперечные салазки с резцом и датчиком перемещаются вперед, а при включении ЭМн- назад со скоростью подачи  $S_{сл}$ . Электромагнитная муфта ЭМт1 необходима для торможения.

Обработка криволинейного профиля заготовки или профиля, расположенного под углом к оси шпинделя, возможна, если траектория вершины резца будет в данной точке обработки направлена по касательной к профилю заготовки, что достигается путем векторного сложения скоростей одновременно включенных подач резца в продольном  $S_{зад}$  и поперечном направлениях  $S_{сл}$ :  $S_{\Sigma} = S_{зад} + S_{сл}$  (рис. 2).

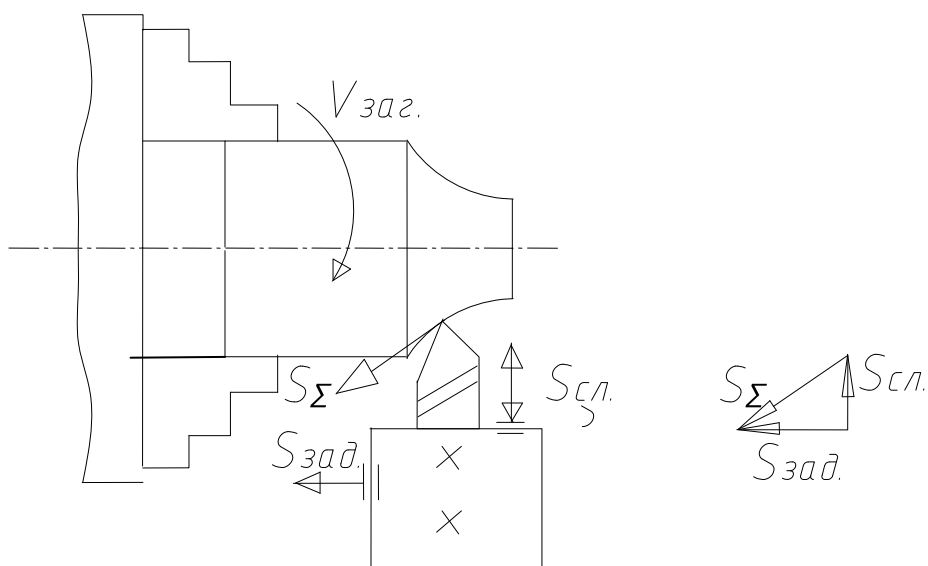


Рис. 2. Схема обработки криволинейного контура

Однако соотношение скоростей продольной и поперечной подач при постоянном их включении строго фиксировано и не регулируется и в станке модели 16К20 составляет  $S_{зад}/S_{сл} = 2$ , что будет соответствовать перемещению резца по прямой линии, наклоненной к оси шпинделя под углом  $\alpha$ :

$$\tan \alpha = \frac{S_{зад}}{S_{сл}} = 2.$$

Но любую кривую линию можно аппроксимировать с определенной точностью отрезками прямых, а такие прямые траектории перемещения резца на станке можно получить попеременными включениями продольной и поперечной подач. Возможны два варианта обхода контура, которые рассмотрим для простоты на примере обработки конической поверхности (рис. 3).

При первом методе аппроксимация требуемого профиля осуществляется отрезками ортогональных прямых, соответствующих перемещениям резца в продольном  $S_{зад}$  и поперечном  $S_{сл}$  направлениях (рис. 3, а); во втором – когда один отрезок прямой параллелен оси шпинделя и соответствует продольному перемещению резца  $S_{зад}$ , а второй располагается под углом к оси шпинделя и соответствует перемещению резца при одновременном включении продольной и поперечной подач (рис. 3, б).

Из двух методов более производительным является второй – диагональный.

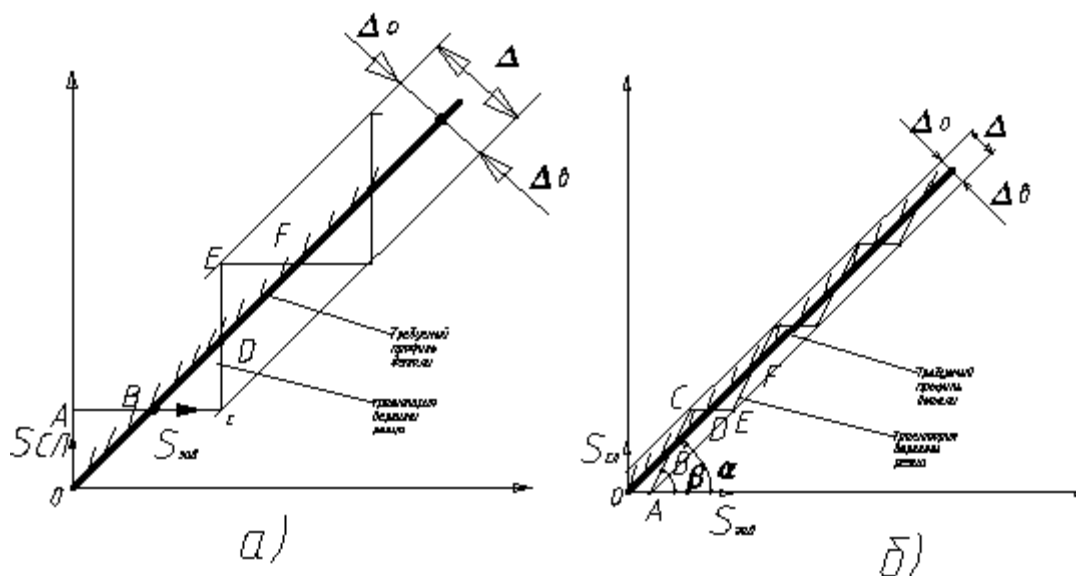


Рис. 3. Методы обхода контура при копировальной обработке:

- a* – пилообразный (траектория вершины резца образуется в результате чередования двух взаимно-перпендикулярных подач);
- б* – диагональный (траектория резца образуется в результате чередования одной и двух одновременно включенных передач)

Копировальная обработка происходит следующим образом.

Продольная, задающая, подача  $S_{зад}$  включена постоянно и перемещает суппорт с закрепленным на нем жестко резцом и датчиком влево. Щуп датчика под воздействием пружины все время прижимается к копиру и его траектория при обходе контура в точности соответствует профилю копира. Траектория же корпуса датчика соответствует траектории суппорта и резца, поскольку они связаны жестко. Щуп датчика в осевом направлении имеет возможность перемещаться относительно корпуса, замыкая и размыкая при этом контакты В или Н.

При движении суппорта вдоль копира влево, в зависимости от угла профиля копира корпус датчика приближается к копиру или отдаляется от него, что соответствует относительному перемещению щупа и корпуса датчика, а следовательно замыканию контактов В или Н.

При замыкании контакта Н подается сигнал на включение подачи назад. Сигнал поступает на станцию управления электромагнитными муфтами СУМЭ, усиливается и подается на муфту ЭМн. Муфта включается и соединяет вра-

шающуюся ведущую часть привода подач с ведомой, осуществляя следящую подачу назад.

Поперечные салазки с корпусом датчика отходят от копира, контакт Н замыкается и отключает муфту (следящую подачу назад).

Если в дальнейшем корпус датчика опять приблизится к копиру, то опять замкнется контакт Н и весь цикл повторится; если же удалится, то замкнется контакт В, включится муфта ЭМв и будет осуществляться следящая подача вперед, а все остальное будет аналогично предыдущему циклу.

Поскольку резец жестко связан с корпусом датчика, то и его вершина в своем движении будет периодически отклоняться от требуемого профиля детали, формируя погрешность обработки.

Таким образом, наличие погрешности, то есть рассогласования между требуемой и фактической траекторией резца, заложено в саму идею следящей системы с электромагнитными муфтами. При появлении рассогласования между положением копира и копировального датчика система срабатывает в сторону его устранения. Величиной этого рассогласования в конечном счете и определяется точность системы. Величина же рассогласования определяется параметрами копировальной системы. Установление зависимостей между величиной рассогласования  $\Delta$  и параметрами системы, а также точностью обработки является задачей данного исследования.

Так как погрешности обработки вызываются отклонениями инструмента от линии идеального профиля (задается копиром), то рассмотрим траекторию инструмента при токарно-копировальной обработке более подробно с учетом переходных процессов при включении и отключении муфт. Выбираем наиболее прогрессивную схему обхода контура – диагональную.

Поскольку любой профиль в области малых отклонений с определенной точностью аппроксимируется отрезками прямых, то для простоты рассуждений рассмотрим обработку прямого профиля, расположенного под углом к оси шпинделя и погрешности, обусловленные работой следящей системы станка (рис. 4.).



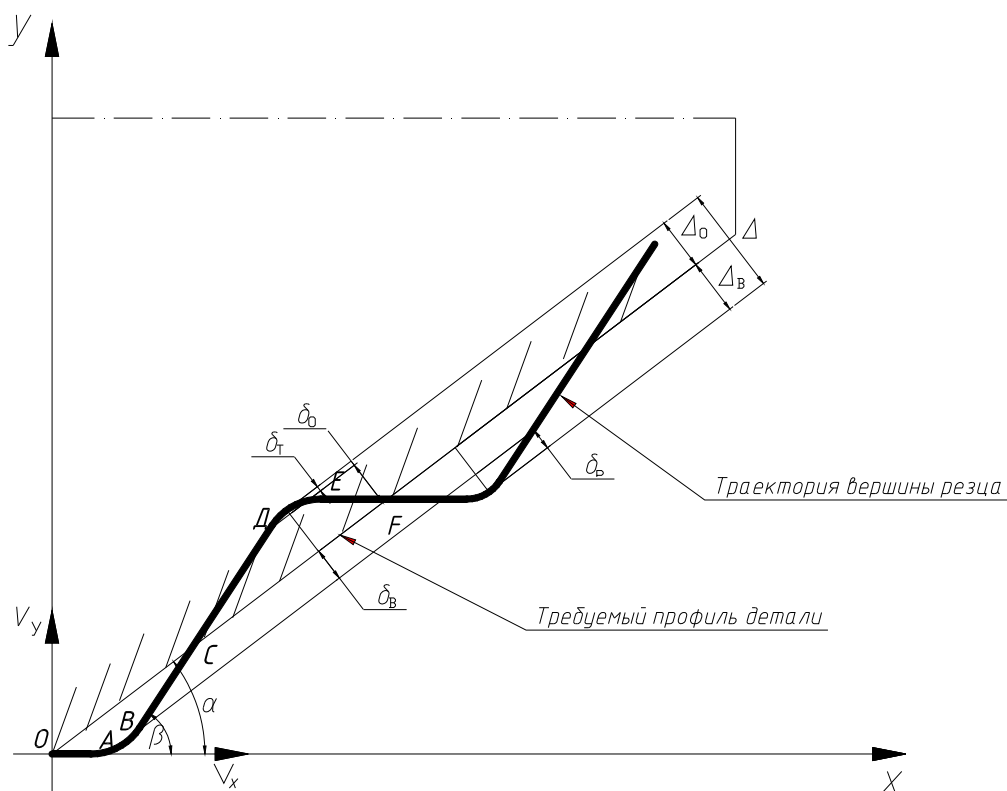


Рис. 4. Траектория вершины резца при обходе контура

Процесс обхода прямого профиля рассмотрим в координатной плоскости  $XOY$ , проходящей через вершину резца и линию требуемого идеального профиля детали  $OP$ , задаваемого копиром.

Задающая подача включена постоянно и сообщает исполнительному органу (ИО), то есть суппорту с резцом, движение вдоль оси  $OX$  с постоянной скоростью  $V_x = S_{зад}$ . Следящая подача включается периодически и сообщает движение резцу вдоль оси  $OY$ .

Двигаясь вдоль оси  $OX$ , вершина резца пересечет линию идеального профиля  $OP$  в точке  $O$ . В этот момент замыкаются контакты датчика  $B$  (см. рис. 3) и выдается команда на включение муфты ЭМв, т.е. следящей подачи вперед, но из-за инерционности системы движение резца по следящей координате (вдоль оси  $OY$ ) начнется с некоторым временем запаздывания  $t_v$ , за которое ИО с резцом пройдет путь  $V_x * t_v$ .

В точке  $A$  начнется разгон поперечных салазок (ПС) с резцом по следящей координате  $OY$ . В процессе разгона скорость резца будет возрастать постепен-

но и в течение некоторого времени  $t_{\delta p}$  погрешность копирования будет увеличиваться до тех пор, пока не сравняются проекции векторов скоростей задающей и следящей подач на нормаль к профилю в данной точке.

За время  $t_{\delta p}$  резец пройдет путь

по оси  $OX - S_x = V_x * t_{\delta p}$ ,

по оси  $OY - S_y = \int_0^{t_{\delta p}} \dot{y}(t) dt$ ,

где  $\dot{y}(t)$  – скорость следящей подачи.

Затем резец будет двигаться при одновременно включенных следящей и задающей подач со скоростью  $S_{\Sigma} = S_{зад} + S_{сл}$  в сторону уменьшения рассогласования (погрешности) и в точке С пересечет линию идеального профиля.

Здесь датчик выдаст команду на отключение следящей подачи, но из-за инерционности системы торможение ИО начнется с некоторым временем запаздывания  $t_3$ . За это время резец пройдет путь по оси  $OX - S_x = V_x * t_3$ ; по

оси  $OY - S_y = \int_0^{t_3} \dot{y}(t) dt$ .

В точке Д начнется процесс торможения следящей подачи по оси  $OY$ . В течение некоторого времени  $t_{\delta T}$ , пока не сравняются проекции скоростей следящей и задающей подач на нормаль к профилю, погрешность (рассогласование) будет возрастать. За время  $t_{\delta T}$  резец пройдет путь: по оси  $OX - S_x = V_x * t_{\delta T}$ , по

оси  $OY - S_y = \int_0^{t_{\delta T}} \dot{y}(t) dt$ , где  $\dot{y}(t)$  – скорость следящей подачи при торможении.

Затем под воздействием следящей подачи резец будет двигаться в сторону уменьшения рассогласования, в точке F пересечет линию идеального профиля, датчик выдаст команду на выключение следящей подачи и весь цикл повторится.

Отклонения траектории вершины резца, измеренные по нормали к профилю детали в данной точке, являются динамическими погрешностями копирования.

Обозначим полную погрешность через  $\Delta$ , тогда

$$\Delta = \Delta_v + \Delta_o,$$

где  $\Delta_v$  и  $\Delta_o$  – погрешности копирования из-за перебегов при включении и отключении следящей подачи соответственно.

В свою очередь

$$\Delta_v = \delta_v + \delta_p; \Delta_o = \delta_o + \delta_t,$$

где  $\delta_v$  и  $\delta_o$  – погрешности из-за запаздываний в системе при включении и отключении следящей подачи соответственно;  $\delta_p$  и  $\delta_t$  – погрешности копирования из-за инерционности процесса разгона и торможения при включении и отключении следящей подачи соответственно.

Как видно из рис. 4

$$\delta_v = OA * \sin \alpha = V_x * t_{\delta} * \sin \alpha;$$

$$\delta_o = \cos \alpha \int_0^t \dot{y}(t) dt - V_x * t_{\delta} * \sin \alpha.$$

При включении следящей подачи формирование погрешности  $\delta_p$  будет происходить до тех пор, пока угол между осью ОХ и вектором результирующей скорости подачи  $\bar{S}_{\Sigma}$  не станет равным или больше угла наклона копира  $\alpha$ , т.е. пока проекции векторов следящей и задающей подач на нормаль к профилю не сравняются. Время  $t_{\delta p}$ , в течение которого еще происходит формирование погрешности (рассогласования) при включении следящей подачи найдется, таким образом, из равенства

$$V_x * \tan \alpha = \dot{y}(t).$$

Поскольку задающая подача в переходном процессе при включении следящей подачи увеличивает рассогласование (см. рис. 4), а следящая уменьшает, то для погрешности  $\delta_p$  можно записать

$$\delta_p = \delta_x - \delta_y = V_x * t_{\delta p} * \sin \alpha - \cos \alpha * \int_0^{t_{\delta p}} \dot{y}(t) dt.$$

При отключении следящей подачи в переходном процессе задающая подача способствует уменьшению погрешности  $\delta_t$ , а следящая – увеличению, поэтому

$$\delta_T = \delta_{yT} - \delta_{xT} = \cos \alpha * \int_0^{t_{\delta T}} \dot{y}_0(t) dt - t_{\delta p} * \sin \alpha.$$

Время  $t_{\delta T}$  находится из соотношения

$$Vx * \tan \alpha = \dot{y}_0(t).$$

Итак, теперь мы можем найти полную погрешность копирования, т.к. известны все его составляющие:

$$\Delta = \Delta_B + \Delta_O = \delta_B + \delta_O + \delta_P + \delta_T = \delta_B + \delta_O + \delta_X + \delta_{yT} - \delta_Y - \delta_{xT}.$$

Задачей дальнейших исследований является установление зависимости погрешностей копировальной обработки от статических и динамических характеристик следящей системы с электромагнитными муфтами и разработка метода оптимизации этих характеристик с целью повышения точности токарно-копировальной обработки.

#### *Список использованной литературы*

1. Михайлов, О.П. Электромагнитные и магнитные устройства в станкостроении / О.П. Михайлов, Э.Б. Рогачев, Ю.Н. Ивенский и др. – М.: Машиностроение, 1974. – 184 с.

**Использование водорода, как добавка к основному  
углеводородному топливу в ДВС<sup>1</sup>**

Хохлов И.Н.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В последние годы автомобильный парк растёт очень стремительно. Это хороший показатель с точки зрения улучшения качества жизни и роста ВВП. В след за этим растут и выбросы в атмосферу вредных веществ. Особенно остро эта проблема стоит в крупных городах. Решением этих вопросов занимаются многие институты и уже не один год. Плоды этих трудов мы всё чаще замечаем на дорогах нашей страны и за рубежом. Это электромобили, автомобили, работающие на пропане или водороде. Об автомобилях, работающих на водороде, пока мало что известно и широкого распространения они, по некоторым причинам, пока не получили. Существует мнение, что распространению водорода, как топлива для автомобилей, препятствуют крупные нефтяные компании. Из-за его экологичности и невысокой себестоимости транспорт быстро переоборудуют для работы на водороде, спроса на бензин не будет. Проанализировав некоторые источники, мы пришли к выводу, эти обвинения в адрес нефтяных компаний не оправданы.

Во-первых, использование водорода требует соблюдения очень строгих мер безопасности, как при его хранении, так и при использовании.

Во-вторых, конструкция существующих ДВС не пригодна к использованию только водородного топлива, из-за низкой теплоёмкости водорода.

Сжигать водород как бензин в камере сгорания ДВС экономии не принесёт, т.к. производство водорода требует не малых материальных затрат. Перспективнее топливные элементы, где водород не сгорает, а при соединении с возду-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством к.п.н., доцента, зав. кафедры АиАТ А.О. Хренникова.

хом производит электроэнергию, которая используется для движения автомобиля. Такая технология безусловно хороша, не загрязняет атмосферу и по эксплуатационным характеристикам мало отличается от бензинового автомобиля. Распространение таких автомобилей идет медленно, по причине не развитой инфраструктуры для таких автомобилей. По мнению некоторых авторов, общественный транспорт уже сегодня мог бы перейти на жидкий водород. Для промышленно развитых стран это уже не техническая, а организационная проблема [1].

Нами предлагается на данном этапе развития использовать водород в качестве присадки к основному топливу. Что, по нашему мнению, приведёт к улучшению тягово-экономических характеристик автомобиля. Так как водород приобрести в небольших количествах сейчас проблематично, предлагаем получать его из воды при помощи электролиза. Для этого был предложен прибор, состоящий из корпуса аккумуляторной батареи и пластинчатого электролизёра (рис. 1). Пластинки электролизёра изготовлены из листа оцинкованной стали толщиной 0,35мм и скреплены между собой монтажным клеем на расстоянии 4 мм.

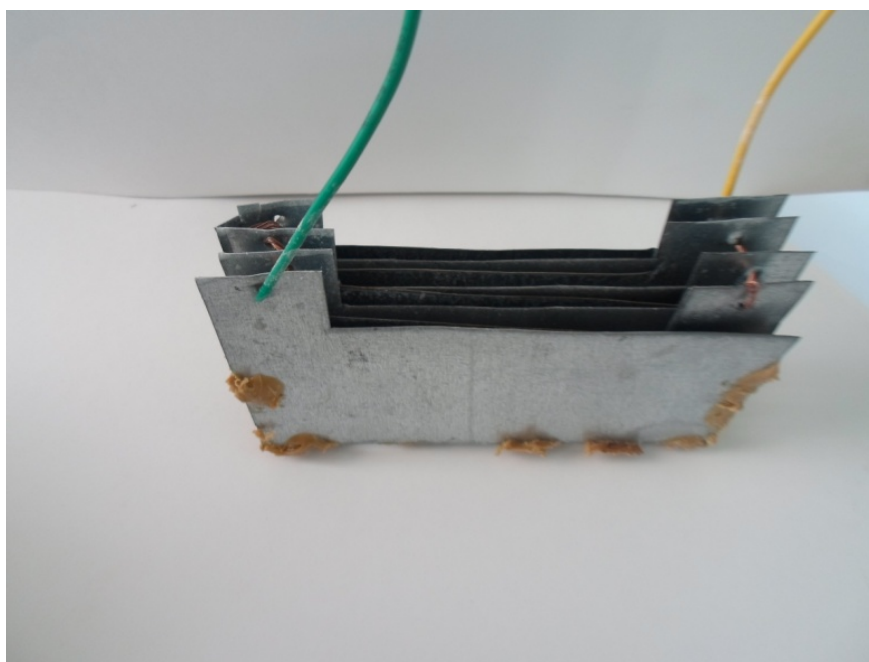


Рис. 1. Пластинчатый электролизёр

Проводя испытания по проверке протекания реакции в воде различного качества, использовалась водопроводная и дистиллированная вода. В водопроводной воде реакция протекала интенсивней чем в дистиллированной. Однако, при протекании химической реакции (электролиз), с образованием газа Брауна, в водопроводной воде содержащиеся в ней примеси выпадают в осадок, образуя белую массу, препятствующую выходу полученного газа на поверхность (рис 2). Проанализировав полученные результаты, можно сделать выводы, что применять лучше всего чистую воду (дистиллированную), это исключит образование осадка и белого налёта. Полученный таким способом газ Брауна подаётся вместе с воздухом во впускной коллектор. Такая смесь обеспечивает более полное сгорание бензовоздушной смеси и даёт более высокий термический КПД (в среднем на 10...15 %) [2].



Рис. 2. дистиллированная вода (слева) и водопроводная вода (справа)  
после 30 сек. реакции

Создание такой установки и её монтажа на автомобиль не требует больших затрат, но и большой экономии материальных ресурсов она не принесёт, т.к. требуется использование дистиллированной воды. Существенным достоинством является снижение вредных выбросов и повышение КПД за счёт более полного сгорания углеводородного топлива.

### *Список использованной литературы*

1. Изобретатель и рационализатор. – 1983. – № 2.
2. Варшавский, И.Л. Анализ работы поршневого двигателя на водороде / И.Л. Варшавский, А.И. Мищенко // Известия вузов. – № 10. – М.: Машиностроение, 1987.
3. Мищенко, А.И. Применение водорода на автомобильных двигателях / А.И. Мищенко. – Киев: Наук. думка, 1984. – 143 с.
4. П.В. Дружинин, В.А. Мельников, ВИТУ, Санкт-Петербург, С.Н. Журавлев, ЦОПУ КС МО РФ, Москва, А.А. Дегтярев, 104 УНР, Санкт-Петербург.
5. Мир легковых автомобилей // «Auto Katalog»: модели 1998 года. – Изд-во «Ферайнигте Мотор-Ферлаге» (Герман.) совм. «За рулем». – М., 1997. – 323 с.



УДК 628.32

ББК 65.247

## **Методика проектирования вибропневмофлотатора**

Шаповал О.А.

*Московский государственный технический университет*

*им. Н.Э. Баумана (Россия, г. Москва)*

### ***Введение***

В связи с ростом промышленности в наше время остро стоят вопросы переработки отходов, как твердых, так и жидких, особенно в области очистки сточных вод. Одной из основных проблем является загрязнение нефтепродуктами, которые попадают в сточные воды нефтеперерабатывающих предприятий и сферы транспорта.

В результате сброса неочищенных сточных вод изменяются физические свойства воды; на поверхности водоема появляются плавающие вещества, а на дне образуется осадок; изменяется химический состав воды; изменяется качественный и количественный бактериальный состав.

Поэтому требования к очищенной воде представляются достаточно строгие, но на практике в большинстве случаев не удается достигнуть нормативного качества очищенных сточных вод. В этой связи важнейшее значение имеет разработка новых способов и устройств для очистки производственных сточных вод. Широкое распространение в очистке нефтесодержащих сточных вод получила флотационная техника. Однако ее применение не всегда оказывается эффективным.

В настоящее время применяются различные методы интенсификации: химические, физические, конструкционные, и др. Среди физических методов интенсификации возможно повышение эффективности путем наложения вибрации. Имеется малое количество работ, посвященных данной работе [1, 2, 3]. Однако, из [5] становятся очевидными ряд преимуществ использования данного способа.

В данной работе представлена разработанная виброфлотомашина.

## Описание виброфлотомашины

Отличие флотомашины от импеллерной заключается в том, что диспергирование воздуха осуществляется в ней не вследствие вращения импеллера, а благодаря вертикальным возвратно-поступательным колебаниям вибрационного аэратора. Схема устройства представлена на рис. 1.

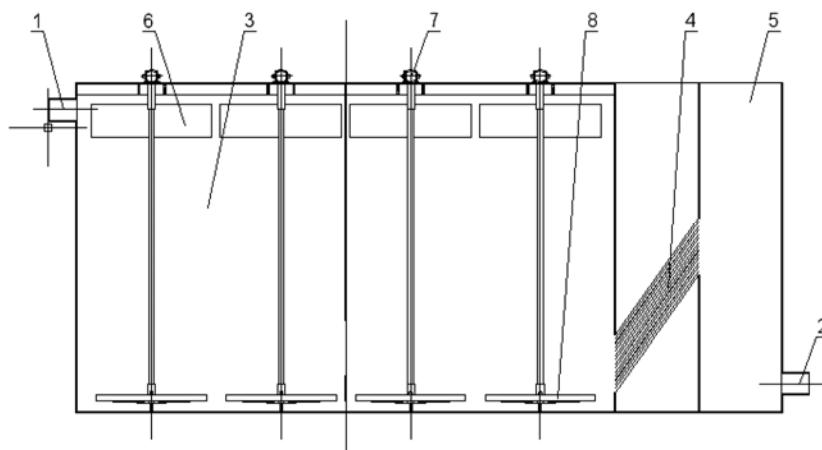


Рис. 1. Принципиальная схема виброфлотатора:

- 1 – патрубок ввода воды, 2 – патрубок вывода воды, 3 -камера очистки (2 шт.),  
4 – пластины тонкого осветления, 5 – камера очищенной воды,  
6 – отверстие вывода пены (4 шт.) 7 – двигатель (12 шт.),  
8 – аэратор со штоком (12 шт.)

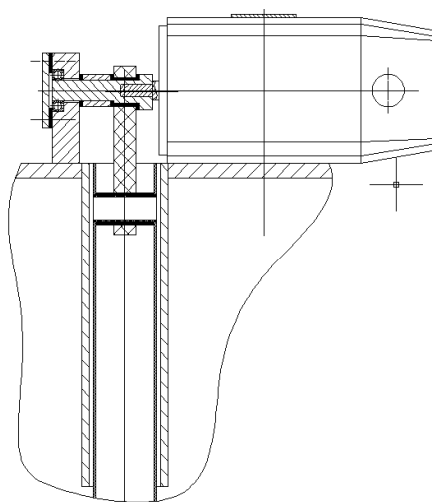


Рис. 2. Схема механизма виброгенерации

Флотомашина состоит из двух сообщающихся камер, каждая из которых оборудована шестью симметрично расположенными аэраторами, соединенны-

ми через эластичные шланги с системой подачи и распределения воздуха. Аэраторы посредством штанг крепятся к несущей балке. Вертикальные колебания сообщаются балке посредством шатунных механизмов, приводимых в движение электромоторами. Через аэраторы производится тонкое диспергирование воздуха.

Принципы интенсификации сводятся к повышению вероятности столкновения частицы и пузырька. Это достигается увеличением пути, пройденного пузырьком до всплытия, и созданием условий для высокоамплитудных колебаний пузырьков (до  $\pm 10$  мм). Поведение пузырьков воздуха при воздействии на них вибрации описано во многих научных работах.

Схема передачи вибровоздействия заключается в использовании поршня для передачи вибрации от вибростенда в водовоздушную смесь. Помимо этого, отмечается воздействие вибрации, приводящее к увеличению эффективности контакта частицы загрязнения и пузырька воздуха. В частности, это происходит в силу того, что с наложением вибровоздействия пузырьки воздуха начинают колебаться.

### ***Методы и материалы***

В данной работе для исследования эффективности очистки рассматривается вода, содержащая следующие примеси:

	Текущее значение загрязнений, мг/л	Нормативное значение загрязнений, мг/л
БПК	3	4
Железо	0,75	0,1
Кальций	120	180
Нефтепродукты	40	2,5
Сероводород	отсутствует	0,00001
СПАВ	0,1	0,1
Сульфиты	90	100
Фосфаты	0,055	0,05
Хлориды	180	300
ХПК	13	15

Исходная концентрация нефтепродуктов составляет 40 мг/л.

Определение содержания нефтепродуктов осуществлялось с помощью концентратомера КН-2м.

Метод измерения заключается в выделении эмульгированных и растворённых нефтяных компонентов из воды экстракцией четырёххлористым углеродом, хроматографическом отделении НП от сопутствующих органических соединений других классов на колонке, заполненной оксидом алюминия, и количественном их определении по интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра  $(2930 \pm 70) \text{ см}^{-1}$ .

### ***Методика расчета виброфлотомашины***

Алгоритм расчёта виброфлотомашины следующий:

1) Задаются исходные данные:

1. Исходная концентрация загрязнителя;
2. Требуемая степень очистки;
3. Производительность флотационного вибрационного аппарата

2) Решаются системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс виброфлотации для диспергирования и коалесценции [4, 5].

3) Определяется необходимое время флотации (сумма времени диспергирования и коалесценции) путём подстановки в решение исходных данных.

4) Определяется требуемый объем камер диспергирования и коалесценции:

$$V = Q\tau.$$

5) Задаётся скорость движения жидкости:  $u < 5 \text{ мм/с}$ .

6) Определяется площадь сечения аппарата:  $S = Q/u$ .

7) Задаётся высота аппарата  $H = 0,5..1 \text{ м}$ .

8) Определяются габариты аппарата:  $B = S/H, L = V/S$ .

9) Выбираются варианты подводы и отвода воды, а также способ удаления пены. С учетом требований технологичности разрабатывается конструкция аппарата.

Алгоритм расчета виброфлотомашины с диспергированием в корпусе аппарата заключается в следующем. Изначально задаются исходная концентрация загрязнителя, требуемая степень очистки и производительность виброфлотомашины.

Принимаются следующие начальные условия для решения:

$$C_A(t) + C_B(t) + C_C(t) + C_D(t) = C_0;$$

$$C_A(0) = C_0;$$

$$C_B(0) = 0;$$

$$C_C(0) = 0;$$

$$C_D(0) = 0.$$

Затем решаются системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс виброфлотации для диспергирования и коалесценции.

Значения констант рассчитываются по следующим формулам:

$$1. K_1 = K_3 = \frac{1,5qE}{k_0 D^{cp}} = \frac{1,5 * 0,00572 * 0,01}{1 * 0,05} = 1,72 * 10^{-3}$$

$q$  – скорость барботирования;

$$q = \frac{K}{f_k} = \frac{35}{1000 * 0,102 * 60} \approx 5,72 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ с}$$

$K$  – производительность компрессора ( $K = 35$  л/мин)

$f_k$  – площадь флотационной колонны ( $f_k = 0,102 \text{ м}^2$ )

$E$  – эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации ( $0,005 \leq E \leq 0,01$ , принимаем  $E = 0,01$ );

$D_{ef}^{cp}$  – средне-эффективный диаметр пузырьков во флотационной ячейке ( $D_{ef}^{cp} = 0,05$  мм).

$k_0$  – фактор полидисперсности пузырьков ( $1 \leq k_0 \leq 1,58$ , принимаем  $k_0 = 1$ ).

$$2. K_5 = K_7 = \frac{v_{pod}}{h1} = \frac{0,005}{1} = 0,005$$

$v_{pod}$  – скорость подъема флотокомплекса ( $v_{pod} = 0,005$  м/с);

$h$  – глубина флотокамеры ( $h = 1$  м).

$$3. K_9 = \frac{v_{of}}{h} = \frac{0,001}{1} = 0,001,$$

$v_{of}$  – скорость подъема объединенного флотокомплекса ( $v_{of} = 0,001$  м/с),

$h$  – высота флотокамеры ( $h = 1$  м).

Значения остальных констант равны нулю, так как в данных условиях при флотации стока нефтебазы не может происходить разрушение уже образовавшегося флотокомплекса, самостоятельное всплытие загрязнения в пенный слой и выпадение флотокомплекса из пенного слоя, то есть:

$$K_2 = K_4 = K_6 = K_8 = K_{10} = 0$$

Для данной установки было получено время флотации с диспергированием – 26 минут. Значение времени флотации определяется нахождением участка функции  $C_A(t)$  графического решения системы уравнений, на котором ее относительное стандартное отклонение не превышает 3% за промежуток времени ~5 мин.

Расчет стандартных пневматических флотомашин с аналогичной производительностью производится в соответствии с СНиП 2.04.03.85.

$$W = \frac{Qt}{60(1-\alpha)} = \frac{5 * 26}{60 * (1-0,2)} \cong 2,71 \text{ м}^3$$

где  $\alpha = 0,2$  – коэффициент аэрации.

После этого задается скорость движения жидкости в аппарате. Согласно требованиям нормативной документации данная скорость не должна превышать 1 мм/с. Затем определяется площадь сечения аппарата как отношение требуемой производительности и скорости движения жидкости.

$$S = \frac{Q}{u} = \frac{5 * 1000}{1 * 3600} = 1,39 \text{ м}^2$$

После этого задается высота аппарата ( $H = 1$  м) и, исходя из этого, определяются габариты аппарата.

$$B = \frac{S}{H} = \frac{1,39}{1} = 1,39 \text{ м};$$

$$L = \frac{W}{S} = \frac{2,71}{1,39} = 1,95 \text{ м}.$$

Определяем длину пластин блока тонкослойного осветления, состоящий из пластин 4 на рис. 1. Скорость подъема флотокомплексов рассчитывается по формуле:

$$\frac{V}{L} = \frac{u_0}{h} \quad u_0 = \frac{Vh}{L} = \frac{1 * 280}{1950} = 0,144 \text{ мм/с},$$

где  $V = 1$  мм/с – скорость движения воды во флотокамере;  $h = 270$  мм – верхняя граница щели;  $L = 1950$  мм – длина камеры.

Скорость движения воды в области щели:

$$V_1 * F_1 = V * F \rightarrow V_1 = \frac{V * F}{F_1} = \frac{1 * 1,39}{0,278} = 5,0 \text{ мм/с},$$

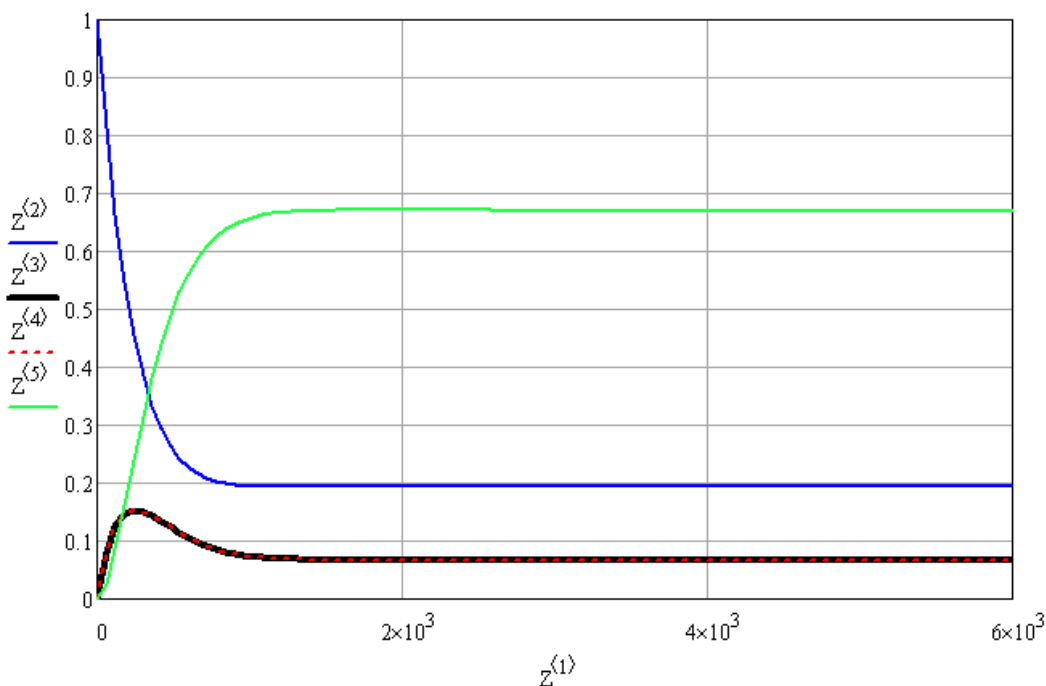
где  $F$  – площадь сечения флотокамеры ( $F = B * H = 1,39 * 1 = 1,39 \text{ м}^2$ );  $F_1$  – площадь «щели» ( $F_1 = B * h' = 1,39 * 0,2 = 0,278 \text{ м}^2$ ).

Назначаем расстояние между пластинами  $h_1 = 15$  мм.

Длина пластин:

$$\frac{h_1}{u_1} = \frac{l_1}{V_1} \rightarrow l_1 = \frac{h_1 * V_1}{u_0} = \frac{15 * 5,0}{0,144} = 520 \text{ мм}.$$

Затем выбираются варианты подвода и отвода воды, а также способ удаления пены, после чего разрабатывается конструкция аппарата.



### ***Выводы***

На основании данной методики была разработана флотационная установка с диспергированием в корпусе аппарата. Разработанная виброфлотомашина представляет собой готовый к выпуску серийный образец. Её эффективность достигает 66%, что превышает такой же показатель у аналогов. Окончательная концентрация нефтепродуктов составляет 13,6 мг/л, которая может быть снижена на последующих этапах технологического процесса. Данный флотационный аппарат отличает простота конструкции и невысокие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с аналогами.

### ***Список использованной литературы***

1. Глембоцкий, В.А. Интенсификация процессов обогащения руд с применением ультразвука / В.А. Глембоцкий, А.Е. Колмечанова. – М., 1973.
2. Механико-технологические особенности и некоторые вопросы теории вибрационной флотомашин института Механобр / Э.А. Аграновская, И.И. Блехман, Г.А. Денисов и др. // Разработка и внедрение схем и режимов обогащения руд цветных металлов: сборник науч. Тр. Механобр. – 1976. – Вып. 144. – С. 67-78.
3. Поведение пузырьков воздуха в жидкости при вибрации / С.С. Григорян, Ю.Л. Якимов, Э.З. Апштейн // Fluid dynamics transactions. – V. 2. – Warszawa, 1965.
4. Ксенофонов, Б.С. Очистка воды и почвы флотацией / Б.С. Ксенофонов. – М.: Новые технологии, 2004. – 224 с.
5. Иванов, М.В. Виброфлотационная очистка сточных вод как способ уменьшения экологического ущерба окружающей среде: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.В. Иванов. – М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.



# СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

---

---

УДК 339.543.662:604.6:63

ББК 67.412.2

## **Решения и технические регламенты таможенного союза ЕврАзЭс в регулировании оборота и импорта генетически модифицированной продукции**

Безбородов П.Н.

*Белгородский университет кооперации, экономики и права (Россия, г. Белгород)*

В связи с развитием внешнеэкономической деятельности многих стран мира, созданием зон свободной торговли и всемирных организаций, сфера деятельности которых затрагивает производство и распределение продовольствия, проблема качества и биологической безопасности пищи в рамках международной торговли в последние десятилетия приобрела глобальный масштаб. В качестве актуальной составляющей данной проблемы выступает законодательное регулирование оборота, импорта генетически модифицированной пищевой продукции на отечественный рынок в контексте членства России в Таможенном союзе ЕврАзЭс и в ВТО, защиты здоровья населения. В работе представлен обзорно-аналитический комментарий актуальных особенностей законодательного регулирования оборота и импорта генетически модифицированной пищевой продукции (ГМ-продукции) на территорию стран Таможенного союза ЕврАзЭс во взаимодействии с действующим российским законодательством.

*Таможенный союз в рамках Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭс)* представляет собой форму торгово-экономической интеграции России, Белоруссии и Казахстана, предусматривающую единую таможенную территорию, единый таможенный тариф и другие единые меры регулирования торговли товарами с третьими странами. В современном трехстороннем формате Таможенный союз (ТС) начал функционировать с 2010 г., с этого периода начала складываться единая нормативно-правовая база, регулирующая импорт пищевой продукции в ТС из других стран мира. В настоящее время ключевыми нормативно-правовыми документами, обеспечивающими регулирование им-

порта продовольствия в ТС в целом и ГМ-продукции в частности, изложены в девяти Решениях Комиссии Таможенного союза, принятых в 2010-2012 гг. и полностью вступающих в силу на территории ТС с 1 июля 2013 г.:

- Решение Комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 № 299 (ред. от 15.06.2012) «О применении санитарных мер в таможенном союзе» [1].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 18.06.2010 № 317 (ред. от 09.12.2011) «О применении ветеринарно-санитарных мер в таможенном союзе» (вместе с «Положением о Едином порядке осуществления ветеринарного контроля на таможенной границе таможенного союза и на таможенной территории таможенного союза», «Положением о едином порядке проведения совместных проверок объектов и отбора проб товаров (продукции), подлежащих ветеринарному контролю (надзору)», «Едиными ветеринарными (ветеринарно-санитарными) требованиями, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору)») (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.01.2012) [2].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 17.08.2010 № 341 «О вопросах применения санитарных мер в Таможенном союзе» (вместе с «Техническими условиями по формату и регламенту передачи данных из Национальных реестров свидетельств о государственной регистрации в Единый реестр свидетельств о государственной регистрации») [3].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 874 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности зерна» (вместе с «ТР ТС 015/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности зерна») [4].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (вместе с «ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции») [5].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 881 «О принятии технического регламента Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (вместе с «ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза. Пищевая продукция в части ее маркировки») [6].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 882 «О принятии технического регламента Таможенного союза «Технический регламент на соко-

вую продукцию из фруктов и овощей» (вместе с «ТР ТС 023/2011. Технический регламент Таможенного союза. Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей») [7].

- Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 883 «О принятии технического регламента Таможенного союза «Технический регламент на масложировую продукцию» (вместе с «ТР ТС 024/2011. Технический регламент Таможенного союза. Технический регламент на масложировую продукцию») [8].

- Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 15.06.2012 № 34 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания» (вместе с «ТР ТС 027/2012. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания») [9].

Не имея противоречий с действующим законодательством РФ и правовыми нормами ВТО, основные положения вышеописанного перечня Решений ТС, в отношении нормативно-правового регулирования импорта продовольствия с возможным содержанием ГМО, связаны со следующими сторонами регулирования:

- 1) **идентификация** продовольственного сырья и пищевой продукции на базе единой *Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности таможенного союза (ТН ВЭД ТС)* [1];

- 2) **санитарно-эпидемиологические, гигиенические, ветеринарно-санитарные требования** к продовольствию и кормам: понятие ГМ-продукции\*, требования к обороту ГМ-зерна, ГМ-соковой продукции из фруктов и овощей, ГМ-масложировой продукции, ГМ-кормов для сельского хозяйства [4, 7, 8]. Не допускается использование продовольственного пищевого сырья, содержащего ГМО и (или) компоненты, полученные из ГМО, для производства пищевой продукции для беременных и кормящих женщин, пищевой продукции диетического лечебного и диетического профилактического питания для детского питания [9]. «При производстве соковой продукции из фруктов и (или) овощей для детского питания не допускается использование фруктов и (или)

овощей, содержащих ГМО, концентрированного диффузионного сока, а также добавление компонентов и пищевых добавок, содержащих ГМО» [7].

3) **государственная регистрация** необходима согласно *Перечня товаров, подлежащих государственной регистрации* [Приложение], идентифицированных по ТН ВЭД ТС, «полученных с использованием генно-инженерно-модифицированных (трансгенных) организмов»... «и (или) являющиеся (согласно документам изготовителя (производителя)) специализированными пищевыми продуктами, биологически активными добавками к пище или сырьем для их производства, органическими продуктами, пищевыми добавками, комплексными пищевыми добавками, ароматизаторами», генетически модифицированными микроорганизмами, «впервые изготавливаемые на таможенной территории ТС, а также впервые ввозимые на таможенную территорию ТС» [1, 3].

4) **оформление документа единой формы**, подтверждающего безопасность продукции по ее соответствию санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям, что доказывается данными проведения лабораторных испытаний образцов продукции (для определения ГМО в Техническом регламенте таможенного союза (ТР ТС) от 9 декабря 2011 г. № 880 изложены нормативные документы – МУ 2.3.2.2306-07, МУК 4.2.2304-07, МУК 4.2.2305-07, содержащие правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения при исследовании продовольствия на возможное содержание в нем ГМО) [5]. *Положение о порядке оформления единой формы документа, подтверждающего безопасность продукции (товаров)*, в отношении соответствия санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям учитывает *декларацию производителя о наличии генно-инженерно-модифицированных (трансгенных) организмов, наноматериалов, гормонов, пестицидов в пищевых продуктах*. При оформлении данного документа сведения о наличии ГМО в продуктах указывается в графе «Наименование продукции» [1].

5) **маркировка** ГМ-продукции [4, 6, 7, 8].

**Общие требования Решений ТС ЕврАзЭС к маркировке пищевых продуктов в отношении возможного содержания в них ГМО.** Маркировка пищевых продуктов должна соответствовать национальному законодательству государств-членов ТС. Для отдельных видов пищевых продуктов (продукты детско-

го, диетического и специализированного питания, пробиотические продукты, пищевые добавки, биологически активные добавки к пище, пищевые продукты, содержащие компоненты, полученные с применением ГМО, указываются:

- область применения (для продуктов детского, диетического и специализированного питания, пищевых добавок, ароматизаторов, биологически активных добавок к пище);

- наименование ингредиентов, входящих в состав пищевого продукта, пищевые добавки, микробные культуры, закваски и вещества, используемые для обогащения пищевых продуктов; в БАД к пище и обогащенных продуктах для биологически активных компонентов указывают также проценты от суточной физиологической потребности, установленной национальным законодательством государств-членов ТС, если такая потребность установлена;

- рекомендации по использованию, применению, при необходимости, противопоказания к их использованию;

- для биологически активных добавок к пище обязательна информация: «Не является лекарством»;

- для пищевых продуктов, полученных с применением ГМО, в том числе не содержащих дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) и белок, обязательна информация: «генетически модифицированная продукция», или «продукция, полученная из генно-инженерно-модифицированных организмов» или «продукция содержит компоненты генно-инженерно-модифицированных организмов» [1]. В случае, если изготовитель при производстве пищевой продукции не использовал генно-модифицированные организмы, содержание в пищевой продукции 0,9% и менее ГМО является случайной или технически неустранимой примесью, и такая пищевая продукция не относится к пищевой продукции, содержащей ГМО. При маркировке такой пищевой продукции сведения о наличии ГМО не указывается [6];

- для пищевых продуктов, полученных из/или с использованием генно-инженерно-модифицированных микроорганизмов (бактерий, дрожжей и мицелиальных грибов, генетический материал которых изменен с использованием методов генной инженерии) (далее - ГММ), обязательна информация:

- для содержащих живые ГММ – «Продукт содержит живые генно-инженерно-модифицированные микроорганизмы»;

- для содержащих нежизнеспособные ГММ – «Продукт получен с использованием генно-инженерно-модифицированных микроорганизмов»;

- для освобожденных от технологических ГММ или для полученных с использованием компонентов, освобожденных от ГММ, – «Продукт содержит компоненты, полученные с использованием генно-инженерно-модифицированных микроорганизмов» [1];

- для освобожденных от технологических ГММ или для полученных с использованием компонентов, освобожденных от ГММ, – «Продукт содержит компоненты, полученные с использованием генно-модифицированных микроорганизмов».

В маркировке пищевой продукции сведения о наличии ГМО не указываются в отношении использованных технологических вспомогательных средств, изготовленных из или с использованием ГМО [6].

Для пищевой масложировой продукции, полученной с применением ГМО, в том числе не содержащей дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) и белок, должна быть приведена информация: «генетически модифицированная продукция» или «продукция, полученная из генно-модифицированных организмов», или «продукция содержит компоненты генно-модифицированных организмов». Для нефасованной пищевой масложировой продукции, полученной с применением ГМО, в том числе не содержащей дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) и белок, должна быть приведена информация: «генетически модифицированная продукция» или «продукция, полученная из генно-модифицированных организмов», или «продукция содержит компоненты генно-модифицированных организмов». В случае, если изготовитель при производстве пищевой масложировой продукции не использовал генно-модифицированные организмы, содержание в пищевой продукции 0,9% и менее ГМО является случайной или технически неустранимой примесью, и такая пищевая масложировая продукция не относится к пищевой продукции, содержащей ГМО. При маркировке такой пищевой масложировой продукции сведения о наличии ГМО не указываются\*. Для фасованной пищевой масложировой продукции информация о содержании ГМО указывается в соответствии с условиями договора поставки [8].

Зерно, перевозимое бестарным методом, должно сопровождаться товаросопроводительными документами, содержащими информацию о наличии в зерне

ГМО в случае если содержание указанных организмов в зерне составляет более 0,9%. Для зерна, полученного с применением ГМО, должна быть приведена информация: «генетически модифицированное зерно» или «зерно, полученное с использованием генно-модифицированных организмов» или «зерно содержит компоненты генно-модифицированных организмов», с указанием уникального идентификатора трансформационного события. Маркировка зерна, помещенного в потребительскую упаковку (зерно на кормовые цели), и зерна в транспортной таре должна так же содержать данную информацию [4].

Корма, произведенные без использования ГМО-компонентов, могут содержать незарегистрированных линий – 0,5% и менее и (или) зарегистрированных линий – 0,9% и менее каждого ГМО-компонента. Корма, произведенные с использованием ГМО-компонентов, могут содержать незарегистрированных линий – 0,5% и менее каждого ГМО-компонента [2].

Таким образом, в целях обеспечения биологической безопасности применения пищевых добавок и ароматизаторов в производстве пищевых продуктов и предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей, должно соблюдаться следующее требование: в нормативной и технической документации на пищевые добавки и ароматизаторы и пищевые продукты, их содержащие (стандарты, технические условия, регламенты, технологические инструкции, спецификации, рецептуры, сведения о составе) представляется информация об использовании в составе пищевых добавок и ароматизаторов генно-инженерно-модифицированных организмов и микроорганизмов [1].

\* – *Генно-модифицированные (генно-инженерные, трансгенные) организмы (ГМО)* – организм или несколько организмов, любое неклеточное, одноклеточное или многоклеточное образование, способные к воспроизводству или передаче наследственного генетического материала, отличные от природных организмов, полученные с применением методов генной инженерии и (или) содержащие генно-инженерный материал, в том числе гены, их фрагменты или комбинации генов [5]. Генно-модифицированные (трансгенные) организмы – организмы, полученные с использованием методов генной инженерии [4].

\* – *Модификация растительных масел и (или) жиров (за исключением генно-инженерной модификации)* – химическое или биохимическое, или физическое преобразование растительных масел и (или) жиров путем гидрогенизации, переэтерификации, фракционирования или их комбинаций.

## Приложение

*«Перечень товаров, подлежащих государственной регистрации, полученных с использованием генно-инженерно-модифицированных (трансгенных) организмов и (или) являющихся (согласно документам изготовителя (производителя)) специализированными пищевыми продуктами, биологически активными добавками к пище или сырьем для их производства, органическими продуктами, пищевыми добавками, комплексными пищевыми добавками, ароматизаторами, используемых для употребления в пищу или производства пищевых продуктов» [1].*

### **Группа 02 – Мясо и пищевые мясные субпродукты**

Мясо и пищевые мясные субпродукты, соленые, в рассоле, сушеные или копченые, пищевая мука тонкого и грубого помола из мяса или мясных субпродуктов;

### **Группа 03 – Рыба и ракообразные, моллюски и прочие водные беспозвоночные**

Рыба сушеная, соленая или в рассоле, рыба горячего или холодного копчения, рыбная мука тонкого и грубого помола и гранулы из рыбы, пригодные для употребления в пищу, ракообразные, в панцире или без панциря, сушеные, соленые или в рассоле, за исключением свежих, живых, охлажденных, мороженых, ракообразные в панцире, сваренные на пару или в кипящей воде, сушеные, соленые или в рассоле, кроме свежих, охлажденных, неохлажденных, мороженых, мука тонкого и грубого помола и гранулы из ракообразных, пригодные для употребления в пищу, мука тонкого и грубого помола и гранулы из ракообразных, пригодные для употребления в пищу, моллюски в раковине или без раковины, сушеные, соленые или в рассоле, за исключением свежих, живых, охлажденных, мороженых, водные беспозвоночные, отличные от ракообразных и моллюсков, сушеные, соленые или в рассоле, за исключением свежих, живых, охлажденных, мороженых;

### **Группа 04 – Молочная продукция; яйца птиц; мед натуральный; пищевые продукты животного происхождения, в другом месте не поименованные или не включенные**

Молоко и сливки, за исключением сырого и на корм, несгущенные и без добавления сахара или других подслащивающих веществ, молоко и сливки, сгущенные или с добавлением сахара или других подслащивающих веществ, молочная сыворотка, сгущенная или несгущенная, с добавлением или без добавления сахара или других подслащивающих веществ, продукты из натуральных компонентов молока, с добавлением или без добавления сахара или других подслащивающих веществ, в другом месте не поименованные или не включенные, сливочное масло и прочие жиры и масла, изготовленные из молока, молочные пасты, сыры и творог, яйца птиц в скорлупе, консервированные или вареные, пригодные к употреблению, яичные желтки, включая замороженные, пригодные для употребления в пищу, яйца птиц без скорлупы, сваренные на пару или в кипящей воде, формованные, замороженные



или консервированные другим способом, с добавлением или без добавления сахара или других подслащивающих веществ, пригодные для употребления в пищу, мед натуральный, пищевые продукты животного происхождения, пригодные к употреблению в пищу, в другом месте не поименованные;

#### **Группа 07 – Овощи и некоторые съедобные корнеплоды и клубнеплоды**

Овощи сушеные, целые, нарезанные кусками, ломтиками, измельченные или в виде порошка, но не подвергнутые дальнейшей обработке, овощи бобовые сушеные, лущеные, очищенные от семенной кожуры или неочищенные, колотые или неколотые, маниок, маранта, салеп, земляная груша, или топинамбур, сладкий картофель, или батат, и аналогичные корнеплоды и клубнеплоды с высоким содержанием крахмала или инулина, сушеные, целые или нарезанные ломтиками или в виде гранул, сердцевина саговой пальмы;

#### **Группа 08 – Съедобные фрукты и орехи; кожура цитрусовых плодов или корки дынь**

Орехи кокосовые, орехи бразильские и орехи кешью сушеные, очищенные от скорлупы или не очищенные, с кожурой или без кожуры, прочие орехи сушеные, очищенные от скорлупы или неочищенные, с кожурой или без кожуры, бананы, включая плантайны, сушеные, финики, инжир, ананасы, авокадо, гуайява, манго и мангостан, или гарциния сушеные, цитрусовые плоды сушеные, виноград сушеный, фрукты и орехи, подвергнутые тепловой обработке в кипящей воде или на пару, с добавлением или без добавления сахара или других подслащивающих веществ, фрукты и орехи, консервированные для кратковременного хранения (например, диоксидом серы, в рассоле, сернистой воде или в другом временно консервирующем растворе), но в таком виде непригодные для непосредственного употребления в пищу, фрукты сушеные, кроме плодов товарных позиций 0801-0806, смеси орехов или сушеных плодов данной группы, смеси орехов или сушеных плодов данной группы, кожура цитрусовых плодов или корки дынь (включая корки арбуза), сушеные или консервированные для кратковременного хранения в рассоле, сернистой воде или в другом временно консервирующем растворе;

#### **Группа 09 – Кофе, чай, мате, или парагвайский чай, и пряности**

Кофе, жареный или нежареный, с кофеином или без кофеина, комплексными заменители кофе, содержащие кофе в любой пропорции, чай со вкусом-ароматическими добавками или без них, мате, или парагвайский чай, перец рода *Piper*, плоды рода *Capsicum* или рода *Pimenta*, сушеные, дробленые или молотые, ваниль, корица и цветки коричневого дерева, гвоздика (целые плоды, цветки и цветоножки), мускатный орех, мацис и кардамон, семена аниса, бадьяна, фенхеля, кориандра, тмина, римского, или тмина волошского, или тмина, ягоды можжевельника, имбирь, шафран, турмерик (куркума), тимьян, или чабрец, лавровый лист, карри и прочие пряности;

**Группа 11 – Продукция мукомольно-крупяной промышленности; солод; крахмалы; инулин; пшеничная клейковина**

Мука пшеничная или пшенично-ржаная, фасованная для розничной торговли (используемые для употребления в пищу или производства пищевых продуктов), мука из зерна прочих злаков, кроме пшеничной или пшенично-ржаной (используемые для употребления в пищу или производства пищевых продуктов), мука тонкого и грубого помола, порошок, хлопья, гранулы картофельные (используемые для употребления в пищу или производства пищевых продуктов), мука тонкого и грубого помола и порошок из сушеных бобовых овощей товарной позиции 0713, из сердцевин саговой пальмы, из корнеплодов или клубнеплодов товарной позиции 0714 или продуктов группы 08 (используемые для употребления в пищу или производства пищевых продуктов), солод, поджаренный или неподжаренный, используемый для употребления в пищу или производства пищевых продуктов, инулин, используемый для употребления в пищу или производства пищевых продуктов;

**Группа 12 – Масличные семена и плоды; прочие семена, плоды и зерно; лекарственные растения и растения для технических целей; солома и фураж**

Мука тонкого и грубого помола из семян или плодов масличных культур, кроме семян горчицы;

**Группа 15 – Жиры и масла животного или растительного происхождения и продукты их расщепления; готовые пищевые жиры; воски животного или растительного происхождения**

Жир свиной (включая лярд) и жир домашней птицы, кроме жира товарной позиции 0209 или 1503, используемые для употребления в пищу или для производства пищевых продуктов, жир крупного рогатого скота, овец или коз, кроме жира товарной позиции 1503, используемый для употребления в пищу или для производства пищевых продуктов, лярд-стеарин, лярдойль, олеостеарин, олеоойль и животное масло, неэмульгированные или несмешанные, или не приготовленные каким-либо иным способом, используемые для употребления в пищу или для производства пищевых продуктов, жиры, масла и их фракции, из рыбы или морских млекопитающих, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, используемые для употребления в пищу или для производства пищевых продуктов, прочие животные жиры, масла и их фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, используемые для употребления в пищу или для производства пищевых продуктов, масло соевое и его фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, применяемое в пищевой промышленности, масло арахисовое и его фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, применяемое в пищевой промышленности, масло оливковое и его фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, применяемое в пищевой промышленности, прочие масла и их фракции, получаемые только

из маслин, или оливок, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, включая смеси этих масел или фракций с маслами или фракциями товарной позиции 1509, применяемое в пищевой промышленности, масло подсолнечное, сафлоровое или хлопковое и их фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, применяемое в пищевой промышленности, масло кокосовое (копровое), пальмо-ядровое или масло бабассу и их фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, применяемое в пищевой промышленности, масло рапсовое (из рапса, или кользы) или горчичное и их фракции, нерафинированные или рафинированные, но без изменения химического состава, применяемое в пищевой промышленности, жиры и масла животные или растительные и их фракции, полностью или частично гидрогенизированные, переэтерифицированные, реэтерифицированные или элаидинизированные, нерафинированные или рафинированные, но не подвергнутые дальнейшей обработке, применяемые в пищевой промышленности, маргарин, пригодные для употребления в пищу смеси или готовые продукты из животных или растительных жиров или масел или фракций различных жиров или масел данной группы, кроме пищевых жиров или масел или их фракций товарной позиции 1516, воски растительные (кроме триглицеридов), воск пчелиный, воски других насекомых и спермацет, окрашенные или неокрашенные, рафинированные или нерафинированные;

**Группа 16 – Готовые продукты из мяса, рыбы или ракообразных, моллюсков или прочих водных беспозвоночных**

Колбасы и аналогичные продукты из мяса, мясных, субпродуктов или крови, за исключением сырых, готовые пищевые продукты, изготовленные на их основе, за исключением сырых, готовые или консервированные продукты из мяса, мясных субпродуктов или крови прочие, за исключением сырых, экстракты и соки из мяса, рыбы или ракообразных, моллюсков или прочих водных беспозвоночных, икра осетровых и ее заменители, изготовленные из икринок рыбы, за исключением сырой, замороженной;

**Группа 17 – Сахар и кондитерские изделия из сахара**

Сахар тростниковый или свекловичный и химически чистая сахароза, в твердом состоянии, за исключением сахара-сырца, прочие сахара, включая химически чистые лактозу, мальтозу, глюкозу и фруктозу, в твердом состоянии, сиропы сахарные без добавления вкусоароматических или красящих веществ, искусственный мед, смешанный или не смешанный с натуральным медом, карамельный кулер, кондитерские изделия из сахара (включая белый шоколад), не содержащие какао, не являющиеся лекарственными препаратами;

**Группа 18 – Какао и продукты из него**

Какао-бобы, целые и дробленые, жареные, какао-паста, обезжиренная или необезжиренная, какао-масло, какао-жир, какао-порошок без добавок сахара или других подслащающих веществ;

### **Группа 19 – Готовые продукты из зерна злаков, муки, крахмала или молока; мучные кондитерские изделия**

Экстракт солодовый, готовые пищевые продукты из муки тонкого или грубого помола, крупы, крахмала или солодового экстракта, не содержащие какао или содержащие менее 40 мас.% какао в пересчете на полностью обезжиренную основу, другом месте не поименованные или не включенные, за исключением теста для заготовления хлебобулочных и мучных кондитерских изделий товарной позиции 1905, готовые пищевые продукты из сырья товарных позиций 0401-0404, не содержащие или содержащие менее 5 мас.% какао в пересчете на полностью обезжиренную основу, в другом месте не поименованные или не включенные, макаронные изделия, не подвергнутые тепловой обработке, с начинкой (из мяса или прочих продуктов) или без начинки, тапиока или ее заменители, приготовленные из крахмала, в форме хлопьев, гранул, зернышек, крупинок или в других аналогичных формах, готовые пищевые продукты, полученные путем вздувания или обжаривания зерна злаков или зерновых продуктов (например, кукурузные хлопья), злаки (кроме зерна кукурузы) в виде зерна или в виде хлопьев или зерна, обработанного иным способом (за исключением муки тонкого и грубого помола, крупы), предварительно отваренные или приготовленные иным способом, в другом месте не поименованные или не включенные, хлеб, мучные кондитерские изделия, пирожные, печенье и прочие хлебобулочные и мучные кондитерские изделия, содержащие или не содержащие какао, вафельные пластины, вафельные облатки для запечатывания, рисовая бумага и аналогичные продукты;

### **Группа 20 – Продукты переработки овощей, фруктов, орехов или прочих частей растений**

Овощи, фрукты, орехи и другие съедобные части растений, приготовленные или консервированные с добавлением уксуса или уксусной кислоты, грибы и трюфели, приготовленные или консервированные без добавления уксуса или уксусной кислоты, овощи прочие, приготовленные или консервированные, без добавления уксуса или уксусной кислоты, незамороженные, кроме продуктов товарной позиции 2006, овощи, фрукты, орехи, кожура плодов и другие части растений, консервированные с помощью сахара (пропитанные сахарным сиропом, глазированные или засахаренные, томаты, приготовленные или консервированные без добавления уксуса или уксусной кислоты, джемы, желе фруктовое, мармелад, пюре фруктовое или ореховое, паста фруктовая или ореховая, полученные путем тепловой обработки, в том числе с добавлением сахара или других подслащивающих веществ, соки фруктовые (включая виноградное сусло) и соки овощные, несброженные и не содержащие добавок спирта, с добавлением или без добавления сахара или других подслащивающих веществ;

### **Группа 21 – Разные пищевые продукты**

Экстракты, эссенции и концентраты кофе, чая или мате, или парагвайского чая, и готовые продукты на их основе или на основе кофе, чая или мате, или парагвайского чая, обжа-

ренный цикорий и прочие обжаренные заменители кофе и экстракты, эссенции и концентраты из них, продукты для приготовления соусов и готовые соусы, вкусовые добавки и приправы смешанные, горчичный порошок и готовая горчица, супы и бульоны готовые и заготовки для их приготовления, гомогенизированные составные готовые пищевые продукты, мороженое и прочие виды пищевого льда, не содержащие или содержащие какао, пищевые продукты, в другом месте не поименованные или не включенные.

В Перечне не приводятся ГМ-разновидности следующих продуктов (товаров), поэтому при регистрации они не рассматриваются в качестве возможных ГМ-продуктов: **Группа 22 – Алкогольные и безалкогольные напитки и уксус** – воды, включая природные или искусственные минеральные, газированные, без добавления сахара или других подслащивающих или вкусоароматических веществ, расфасованные в емкости, предназначенные для питьевых целей; воды, включая минеральные и газированные, содержащие добавки сахара или других подслащивающих или вкусо-ароматических веществ, и прочие безалкогольные напитки, за исключением фруктовых или овощных соков товарной позиции 2009, пиво солодовое, вина виноградные натуральные, включая крепленые; сусло виноградное, кроме указанного в товарной позиции 2009, вермуты и виноградные натуральные вина прочие с добавлением растительных или ароматических веществ; кроме того – **Группа 25** – поваренная соль, включая столовую и денатурированную [1].

УДК 616:304

ББК Р55

**Медико-социальное значение ревматоидного артрита:**

**актуальные проблемы**

Железинская Н.В.

*Российский научный центр рентгено-радиологии (Россия)*

Ревматоидный артрит (РА) – системное воспалительное заболевание с преимущественным поражением суставов, обычно полиартикулярное. Заболевание может дебютировать с постепенного нарастания активности воспаления или остро, может иметь неуклонно прогрессирующее течение или протекать с периодическими обострениями, следующими за улучшением. Хронический характер течения РА обуславливает нарушение функциональных способностей больного, что в тяжелых случаях может привести пациента к необходимости передвижения на коляске или даже к невозможности покинуть постель. Несмотря на успехи терапии, в целом прогноз РА остается серьезным. В первую очередь это касается функциональной недостаточности (ФН) больных и снижению (утрате) их трудоспособности. По заключению Т. Pincus и L.F. Callahan [1] через 10 лет от начала болезни инвалидизируется 60% пациентов. В Швеции, по данным Е. Fex и соавт. [2], через 8 лет от начала болезни не могли работать 37% больных. В Москве, по материалам О.М. Фоломеевой и соавт. [3], в 1999 г. Стойкая нетрудоспособность при РА наступала в среднем через 8 лет от начала болезни, средний возраст выхода на инвалидность составил 48,5 года. РА ассоциируется также с повышением летальности, чаще всего по причине сердечно-сосудистых заболеваний как следствия хронического воспаления, повышения риска развития лимфом, коррелирующим с тяжестью заболевания, а не с видом проводимой терапии, кроме того, осложнения терапии также могут влиять на продолжительность жизни больных. В настоящее время стало очевидным, что рано начатое лечение базисными противовоспалительными препаратами (БПВП) способно существенно улучшить функциональный и жизненный про-

гноз при РА. Однако проблема ранней диагностики РА до сих пор не решена, поскольку диагностические критерии РА не соответствуют цели как можно более ранней дифференциации раннего РА от других форм артритов [4]. Это приводит к задержке с назначением БПВП и ухудшает функциональный прогноз при РА.

Бремя заболевания измеряется, прежде всего степенью снижения здоровья заболевшего человека. Обычно используется измерение бремени заболевания по индексу “Disability Adjusted Life Years” (DALY’s), суммирующему измерению и заболеваемости, и смертности, предложенному Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) и Всемирным Банком (ВБ) [5]: один DALY может быть определен как 1 сохраненный год здоровой жизни. При РА влияние заболеваемости (болезни) более весомо, чем значимость смертности. Боль, функциональные нарушения, утомляемость и депрессия, свойственные РА, прочно ассоциированы со снижением качества жизни. РА вызывает около 0,8% снижения общего DALY и около 1% смертей от общего числа смертей в Европе. В странах с низким экономическим уровнем, как Эстония, Латвия, Польша, бремя заболевания несколько выше. Это подтверждает, что тяжесть болезни зависит и от социально-экономических условий. Но наиболее высок процент смерти из-за РА в Дании, Финляндии, Норвегии и Швеции, что может быть связано как с более высокой распространенностью РА в северных странах, так и с особенностями национальных критериев, используемых при определении причины смерти.

Бремя заболевания может быть определено и по оценке общественной полезности. Общественная полезность, или общее качество жизни, измеряется по шкале от 0 (смерть) до 1 (полное здоровье), используется при экономических исследованиях с подсчетом индекса QALY (Quality-Adjusted Life Years – год жизни с сохраненным ее качеством). Он может быть оценен при помощи статистического анализа (стандартный риск, время занятости по профессии), либо с применением методов оценки состояния здоровья по тестам EQ-5D, индекса полезности здоровья (health utility index – HUI) или с помощью опросника SF-36.

При РА увеличение QALY связано с улучшением качества жизни при успешном лечении. Хотя летальность несколько повышена при РА (стандартизированный коэффициент летальности варьирует от 1.16 до 3.08), но абсолютная разница выживания (та, что используется в индексе QALY) между больными РА и людьми в популяции мала.

Таким образом, летальность незначительно влияет на экономические затраты по индексу QALY в экономических моделях РА. Изучение качества жизни проводилось в различных популяциях и, хотя результаты в большой степени зависят от отбора больных (от возраста, тяжести болезни), были получены схожие результаты. Поскольку общественная полезность, или качество жизни, является инструментом не специфичным для какого-либо одного заболевания, то можно сравнить эти показатели при разных болезнях [8, 9].

Стоимость того или иного заболевания определить достаточно сложно. Важно проводить оценку в репрезентативных группах больных; учитывать социальную систему и систему здравоохранения; оценить тип ресурсов, включенных в анализ (все ресурсы или отдельные), оценить ресурсы (все возможные траты или только страховые); оценить уменьшение продуктивности труда индивидуума из-за болезни, учесть выплаты по пенсии или инвалидности.

РА является заболеванием с высокой стоимостью для системы здравоохранения, социальной системы и для самого больного. Медицинские вмешательства для лечения болезни до последнего времени были относительно не дороги, а хирургические операции проводились только у отдельных категорий больных с особо тяжелыми вариантами болезни. То есть, прямые расходы на болезнь до настоящего времени относительно малы, хотя расширение показаний к терапии генно-инженерными биологическими препаратами (ГИБП), активизация ревмохирургических вмешательств приводит к их заметному повышению. Наибольшую часть общей стоимости РА составляет стоимость, связанная с потерей работоспособности, так как многие больные оставляют работу в первые 3 года после начала болезни. Оценка стоимости РА приводится в литературе в достаточно большом количестве исследований. Стоимость болезни в экономических



исследованиях обычно разделяют на прямые и непрямые затраты. Прямые затраты включают в себя: стоимость лекарств, профилактические мероприятия, уход за больным, статистические и регистрационные работы (медицинские и не медицинские расходы). Непрямая стоимость складывается как результат потери продукта труда из-за снижения продуктивности человека или потери трудоспособности вследствие болезни, смерти. Обзор ряда исследований показал, что прямая стоимость РА составляла к 2000 г. около 6000 евро в год [10]. Недавнее исследование в Германии определило прямую стоимость РА у пациентов в возрасте до 65 лет в пределах 4700 евро, что составляет только 1/3 общих затрат на болезнь [11]. Одно из последних популяционных исследований, проведенных во Франции, установило, что прямая стоимость 1 больного РА составляет 12000 евро, т.е. соответствует примерно половине общей стоимости болезни. Эти различия связаны прежде всего с включением во французское исследование большого количества больных, получающих ингибиторы фактора некроза опухоли (ФНО) (25%, что даже выше общего процента применения анти-ФНО терапии среди больных РА во Франции – 15-20%), тогда как в исследование, проведенное в Германии, были включены только несколько больных, получавших ингибиторы ФНО. Этот факт интересен в 2-х аспектах: 1. показывает, насколько на структуру стоимости РА влияет использование современных активных, но дорогостоящих препаратов, в частности ГИБП; 2. иллюстрирует различный уровень использования биологических агентов в разных странах.

Очевидно, что подсчет средних затрат при РА зависит в большой степени от отбора пациентов для проведения исследования. Как и при других хронических болезнях, стоимость РА увеличивается с тяжестью болезни, особенно с нарастанием функционального класса (ФК) больного. Отмечена связь стоимости РА с его активностью, хотя считается, что различия затрат при разной степени активности обычно незначительны. Однако в исследовании J.L. Hulsemann и соавт [12] было показано, что прямые затраты возрастают с 600 евро в год на 1 пациента при низкой активности до 1200 евро в год на 1 пациента при высокой активности РА. Следует отметить, что ухудшение функции суставов при-

носит обществу наибольшие финансовые потери, поскольку прямые и непрямые расходы на заболевание пропорциональны нарастанию ФН.

Показано, что общие затраты возрастают с ~5000 евро на пациента с минимальной ФН ( $HAQ \leq 0,5$ ) до ~20000 евро на пациента с тяжелой ФН ( $HAQ > 2$ ) [13]. Снижение трудоспособности больного – очень важная часть стоимости РА. Активное воспаление приводит к нарастанию случаев отказа от трудовой деятельности [6], наибольшие затраты связаны с ранним выходом на пенсию вследствие болезни (в том числе и на инвалидность). Частота ранней инвалидизации варьирует в разные годы и в разных странах, но, по данным большинства исследований, она составляет 30-50%. Недавнее Германское исследование, включившее больных в возрасте между 30 и 65 годами, показало, что непрямые затраты составляют более 68% от общей стоимости РА [11]. В целом в странах Западной Европы через 10 лет болезни более 50% больных вынуждены оставить работу и получать пенсию по инвалидности. Во Франции среди больных РА моложе 60 лет (официальный пенсионный возраст) работали только около 15% с выраженной ФН ( $HAQ > 2$ ), а в общей популяции среди лиц в возрасте между 50 и 60 годами работают 55-60% [7]. Прямые затраты на РА в разные годы, оцениваемые в соответствии с арсеналом используемых лекарственных средств, варьировали даже в одной стране. По данным обзора Н. Rosery и соавт. [14], приведших цены в различных исследованиях к уровню стоимости лекарств в 2006 г., в 80-е годы и в начале 90-х годов прямые затраты варьировали, по данным различных авторов, от 683 \$ до 2532\$ на 1 больного в год. Внедрение в клиническую практику ГИБП значительно увеличило прямые затраты при РА. При попытке сравнить затраты на РА в разных странах была создана модель затрат. Сведения об уровне цен, стоимости проживания, заработной плате и популяционная статистика были получены из данных OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) Health Database, Eurostat и ВБ [22]. Оценка стоимости затрат на 1 пациента была адаптирована к ценам 2006 г. с использованием национальных индексов цен и переведена в евро. Эти данные условно позволяют сравнить прямые и непрямые затраты на лечение больных РА в разных странах. В связи с тем, что среди этих данных использовано толь-

ко одно исследование из Великобритании, которое было проведено после внедрения в практику одного из ингибиторов ФНО (этанерцепта), увеличение стоимости лекарств в самые ранние сроки внедрения новых препаратов (ГИБП) незначительно влияло на полученные результаты. Заметны различия между странами западной и восточной Европы в расходах на лекарства для больных РА (соответственно 2113 и 868 евро на 1 больного в год), в стоимости медицинских затрат без учета стоимости лекарств (соответственно 3483 и 1235 евро на 1 больного в год), а также по всем остальным показателям. По данным статистики минимальные затраты на лекарства зарегистрированы в РФ. При этом не прямые затраты, связанные с РА, в РФ сопоставимы с данными, полученными по некоторым другим странам (например Испании, Португалии и др.), примерно в 2 раза выше, чем в среднем по странам восточной Европы, но в 2 раза ниже, чем в среднем по странам западной Европы.

Конечно же высокая стоимость ГИБП будет все в большей степени влиять на прямые затраты при РА: для сравнения стоимость метотрексата составляет около 420 евро в год на 1 больного, лефлуномида – 1440, циклоспорина А 3000-4000, сульфасалазина 650, а инфликсимаба – 10000-18000, ритуксимаба 7000-10000, адалимумаба 10000-15000 евро в год на 1 больного. При назначении биологических агентов всем больным, не отвечающим на лечение БПВП, с надежным подавлением активности и прогрессирования болезни должны уменьшиться не прямые затраты за счет сохранения продуктивной работоспособности болеющих РА. Учитывая моральные аспекты возможности сохранения качества жизни больного РА на уровне, близком или аналогичном таковому в популяции, высокая цена ГИБП условно «уменьшается», так как бремя для государства в виде выплат по инвалидности, необходимости оплачивать госпитализации при обострениях болезни, для хирургического лечения и лечения осложнений РА, а также ущерб в виде снижения продукта труда должны существенно снизиться.

Кроме затрат на лекарства, в стоимость РА входит стоимость неофициального ухода за больными, что следует оценивать с осторожностью, так как эти

данные базируются на ограниченном количестве исследований. Понятие «неофициальный уход» включает в себя неоплаченный труд родственников по уходу, что нелегко поддается учету количественно и по стоимости. Традиции разных стран сложно учитывать: например, в так называемых странах средиземноморья небольшая часть женщин работает, и их помощь на дому становится более доступной, а неофициальный уход используется чаще. Кроме того, неофициальный уход значительно зависит от сервиса, предлагаемого системой здравоохранения или социальной системой. Это видно на примере Швеции, где очень мала доля неофициального ухода не только при РА, но и при других заболеваниях, что является прямым следствием работы развитой системы здравоохранения и социального обеспечения с персональной помощью людям с ограниченными возможностями.

Интересны данные, полученные G.C. Chermont и соавт. при подсчете затрат на 1 больного РА в год [16], среди 100 амбулаторных больных РА (33 пациента были работающие), наблюдавшихся в отделении ревматологии Федерального Университета в Сан Пауло (Бразилия) в период между ноябрем 2001 года и июлем 2003 года. Было подсчитано количество различных мероприятий, связанных с РА: назначаемые лекарственные средства, медицинские процедуры, визиты к врачу, диагностические тесты и пр. Чаще всего использовались следующие медикаменты: 88% назначений приходилось на метотрексат, 67% – на глюкокортикоиды (ГК), 47% на антималярийные препараты, 27% на нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП), 15% – на сульфасалазин, 16% на фолиевую кислоту, 2% на азатиоприн, 1% на лефлуномид.

При вычислении расходов по ценам 2002 г. в долларах США оказалось, что среди медицинских затрат в этой когорте больных наибольшая часть приходилась на медикаменты (58,8%); хирургическое лечение, связанное с РА, понадобилось всего 2 больным, и 2 пациента были госпитализированы по поводу сопутствующих заболеваний. В среднем 1 больной посещал ревматолога 4 раза в год, во время каждого визита проводилось примерно 5 лабораторных тестов. Прямые затраты с учетом сопутствующих расходов (транспорт, оплата помо-

щи) в среднем на 1 амбулаторного больного составили 403,0\$ США в год, что не представляется слишком высокой ценой. В целом, средние годовые затраты на 1 одного больного РА составляют в Европе около 13500 евро, из которых стоимость лекарств и медицинских мероприятий занимает примерно 1/3. Наибольшие затраты касаются не собственно сектора здравоохранения: снижение производимого продукта составляет около 32%, неофициальный уход до 19% и немедицинские затраты до 14%. Эти данные можно экстраполировать для оценки годовой стоимости больного РА в разных странах, используя особенности формирования цен и популяционные данные. Имеются сведения о том, что во всех странах в целом насчитывается 6,7 млн. больных РА, из которых около 3 млн. проживают в Европе [15]. Общая стоимость РА в странах западной и восточной Европы на 2006 год составляет от 42 млрд. до 3,4 млрд. евро в год, соответственно. Стоимость РА в год в различных странах с учетом количества больных приведена в табл. 4. Несмотря на очевидный рост цен на лекарства в последние годы, стоимость сектора здравоохранения остается практически неизменной, т.к. только небольшая часть больных лечится новыми особо дорогостоящими препаратами. Это подтверждает эпидемиологическое исследование, проведенное в США. В исследование были включены все взрослые (>17 лет) средне-западной и южной части США в период с 01.01.2001 по 31.12.2004. Распространенность РА в США составила 0,91%, соотношение м/ж=1/2,3. За 1 год общие медицинские затраты на 1 больного составили 7254\$: из них прямо связанные с РА затраты – 463\$. Около 18,5% затрат составила стоимость медикаментов. При этом 36,7% больных лечились НПВП, 17,7% – БПВП и только 3% получали ГИБП [21]. Подобная ситуация наблюдается и в странах Европы: 90% больных получают классические БПВП, а 90% стоимости составляет лечение биологическими агентами.

L. Van der Putte и соавт. [19] подсчитали общие затраты (прямые и непрямые) на 1-го больного РА в год при ретроспективном анализе расходов на 325 больных РА в 5 странах, у которых ранее были неэффективны 3-4 БПВП, до начала исследования 3-й фазы по оценке безопасности и эффективности адали-

мумаба. Средний возраст больных в этом исследовании составил 52,9 года, средняя длительность болезни 11 лет. Годовые затраты на 1-го больного РА оказались самыми большими в Великобритании (9277 US\$), несколько меньше во Франции (9275 US\$), Германии (7448 US\$), Канаде (6347 US\$) и самыми низкими – в Австралии (5174 US\$). При сравнении затрат на РА с величиной ВВП по данным Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), видно, что в США затраты на лечение РА в 5,66 раз больше, чем общие затраты на здравоохранение в пересчете на 1 жителя (т.е с учетом и здоровых лиц). В других странах это соотношение варьирует: в 4,15-1,91 раз.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о том, что стоимость лечения и обследования больного составляют для государства около 1/3 затрат, связанных с РА. Наибольшее общественное бремя составляют затраты, определяемые снижением качества жизни больных, в связи с выходом их из социальной сферы, прекращением их вклада в созидание общего национального продукта, снижением трудовой активности родственников для обеспечения ухода за больным. Даже в условиях внедрения в клиническую практику новых супердорогих биологических агентов, активное и настойчивое лечение больных РА не только экономит для государства значительные средства, но и улучшает качество жизни, длительно сохраняя их функциональную и социальную активность.

#### *Список использованной литературы*

1. Pincus T., Callahan L.F. Reassessment of twelve traditional paradigms concerning the diagnosis, prevalence, morbidity and mortality of rheumatoid arthritis // Scand. J. Rheumatol. – 1989. – suppl. 79. – P. 67-95.
2. Fex E., Larsen B.M., Nived K., Eberhardt K. Effect of rheumatoid arthritis on work status and leisure time activities in patients followed 8 years from onset // J. Rheumatol. – 1998. – Vol. 25, № 1. – P. 44-50.
3. Фоломеева О.М., Лобарева Л.С., Ушакова М.А. Инвалидность обусловленная ревматическими заболеваниями, среди жителей Российской Федерации // Ревматология. – 2001. – № 1. – С. 15-21.

4. Machold K.P., Stamm T.A., Eberl G.J.M., Nell V.K.P., Dunky A., Uffmann M. Very recent onset arthritis – clinical, laboratory and radiological findings during the first year of disease // *J. Rheum.* – 2002. – №29. – P. 2278-2287.
5. WHO Death and DALY estimates for 2002 by cause for WHO Member States. <http://www.who.int/healthinfo/statistics/bodgbdeathdalyestimates.xls>.
6. Kobelt G., Lindgren P., Lindroth Y., Jacobson L., Eberhardt K. Modeling the effect of function and disease activity on costs and quality of life in rheumatoid arthritis // *Rheum. (Oxford)*. – 2005. – № 44. – P. 1169-1175.
7. Kobelt G., Richard B., Peeters J.R., Sany J. Costs and quality of life of patients with RA in France // *Bone, Joint, Spine.* – 2008. – Vol. 75, № 7. – P. 342-254.
8. Currie C.J., McEwan P., Peeters J.R., et al. The routine collation of health outcomes data from hospital-treated subject in the Health Outcomes Data Repository (HODaR): descriptive analysis from the first 20000 subjects // *Value Health.* – 2005. – № 8. – P. 581-590.
9. Orme M., Kerrigan J., Tyas D., et. al. The effect of disease, functional status and replaces on the utility of people with multiple sclerosis in the UK // *Value Health.* – 2007. – № 10. – P. 54-60.
10. Cooper N.J. Economic burden of rheumatoid arthritis: a systematic review // *Rheumatology.* – 2000. – № 39. – P. 28-33.
11. Husher D., Merkesdal S., Thiele K. et al. Cost of illness in rheumatoid arthritis, ankylosing spondylitis, psoriatic arthritis and systemic lupus erythematosus in Germany // *Ann. Rheum. Dis.* – 2006. – № 65. – P. 1175-1183.
12. Hulsemann J.L., Ruof J., Zeidler H. Mittendorf T. Costs in rheumatology: results and lesson learned from the “Hannover Costing Study // *Rheumat. Int.* – 2006. – № 26. – P. 704-711.
13. Lajas C., Abasolo L., Bellajdel B. et.al. Costs and predictors of costs in rheumatoid arthritis: a prevalence-based study // *Arthr. Rheum.* – 2003. – № 49. – P. 64-70.
14. Rosery H., Bergemann R., Maxion-Bergemann S. International variation in resource utilisation and treatment costs for rheumatoid arthritis: a systematic literature review // *Pharmacoecon.* – 2005. – № 23. – P. 243-257.

15. Lundkvist J., Kastang F., Kobelt G. The burden of rheumatoid arthritis and access to treatment: health burden and costs // *Eur. J. Health Econ.* – 2008. – Vol. 8 (suppl. 2). – S. 49-S60.
16. Chtrmont G.C., Kowalski S.C., Ciconelli R.M., Ferraz M.B. Resource utilization and the cost of rheumatoid arthritis in Brazil // *Clin. Exp. Rheum.* – 2008. – Vol. 26, № 1. – P. 24-31.
17. OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) Health Data 2005 [online]. [cited 2005 Jun 06] [http://www.oecd.org/document/16/0.2340.en\\_2825\\_495642\\_2085200\\_1\\_1\\_1\\_1.00.html](http://www.oecd.org/document/16/0,2340,en_2825_495642_2085200_1_1_1_1_1.00.html).
18. Meenan R.F., Yellin E.H., Henke C.J. et al. “The costs of rheumatoid arthritis. A patient oriented study of chronic disease costs” // *Arthr. Rheum.* – 1978. – № 21. – P. 827-833.
19. Van der Putte L., Bergemann R., et al. Variation in resource utilization and treatment costs for rheumatoid arthritis (RA) across 5 countries in an adalimumab (D2E7) clinical trial.” In: International Society for Pharmacoeconomics and Outcome Research (ISPOR) // Fifth Annual European Congress, 2002, 3-5 Nov., The Netherlands.
20. Pan American Health Organization (PAHO). <http://www.paho.org/Spanish/SHA/coredata/tabulator/newTabulator.htm>.
21. Han C., Zhao N., Gaslightwala A., Bala M. An epidemiological and Health-care utilization study of rheumatoid arthritis in the U.S. population” // *Arthr. Rheum.* – 2006. – Vol. 54, 9 (suppl.). – S. 50 (Abstr. Suppl. 2006 Annual Scientific Meeting, Nov. 10-15, Washington).



УДК 597.0/.5+615.9

ББК 20.1/52.84

**Перспективы оценки токсического эффекта комплексного применения  
фармпрепаратов методом фитотестирования**

Зейферт Д.В.<sup>1</sup>, Овсянникова И.В.<sup>2</sup>, Бибакова О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Уфимский государственный нефтяной технический университет  
(Республика Башкортостан, г. Стерлитамак)*

<sup>2</sup>*Институт прикладных исследований республики Башкортостан  
(Республика Башкортостан, г. Стерлитамак)*

***Введение***

В современной медицине используется огромное число различных лекарственных средств, попадание которых в окружающую среду оказывает на нее достоверное воздействие [1, 2]. Кроме того негативный фармацевтический эффект может оказываться непосредственно на человека. Врачи часто назначают пациентам параллельно несколько препаратов. Одновременный прием различных лекарственных средств пациентом называется полипрагмазией. Естественно, результаты полипрагмазии могут принести больному благо, но подчас способны и навредить из-за возможности неблагоприятного взаимодействия используемых лекарств. Под взаимодействием понимают качественное и/или количественное изменение эффекта одного лекарственного средства под влиянием другого. Одновременный прием препаратов приводит к лекарственным взаимодействиям у 6% больных, 5 увеличивает их частоту до 50%, при приеме 10 препаратов риск лекарственных взаимодействий достигает 100% [3]. В контексте этой проблемы необходимо учитывать и возможные реакции препаратов с пищей, алкоголем и др. Лекарства становятся обоюдоострым оружием. Если раньше все лекарства представлялись элементарными веществами животного или растительного происхождения, то сейчас – вещества с мощной биологической активностью. А разница между эффективной и токсической дозой бывает незначительна [4]. В США были проведены исследования, которые показали печальные результаты. Около 90% всех выписанных лекарств в этой стране,

применялось безосновательно. Что касается антибиотиков, это вообще отдельный разговор, то на них сидит большая часть населения. Но это касается не только Америки. Практически во всех экономически развитых странах прогрессирует такая ситуация. Общее положение осложняется еще и тем, что современные лекарственные препараты отпускаются безрецептурно [5]. Оценка воздействия сложившейся практики полифармакотерапии различных заболеваний и патологических состояний, а также многообразии лекарственных средств на современном фармацевтическом рынке, делают проблему анализа лекарственных взаимодействий чрезвычайно сложной для решения. Тяжелые последствия данных взаимодействий изучены в достаточно значительной степени, в то время как хронические токсические эффекты подобных взаимодействий обсуждаются лишь в теоретическом плане [6-9]. Следовательно, данные исследования и результаты их проведения необходимы и являются крайне полезными для всего человечества.

Методы био- и фитотестирования являются наиболее приемлемыми для решения данной задачи, в силу их дешевизны, достаточно высокой точности результатов и малых сроков выполнения. Однако эти результаты необходимо экстраполировать на человека, поэтому они должны дополняться медицинскими методами исследованиями.

### ***Материал и методика***

Было выбрано три широко распространенных заболевания, для лечения которых применялось одновременное потребление нескольких лекарств (табл. 1). Выбор каждой из комбинаций обусловлен большой частотой их прописывания медицинскими работниками, а также распространенностью заболеваний, для лечения которых они принимаются.

Для определения токсичности изучаемых лекарственных препаратов в данном дипломном проекте была применена «Методика определения токсичности питьевых, грунтовых поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести семян, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата (*Lepidium sativum*)», которая в настоящее время проходит метрологическую аттестацию.

## Наименование лекарственных средств, выбранных для изучения

Наименование заболевания	Изучаемые лекарственные средства
Сахарный диабет II типа	Глюкофаж Манинил Пентоксифиллин
Ишемическая болезнь сердца	Эналаприл Коронал Кардиомагнил
Гипертоническая болезнь сердца	Лориста Бисопролол Лопирел

***Материал и методика***

В данной работе определена фитотоксичность 9 лекарственных препаратов. Исследование проводилось в период с января по март 2012 года.

Проведена оценка степени фитотоксичности на следующие параметры кресс-салата: уровень прорастания семян ( $VCH$ , в %), среднюю длину проростка ( $L$ , в мм), средний сухой вес проростка ( $W$ , в мг). Температура окружающего воздуха в лаборатории для всех опытов составляла 18 °С. Для исследования первого комплекса лекарств применялся кресс-салат сорта «Забава», для изучения остальных лекарственных препаратов использовался кресс-салат сорта «Пикант».

Исследования проводили по следующей методике: на фильтровальную бумагу, уложенную на дно чашки Петри, раскладывали по 30 семян кресс – салата. Фильтровальную бумагу увлажняли растворами лекарственных средств разной концентрации. Были проведены опыты при 1, 2, 4, 8, 16-кратном разбавлении водных растворов препаратов. Для приготовления раствора для 1-кратного разбавления лекарство измельчалось с помощью фарфоровой ступы с пестиком с последующим разбавлением в дистиллированной воде объемом 100 мл. Далее на основе этого раствора были приготовлены и растворы 2, 4, 8, 16-кратного разбавления. Контрольные пробы были выполнены с использованием отстоянной водопроводной воды. Для приготовления растворов разбавлялось количество лекарственных препаратов, соответствующее единоразовой дозе лекарств, рекомендуемой для приема пациенту медицинскими работниками, что представлено в табл. 2.

Единоразовые дозы лекарственных препаратов

Наименование ЛС	Единоразовая доза, табл.
Глюкофаж	1
Манинил	2
Пентоксифиллин	2
Эналаприл	2
Коронал	2
Кардиомагнил	1
Лориста	4
Бисопролол	1
Лопирел	1

Продолжительность первого этапа опытов составляла семь дней. После его завершения фиксировали процент проросших семян, длину проростков. Далее производили высушивание измеренных проростков, данный этап также длился на протяжении 7 дней, после чего измерили сухой вес высушенного кресс-салата на аналитических весах.

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных методов по программе «Statistica-5.0 for Windows». С помощью данной программы определили все необходимые величины и значения, а также строили графические зависимости. Оценку значимости различий среднеарифметических значений проводили с использованием  $t$  – критерия Стьюдента.

**Всхожесть.** Ни в одном из опытов не выявлено достоверного влияния разбавления на всхожесть кресс-салата. Однако, в соответствии с рис. 1, при многих сочетаниях лекарственных средств выявлена тенденция возрастания всхожести с разбавлением, что представлено в следующих вариантах:

- в первом опыте: Пентоксифиллин, Манинил+Пентоксифиллин, Глюкофаж+Пентоксифиллин, Глюкофаж+Манинил+Пентоксифиллин;
- во втором опыте: Кардиомагнил, Эналаприл+Кардиомагнил, Коронал+Кардиомагнил, Эналаприл+Коронал+Кардиомагнил;
- в третьем опыте: Лориста, Лопирел, Лориста+Бисопролол, Лориста+Лопирел, Бисопролол+Лопирел, Лориста+Бисопролол+Лопирел.

Пример возрастания всхожести с разбавлением приведен на рис. 1 (вариант Лориста+Бисопролол+Лопирел).

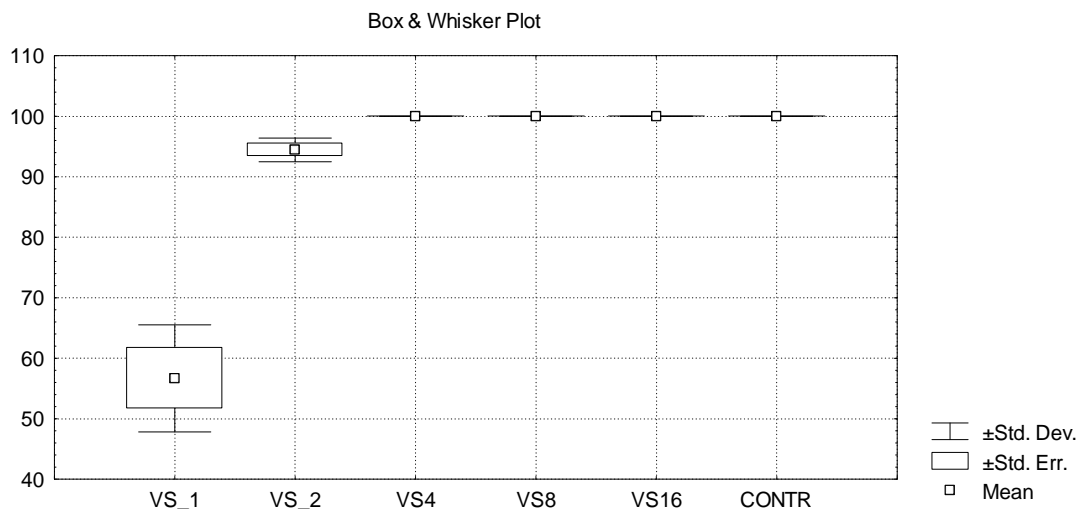


Рис. 1. Всхожесть семян кресс-салата в варианте Лориста+Бисопролол+Лопирел

**Сухой средний вес проростков.** Выявлена достоверная обратная зависимость между сухим средним весом проростков и уровнем разбавления в вариантах:

- в соответствии с рис. 2 в варианте Манинил+Пентоксифиллин;
- в варианте Эналаприл;
- в варианте Эналаприл+Кардиомагнил;



Рис. 2. Зависимость среднего сухого веса проростков кресс-салата от уровня разбавления в случае Манинил+Пентоксифиллин

**Средняя длина проростков.** В максимальной степени выражена зависимость между средней длиной проростков и кратностью разбавления (рис. 3).

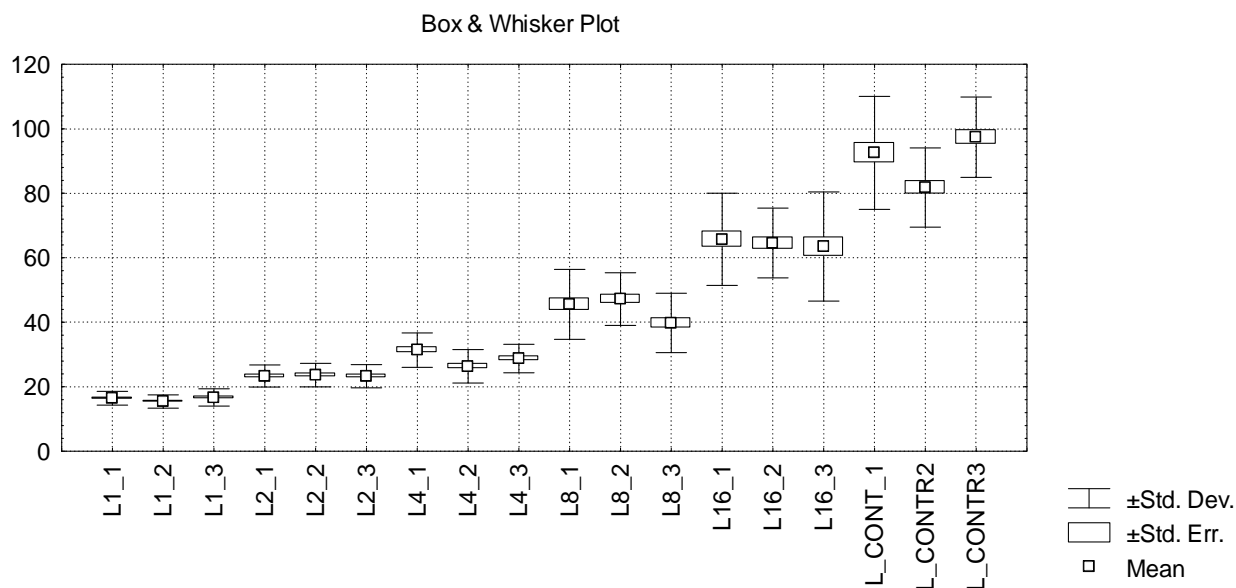


Рис. 3. Максимальная достоверная зависимость ( $r = 0,99$ ) между средней длиной проростков и разбавлением в случае Манинил+Пентоксифиллин

Уравнения, описывающие зависимость между средней длиной, средним весом проростков и степенью разбавления приведены в табл. 3.

Таблица 3

Уравнения, характеризующие зависимости между средней длиной проростков (L), средним весом проростков (DW) и кратностью разбавления (K)

Лекарственные препараты и их смеси	Длина		Сухой вес проростков	
	Корреляция (r)	Уравнение	Корреляция (r)	Уравнение
Опыт 1				
Глюкофаж	0,9*	$L=44,25+3,26K$	-0,15	$DW=1,82-0,0035K$
Манинил	-0,5	$L=110,09-1,78K$	0,17	$DW=1,62+0,00241K$
Пентоксифиллин	0,97*	$L=14,92+4,15K$	-0,16	$DW=1,82-0,005K$
Глюкофаж+ Манинил	0,83*	$L=45,97+2,58K$	0,27	$DW=1,74+0,0054K$
Манинил+ Пентоксифиллин	0,99*	$L=16,01+3,14K$	-0,64*	$DW=1,98-0,0252K$

Глюкофаж+ Пентоксифиллин	0,96*	L=21,98+3,23K	0,14	DW=1,88+0,00246K
Глюкофаж+ Манинил+ Пентоксифиллин	0,98*	L=17,57+3,38K	-0,01	DW=1,77-0,0003K
Опыт 2				
Эналаприл	0,36	L=82,02+0,73K	-0,61*	DW=1,35-0,0113K
Коронал	0,5	L=103,5+0,64K	-0,09	DW=1,23-0,0010K
Кардиомагнил 1-8	0,86* 0,89*	L=24,66+2,59K L=19,79+4,13K	0,17	DW=1,33+0,00170K
Эналаприл+ Коронал	0,13	L=99,55+0,17K	0,18	DW=1,31+0,00203K
Эналаприл+ Кардиомагнил (1-8) (1-4)	0,74* 0,96* 0,77*	L=25,3+2,76K L=10,53+7,43K L=18,11+3,75K	-0,64*	DW=1,45-0,0121K
Коронал+ Кардиомагнил	0,92*	L=26,58+2,74K	-0,28	DW=1,32-0,0027K
Эналаприл+ Коронал+ Кардиомагнил	0,88*	L=29,21+2,61K	-0,04	DW=1,26-0,0004K
Опыт 3				
Лориста (1-16) (1-8)	0,81* 0,95*	L=31,67+4,76K L=12,79+10,72K	0,07	DW=1,28+0,00053K
Бисопролол (1-16) (1-8) (1-4)	-0,54* -0,17 -0,61	L=112,13-0,73K L=111,16-0,42K L=117,78-3,64K	0,42 0,28 -0,6	DW=1,23+0,0055K DW=1,22+0,00757K DW=1,27-0,0239K
Лопирел (1-16) (1-8)	0,88* 0,96*	L=37,88+1,82K L=32,43+3,54K	-0,15	DW=1,3-0,0014K
Лориста+ Бисопролол (1-8) (1-4)	0,82* 0,91* 0,97*	L=30,01+4,46K L=14,35+9,41K L=-2,1+17,4K	0,05	DW=1,25+0,00081K
Лориста+ Лопирел (1-8) (1-4)	0,94* 0,94* 0,84*	L=30,95+2,55K Y=27,48+3,65K L=26,43+4,16K	-0,09	DW=1,32-0,0016K
Бисопролол+ Лопирел (1-8) (1-4)	0,69* 0,57 0,74*	L=40,58+1,90K L=37,36+2,92K L=26,10+8,38K	0,01	DW=1,28+0,00014K

Лориста+ (1-16)	0,72*	$L=38,12+2,33K$	-0,14	DW=1,33-0,0018K
Бисопролол+ (1-8)	0,93*	$Y=26,1+6,13K$		
Лопирел (1-4)	0,95*	$Y=20,19+9,00K$		

\* – зависимость достоверная при  $p < ,05$  (95% вероятность)

Все зависимости описываются уравнениями типа  $Y = a + bX$ .

Наиболее адекватным показателем токсичности фармпрепаратов является средняя длина проростков. Показано, что в исследованных сочетаниях лекарств токсичность не повышалась, т.е. данный характер приема лекарств является обоснованным. При других сочетаниях лекарств нами было зафиксировано достоверное возрастание токсичности [10]. Использованы сочетания лекарств, рекомендуемые участковыми врачами. В первом опыте использованы Глидиаб (1), Кардикет (2) и Омник (3) в следующих сочетаниях: 1, 2, 3, 12, 13, 23, 123.

При имитации синергического эффекта токсичности не выявлено. Во втором опыте использовали 5-Нок (1), Симвастатин (2) и Метформин (3) в аналогичных сочетаниях. При имитации совместного приема этих фармпрепаратов токсический эффект был менее выражен, чем при ином характере приема. В третьем опыте использовали Амоксицилин (1), Простамол Уно (2), ГлибOMET (3) в аналогичных сочетаниях. При имитации совместного приема этих фармпрепаратов наблюдается достоверный синергический токсический эффект. Не все случаи совместного приема лекарств сопровождаются достоверным возрастанием токсичности. Поэтому выявление подобных негативных эффектов позволит, во-первых, не рекомендовать их применение в выявленных сочетаниях, а, во вторых, зная количество случаев выписки лекарств в подобных сочетаниях, ориентировочно оценить хроническую токсичную нагрузку.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования фитотестирования для выявления возможного синергического эффекта при применении различных сочетаний фармпрепаратов. Методика выявления синергического токсического эффекта при совместном использовании фармпрепаратов достаточно проста и дешева (несколько сот рублей) и может найти повсеместное применение.



### *Список использованной литературы*

1. Зейферт Д.В., Шкребель А.А. Экологические последствия использования фармпрепаратов и средств личной гигиены // Радиоэкология. Новые технологии обеспечения экологической безопасности: сб. научных трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2012. – С. 203-208.
2. Seifert D.V., Varachnina V.B. The evaluation of the toxic effect on the environment of pharmaceutical products // Archives of Waste Management and Environmental Protection, 2012 (в печати).
3. Муравьев И.А. и др. Несовместимость лекарственных средств/ Козьмин В.Д., Кудрин А.Н. – М.: Медицина, 1998. – 240 с.
4. Вред лекарств /<http://www.newpharm.ru>.
5. Существует ли реальная опасность несовместимости лекарственных средств / <http://www.newpharm.ru>.
6. Handbook of drug Interaction. A. Mozayani, Raymon L. P. edited // Humana Press: Totawa, New Jersey, 2004. – 662 p.
7. Взаимодействие лекарств, 2012 //[www.rlsnet.ru](http://www.rlsnet.ru).
8. Drug-Drug Interactions. Rodrigues A.D. Ed. // Drugs and Pharmaceutical Scences. – 2002. – V. 16. – 650 p.
9. Drug-Drug Interactions. Li A.P. Ed. / Advances in Pharmacology. Academic Press: San Diego, London, Boston, N.-Y., Sydney, Tokyo, Toronto, 1997. – 304 p.
10. Seifert D.V., Gareeva E.F., Gabbasova D.T., Shkrebel A.A. Modelling of synergic toxic effect at combined drugs interactions // 12<sup>th</sup> World Congress on Environmental Health «New Technologies, Healthy Human Being and Environment», Vilnius, Lithuania, 22-27 May 2012. – p. 87.

## **Noise and vibration pollution on the natural resources**

Kakuwa Robson

*Tambov State Technical University (Russia, Tambov)*

*(Zambia, Lusaka)*

### **Introduction**

Pollution is the introduction of contaminants into the natural environment that causes adverse change. Pollution can take the form of chemical substances or energy, such as noise, heat or light. Pollutants, the component of pollution can be either foreign substances – energies- or naturally occurring contaminants. A pollutant is a substance or energy introduced into the environment that has undesired effects, or adversely affects the usefulness of a resource. A pollutant may cause long or short term damage by changing the growth rate of plant or animal species or by interfering with human amenities, comfort, and health or property values.

Three factors determine the severity of a pollutant: its chemical nature, the concentration and the persistence. Pollution is often classed as point source or non point source pollution. One of the pollutions that have forever accompanied the civilization is air pollution. Pollution started from the prehistoric times when man created the first fires. According to a 1983 article in the journal Science ‘soot found on ceilings of prehistoric caves provides ample evidence of the high levels of pollution that was associated with inadequate ventilation of open fires’. The forging of metals appears to be a key turning point in the creation of pollution of significant air pollution levels outside the home. Core samples of glaciers in Greenland indicates increase in pollution associated with Greek, Roman and Chinese metal production, but at that time the pollution was comparatively less and could be handled by nature. Pollution became a popular issue after World War II, due to the radioactive fallout from atomic warfare and testing. Then a non-nuclear event, the great smog of 1952 in London, killed at least 4000 people. This prompted some of first major modern

environmental legislation, the clean air act of 1956. Pollution began to draw major public attention in the United States between the mid-1950s and early 1970s, when congress passed the noise control act, the clean air act, the clean water act and the national environmental policy act.

There are a number of pollutions that can be mentioned. In this journal, we will just look at a few of them. Air pollution: – the release of chemicals and particulates into the atmospheres. Common gaseous pollutants include carbon monoxide, sulfur dioxide, chlorofluorocarbons –CFCs- and nitrogen oxides produced by industry and motor. Light pollution: includes light trespass, over-illumination and astronomical interference. Littering: the chemical throwing of inappropriate man-made objects. Noise pollution, soil contamination, thermal pollution and many more.

### **Noise and vibration pollution**

In this journal, I will concentrate more noise and vibration pollution though they are not the only forms of pollution. Pollution from noise and vibration are problems found in communities and developed areas in which transportation and industry are expanding exponentially. Noise is normally defined as an unwanted sound that makes it difficult for the ear to get the needed sound. Defining noise pollution is very challenging. Noise pollution is the kind of pollution that is caused by several different audio sources that is causing the feeling of irritation, disturbance, and distraction to our living environment and also produces harm to our mankind. When a surface or structure rapidly oscillates backwards or forwards, the motion is referred to as vibration. Vibration is a mechanical phenomenon whereby oscillations occur about an equilibrium point. The oscillations may be periodic such as the motion of a pendulum or random such as the movement of a tire on a gravel road.

More often, vibration is undesirable, wasting energy and creating unwanted sound. For example, the vibrating motions of engines, electric motors or any mechanical device in operation are typically unwanted. Such vibrations can be caused by imbalances in the rotating parts, uneven friction, the meshing of gear teeth, and many more. Careful designs usually minimize unwanted vibrations. The rate at which

the oscillation occurs is known as the frequency of the vibration and this is measured in cycles per second or hertz. Sound and vibration are closely related and sound can be considered as pressure waves or air vibrations which are audible.

The photo above shows area hive of traffic and its effect on the nearby residential areas.

The waves are generated by vibrating structures and these pressure waves can also induce the vibration of structures. Many activities have the potential to give rise to sound and vibration emissions. It is prudent to add to the fact that vibration and noise are baby sisters. Wherever there's vibration, noise also accompanies.

### **Causes of noise and vibration pollution**

Environmental noise pollution relates to ambient sound levels beyond human comfort level as caused from industry, traffic, construction and some recreational activities. The main sources of vibration are the use of industrial tools, machinery and equipment, and construction, pile driving, rail way, drilling and stone quarry and crushing, as well some certain activities in communities.

The picture above is showing an airplane as a source of both noise and vibration pollution. This negatively affects the resident of this particular area.

The next picture is showing men drilling. The machinery being used is not sound friendly. As shown above, the workers here do not even have ear protectors. In the picture above, noise and vibration are being produced badly as well.

In both pictures, we see the source of both noise and vibration pollution

Vibration source	Vibration speed, Hz
Quarry mines	>160
Railway transport	160-0.3
Industrial plants	5-0.05
Construction machinery	1.6-0.002
Auto mobile transport	0.07-0.005

The table shows some sources of vibration and their speed. For noise, the speed is even much greater.

### **Effects of noise and vibration pollutions**

In our day to day life, noise pollution is increasing rapidly and it has become one of the serious threats in a lot of areas. Noise pollution becomes a stress-full one to so many animals. It as well creates many problems in prey relation and detection. It leads to several different reproduction issues. Very serious noises can in fact deduce the usable habitats of some sound-sensible creatures and it results in the depletion of rare species. Noise pollution caused by man is able to put an end to lives of other sea creatures. Being more specific, the sea animals whose sence of hearing is very sharp like whales and dolphins.

Research shows that that so many whales and dolphins are dying just by reaching sea shore to observe the wrong signals.

Noise and vibration pollution effects are giving so many negative impacts on the health of the human himself. Exposure to too much noise will lead to aggression, hearing loss, stress, sleep disturbance and so much more psychological issues.

Exposure to the harmful noise can cause damages to our most important organs of our body, i.e., the ear. The hearing impairment happens because of noise pollution and it may be temporary or permanent. Whenever the sound level exceeds 70 dB mark, it becomes a noise to our ears. If the noise the noise level goes beyond 80 decibels, it may produce much harm to our ears. Noise pollution also affects our reading, understanding and learning abilities when we are exposed to it regularly. It might even lead to memory lose hence, leading to unproductivity in offices and the like. Our noisy environments are one of the main sources for heart issues. High level of sound gives a dramatic rise to the blood pressure as well as increasing the heart beat rate.

The effects of noise and vibration pollution are all the same. In addition to the above mentioned, vibration may cause cracks or subsidy of houses, buildings, and constructed structures, impact to people's health and is a nuisance to communities.

Vibrations caused by earthquakes are a calamity to the people and nature. It might cause relief imbalances and landslides hence, opening the door to soil erosion and washing away of top fertile soils.

### **Solutions to noise and vibration pollution**

Noise and vibrational pollutions need every attention that is being given to other pollutions. If these pollutions are not looked into, they can result in so many disastrous and catastrophic things. Hence, the need to curb the vices as soon as possible. Roadway noise can be reduced by the use of noise barriers, limitation of vehicle speeds, alternation of roadway surface texture, limitation of heavy vehicles, use of traffic controls that smooth vehicle flow to reduce braking and acceleration and tire design. An important factor in applying these strategies is a computer model for roadway noise that is capable of addressing local topography, meteorology, traffic operations, and hypothetical mitigation. Costs of building-in mitigation can be modest, provided these solutions are sought in the planning stage of a roadway project.

The sound tube in Melbourne, Australia designed to reduce roadway noise without distracting from the area's aesthetics.

Aircrafts can be reduced by using quieter jet engines. Altering flight paths and time the day runway has benefited residents near airports.

Industrial noise has been addressed since 1930s via redesign of industrial equipment, shock mounted assemblies and physical barriers in the workplace.

Ear muffs for human protection against noise pollution.

A six-of-freedom NSM isolator typically uses three isolators stacked in series: a tilt-motion isolator on top of a horizontal-motion isolator on top of a vertical-motion isolator. The figure below shows a schematic of a vibration system consisting of a weighted platform supported by a single six-DOF isolator incorporating the horizontal-motion and the vertical-motion isolators. Flexures are used in place of the hinged bars in the vertical-motion isolator. A tilt flexure serves as the tilt-motion isolator. A vertical-stiffness adjustment screw is used to adjust the compression force

on the negative-stiffness flexures thereby changing the vertical stiffness. A vertical load adjustment screw is used to adjust for varying weight loads by raising or lowering the base of the support spring to keep the flexures in their straight, unbent operating positions.

The equipment and the gears have joint with surrounding objects –the supporting joint-with the support; the un-supporting- the pipe duct or cable-. Vibration isolation of supporting joint is realized in the device named vibration-isolator-absorber-. On an illustration presented dependence of difference is levels of vibrations which are measured before installation of the functioning gear on vibration-isolator and after installation in wide range of frequencies.

Below is a picture of the soundsrapper that takes advantage of the city's noise pollution by capturing airborne sound into usable energy. One of the most abundant energy sources is ambient. Vibrations can provide plentiful energy, and can be transferred through many media, making this form of kinetic energy very useful. The soundscraper is located next to main transport infrastructures, mostly outside city centers where noise is at its maximum, areas of greatest efficiency to produce energy.

### **Conclusion**

Ecological problems of the contemporary towns are called upon by the increasing growth of cargo conveyances, industrial developmental works and daily activities of mankind. These problems will continue to be on an exponential rise if measures are not put in place quickly. It is very important to think through thoroughly before a decision is made. Vibration and noise pollution might seem to be amongst the least of the dangers that can affect man. But, anything that affects our lives is a danger and attention has to be drawn to such. This is the work of every living being to take it upon themselves to make sure that our environment is under our protection. We shouldn't let things go to chances. Whenever there is need to attend to something, may the undivided attention be given to each and every thing. A safe planet is better to live in. though man needs development in many sectors of his life, I still believe that there can be ways of minimizing these ecological problems. This can be achieved

easily and quickly if man will also be thinking about the natural resources. It all starts from the resources that we have and then spread down to every part of our lives. We have to remember that without the natural resources, it's impossible to have a good life. Let's us all live in harmony with the natural resources. Let them be our friends and everything will fall in place.

### **Information sources**

1. «Pollution». Greenhaven pressINC, 2000.
2. «Pollution». D. christiane, pub. F Watts, 2009.
3. «Pollution control in process industries». S.P. Mahajan, 2004.
4. «Noise pollution and control». S.P. Singal, 2000.
5. «Air pollution engineering manual». T.D. Wayne, 2011.



## **Система регенерации воздуха для герметичных обитаемых объектов**

Плотников М.Ю.\*

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

Основным способом защиты населения от чрезвычайных ситуаций, вызванных взрывами, пожарами, авариями и катастрофами на химически и радиационно-опасных объектах, является укрытие персонала предприятий и населенных городов в защитных сооружениях, способных работать в режиме герметизации. Для поддержания комфортного химического состава воздуха для дыхания человека используют системы регенерации воздуха.

Регенерация воздуха – восстановление нормального химического состава воздуха, изменившегося вследствие жизнедеятельности людей.

Регенерация воздуха в герметичных обитаемых объектах сложный физико-химический процесс, который можно разделить на несколько основных параллельных технологических процессов [1]:

- удаление получаемого в результате дыхания человека диоксида углерода;
- поддержание концентрации кислорода на комфортном для дыхания человека уровне;

Удаление диоксида углерода из воздуха осуществляют:

- с использованием расходуемых химических и регенерируемых поглотителей;
- электрохимическими методами;
- методом криогенного вымораживания.

Поддержание концентрации кислорода осуществляют:

- с использованием сжатого кислорода из баллонов;
- с помощью химически связанного кислорода;

---

\* Работа выполнена под руководством д.т.н. Дворецкого С.И. и к.х.н. Гладышева Н.Ф. в ОАО «Корпорация «Росхимзащита».

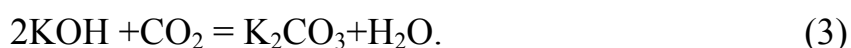
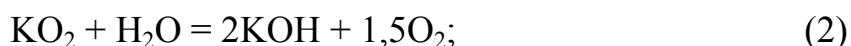
- на основе процесса электрохимического разложения воды;
- с использованием твердых источников кислорода.

С точки зрения простоты организации метода регенерации воздуха, безопасности и малой энергоемкости наиболее выигрышным рассматривается вариант использования в качестве источника кислорода и поглотителя диоксида углерода надпероксидов щелочных металлов калия и натрия.

Процесс взаимодействия диоксида углерода и влаги воздуха с надпероксидом калия описывается общим уравнением:



При этом первичным актом в процессе регенерации является образование гидроокиси калия и ее гидратов, а вторичным образование карбоната калия по уравнениям:



Анализ систем регенерации воздуха с использованием регенеративного продукта на основе надпероксидов щелочных металлов показал, что основными проблемами и вопросами, решаемыми при разработке конструкций являются:

- интенсивное тепловыделение в результате протекания химических реакций, следствием чего возможно спекание регенеративного продукта и изменение гидродинамики регенеративного продукта;
- снижение массогабаритных характеристик ;
- рациональное использование регенеративного продукта;

Авторами [2, 3] разработан регенеративный продукт РПК-ПП, представляющий собой пористую пластину из стекловолоконистого материала с закрепленным на волокнах нано-структурированным надпероксидом калия.

Регенеративный продукт РПК-ПП характеризуется большой развернутой поверхностью доступной для хемосорбции диоксида углерода, меньшей степенью появления локальных перегревов продукта, за счет хорошего теплоотвода, меньшей пожароопасностью [4].

На основе регенеративного продукта РПК-ПП в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» авторами [5] разработан блок химической регенерации воздуха (БХРВ), предназначенный для создания и поддержания объемной доли кислорода (19 – 23)%, объемной доли диоксида углерода не более 1 % в герметичных объектах коллективной защиты при температуре (20±5) °С и относительной влажности (85±10)% для 4 человек. Значение свободного объема помещения приходящегося на одного человека равняется 6 м<sup>3</sup>.

Блок химической регенерации воздуха (рис. 1) выполнен в виде полого патрона из фторопластовой пленки Ф-4МБ в форме двух рукавов, соединенных коллектором со штуцером для подачи газо-воздушной смеси (далее ГВС), сверху патрон открыт и сообщается с окружающей средой. Пластины регенеративного продукта закреплены в силовых лентах, ГВС в систему регенерации подается с помощью электровентильатора. От механических повреждений и теплового воздействия патрон снабжен защитным кожухом из негорючей ткани типа Nomex Comfort.

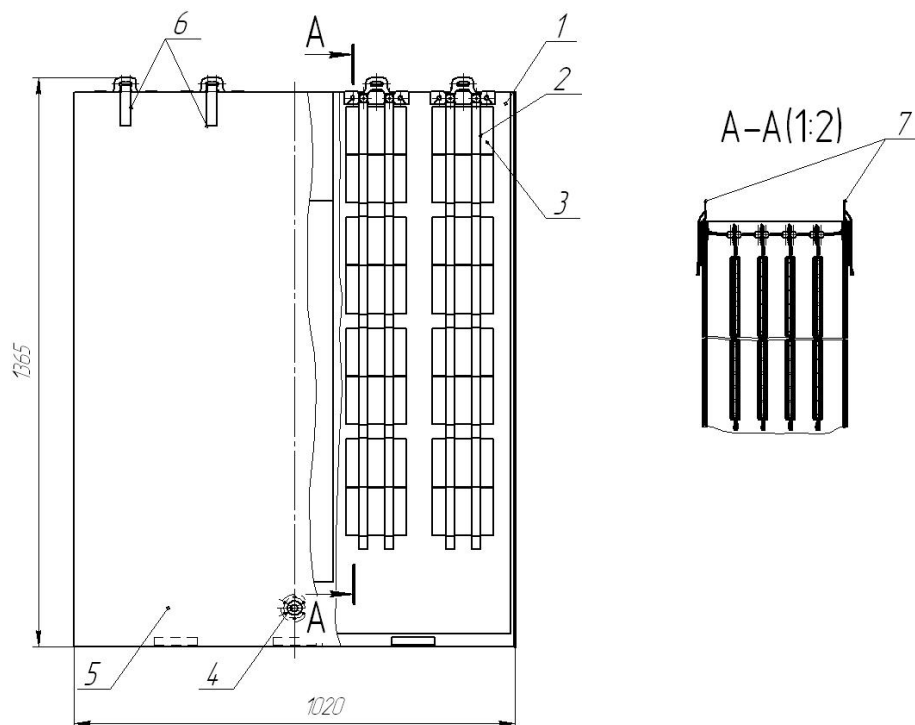


Рис. 1. Рабочая часть БХРВ:

- 1 – оболочка; 2 – силовые ленты; 3 – продукт РПК-ПП; 4 – узел стыковочный;  
5 – чехол; 6 – ленты с текстильными застежками; 7 – ручки

Оболочка 1 выполнена из фторопластовой пленки Ф-4МБ разделенной сварным швом на два рукава и предназначена для изоляции пластин регенеративного продукта и организации газо-воздушного потока, взаимодействующего с регенеративным продуктом. На оболочке располагаются восемь ручек 7, для закрепления рабочей части БХРВ в установке.

Внутри каждого рукава установлены силовые ленты 2. Силовые ленты 2 поперечными сварными швами разделены на ячейки, в которых расположены пластины регенеративного продукта РПК-ПП 3.

Пластины регенеративного продукта предназначены для регенерации поступающей в оболочку газо-воздушной смеси.

В нижней части оболочки установлен узел стыковочный 4 для соединения рабочей части БХРВ с вентилятором.

БХРВ в составе системы регенерации воздуха показан на рис. 2.

На базе испытательного центра в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» были проведены испытания разработанной системы регенерации воздуха. В ходе проведения испытаний предложенной системы было выявлено:

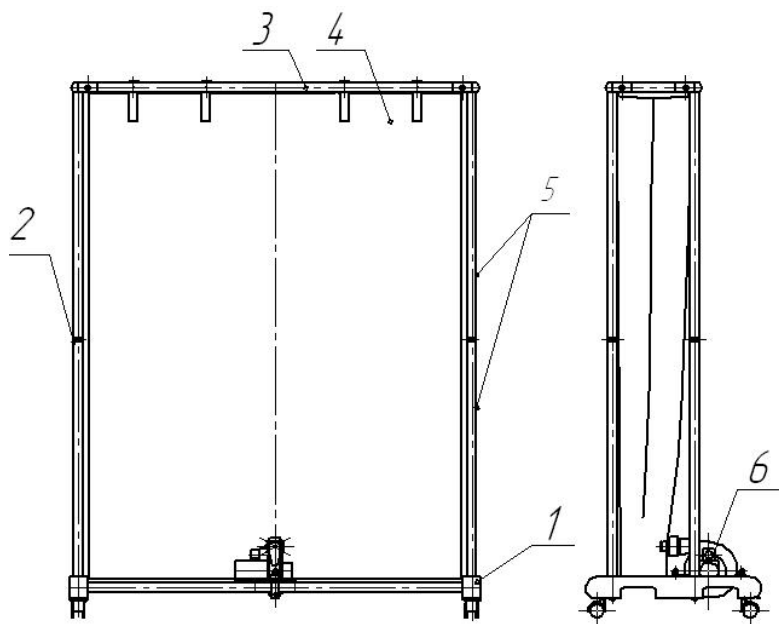


Рис. 2. Установка БХРВ:

- 1 – опора в сборе; 2 – держатель для труб; 3 – рама в сборе;  
4 – рабочая часть БХРВ; 5 – трубы; 6 – вентилятор

- температура регенеративного продукта (не более 75 °С) гарантирует отсутствие возможности его спекания;
- практически полная отработка регенеративного продукта по кислороду;
- высокая сорбционная емкость по диоксиду углерода, за счет большой удельной поверхности регенеративного продукта.

Особенностью подобной системы регенерации воздуха является мобильность, за счет малых массогабаритных характеристик изделия, а также в отсутствии необходимости проведения предварительного монтажа системы в обслуживаемом помещении

Разработанная система регенерации воздуха перспективна для применения в герметичных убежища малого типа и в защитных сооружениях гражданской обороны.

#### *Список использованной литературы*

1. Путин, С.Б. Математическое моделирование и управление процессом регенерации воздуха / С.Б. Путин. – М: Машиностроение, 2008. – 176 с.
2. Пат. 2225241 Российская Федерация, МПК А 62 D 9/00. Регенеративный продукт и способ его получения / Гладышева Т.В., Гладышев Н.Ф., Глебова О.Н., Путин Б.В., Андреев В.П.; заявитель и патентообладатель ФГУП Тамбовский научно-исследовательский химический институт – № 2002132800/15; заявл. 05.12.2002; опубл. 10.03.2004.
3. Гладышев, Н.Ф., Разработка технологии и аппаратурного оформления производства регенеративных продуктов нового поколения / Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева, С.И. Дворецкий, С.Б. Путин, М.А. Ульянова, Ю.А. Ферапонтов. – М: Машиностроение, 2007.
4. Изучение поведения супероксидов К, Na и Са в контакте с органическими веществами и угольной пылью при нагревании / Т.В. Гладышева, Н.Ф. Гладышев, Н.В. Кокорева, Д.Г. Лемешева // Пожары и окружающая среда : материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2002.
5. Заявка 2011110682 Российская Федерация, МПК А62В11/00 Устройство для регенерации воздуха / Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Дорохов Р.В., Козадаев Л. Э., Плотников М.Ю., Путин Б.В., Путин С.Б., Симаненков Э. И.; заявитель ОАО «Корпорация «Росхимзащита» №2011110682; заявл. 21.03.2011.

**Пути снижения токсичности выбросов  
от автотранспорта на примере диоксида азота**

Попов И.<sup>1</sup>, Попова М.<sup>2</sup>

*МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина (Россия, г. Тамбов)*

Чем больше мы берем от мира, тем менее мы оставляем в нем, и в конечном итоге мы вынуждены будем оплатить наши долги в тот самый момент, который может оказаться очень неподходящим для того, чтобы обеспечить продолжение нашей жизни.

Норберт Винер

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием автомобильного транспорта существенно обострились проблемы воздействия его на окружающую среду. Транспортно-дорожный комплекс является мощным источником загрязнения природной среды. Усиление техногенного воздействия на природную среду породило ряд экологических проблем. Самые острые связаны с состоянием атмосферы, гидросферы и литосферы. Постоянный рост автомобилей оказывает отрицательное влияние на человека и окружающую среду.

Источники загрязнений - это теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ, металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух оксиды азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности,

---

<sup>1</sup> Попов А., ученик 11 класса МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов. Руководители: Володина Г.Б., ТГТУ, г. Тамбов, Стрыгина М.М., МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов.

<sup>2</sup> Попова М., ученица 11 класса МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов. Руководители: Володина Г.Б., ТГТУ, г. Тамбов, Стрыгина М.М., МАОУ лицей № 14 имени А.М. Кузьмина, г. Тамбов.

отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов.

Выбор темы обусловлен желанием систематизировать и расширить наши компетенции об особенностях воздействия выбросов при работе автомобильного транспорта на окружающую среду, в первую очередь на атмосферу.

Актуальность выбранной темы проекта очевидна: количество автомобилей в каждой стране мира, РФ, в том числе в Тамбовской области имеет тенденцию к резкому возрастанию, при этом автомобильный парк содержит большое количество автомобилей, не соответствующих определенным стандартам. Это приводит к увеличению содержания вредных примесей в выхлопных газах автомобилей, наиболее токсичным из которых является диоксид азота (IV).

Объект нашего исследования: автомобильный парка г. Тамбова.

Предмет исследования – выхлопные газы г. Тамбова и характеристики содержания диоксида азота в выхлопных газах автотранспорта.

Цель нашего проекта: изучение состава выбросов выхлопных газов автомобилей и изучение возможностей снижения выбросов диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ) при работе автотранспорта.

Гипотеза нашего исследования основана на предположении: среди всех загрязнителей выхлопных газов автомобилей наиболее токсичен диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ), потому снижение его концентраций благотворно скажется на качестве атмосферного воздуха и здоровье населения.

В соответствии с целью и гипотезой были определены следующие задачи научно-исследовательской деятельности:

- составление литературного обзора по проблеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при работе автотранспорта;
- выявление особенностей воздействия диоксида азота на биосферу, окружающую среду и здоровье человека;
- выбор наиболее загруженных автотранспортом перекрестков города Тамбова;
- подсчет количества автомобилей на перекрестках города Тамбова;

- расчет количества выбросов диоксида азота;
- определение содержания диоксида азота в выхлопных газах автомобилей разных типов с помощью аспиратора АМ-5;
- анализ современных способов снижения выбросов диоксида азота при работе двигателей автомобилей
- рекомендации по снижению концентрации диоксида азота в выхлопных газах.

Один автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, выбрасывая при этом с отработанными газами примерно 800 кг угарного газа, 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов.



Рис. 1

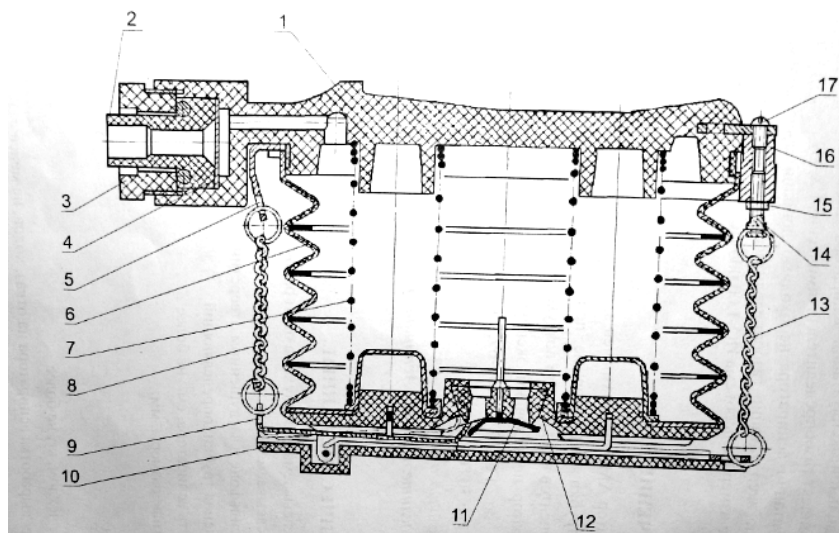
Объёмные доли выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от основных типов источников загрязнения на территории Тамбовской области (тыс. тонн)

Решение экологических проблем современного общества связано с сохранением и созданием на Земле благоприятных природных условий жизни для людей, гармонизацией развития общества и природы.

Определение содержания диоксида азота в выхлопных газах автомобилей с помощью аспиратора АМ-5 (Volvo XC 70 и Audi A6).



Аспиратор АМ-5 предназначен для просасывания в исследуемой газовой смеси с помощью индикаторных трубок – определения содержания газовых компонентов в воздухе. Он представляет собой сильфонный насос ручного действия, работающий на всасывание воздуха за счёт раскрытия пружинами предварительно сжатого сильфона и выброса воздуха из сильфона через клапан при сжатии пружин.



- 1 – крышка; 2 – трубка; 3 – штуцер; 5 – подвеска; 6 – сильфон; 7 – пружина;  
 8, 13 – цепочки; 9 – рычаг; 10 – дно; 11 – клапан; 12 – седло; 14 – винт;  
 15 – контргайка; 16 – втулка; 17 – винт

#### *Список использованной литературы*

1. Аксенов И.Я., Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. – М.: Транспорт, 1986.
2. Амбарцумян В.В., Носов В.Б. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. – М.: «Научтехлитиздат», 1999.
3. Ахметов Л.А., Корнев Е.В. Автомобильный транспорт и охрана окружающей среды. – Ташкент: Мехнат, 1990.
4. Голубев И.Р., Новиков Ю.В. Окружающая среда и транспорт. – М.: Транспорт, 1987.
5. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения городов.

**Разработка способа модификации микрофльтрационных полиамидных мембран с целью придания им бактерицидных свойств**

Тарасов А.В.<sup>1</sup>, Федотов Ю.А.<sup>2</sup>, Лепешин С.А.<sup>1</sup>, Панов Ю.Т.<sup>2</sup>,  
Тверской В.А.<sup>3</sup>, Васютинская А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-производственное предприятие «Технофильтр» (Россия, г. Владимир)

<sup>2</sup> Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (Россия, г. Владимир)

<sup>3</sup> Московский Государственный университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова (Россия, г. Москва)

Проблема обеспечения населения доброкачественной питьевой водой, пригодной для хозяйственно-питьевого использования и безопасной в эпидемическом отношении, является одной из приоритетных задач в системе водоснабжения страны.

С середины прошлого века задачи получения питьевой воды безопасной в токсикологическом и эпидемиологическом отношении часто стали решаться с применением мембранных процессов. Однако одной из важнейших проблем сдерживающих развитие мембранных технологий является снижение производительности и уменьшение ресурса работы мембранных фильтров вследствие образования на их поверхности различных осадков. При этом бактериальные загрязнения вызывают больше проблем, чем коллоидные или кристаллические. Это связано с тем, что задержанные мембраной микроорганизмы в благоприятных условиях продолжая размножаться через некоторое время образуют колонии, превращающиеся в биопленки, которые способны прорасти сквозь поры мембраны. Вследствие этого бактерии попадают в фильтрат, заражая его, а мембрана теряет свои стерилизующие свойства. Это явление может происходить как в процессе фильтрации (динамическом режиме), так и в статическом состоянии, т.е. когда нет фильтруемого потока, но фильтр находится во влаж-

ном состоянии [1]. Явлению прорастания микроорганизмов через мембрану было дано достаточно логичное объяснение, заключающееся в том, что бактериальная клетка при размножении делится на две части и в таком уменьшенном состоянии может проникнуть через мембрану, которая является не проницаемой для нее в исходном виде [2].

Для предотвращения зарастания мембран биологическими веществами пользователи мембранных фильтров были вынуждены применять сильные дезинфицирующие средства, которые вызывают деструкцию полимерной мембраны и коррозию оборудования. Альтернативным способом борьбы с биологическими загрязнениями могло бы быть использование в фильтрах бактерицидных мембран, однако сведения о промышленных производствах такой продукции отсутствуют [3].

В настоящей работе использовались два подхода к технологии модификации:

- введение порошка серебра и серебросодержащих добавок в формовочную массу (т.е. объемная модификация);
- обработка антибактериальными средствами поверхности мембраны (поверхностная модификация)

В данной работе приведены результаты исследований бактерицидных свойств модифицированных различными способами и различными агентами полиамидных микрофилтрационных мембран.

В качестве исходной, использовали полиамидную микрофилтрационную мембрану марки ММК – 0,2, выпускаемую ООО НПП «Технофильтр» (г. Владимир).

Объемная модификация мембраны препаратами серебра, хитозаном и полигексаметиленгуанидингидрохлоридом осуществлялась путем введения модифицирующего агента в формовочный раствор на стадии его приготовления.

Поверхностную модификацию проводили на специальной установке с намазывающими и отжимными валками, установленными в ванне с модифицирующим раствором.

Для модификации использовались:

- препарат наноструктурных частиц серебра марки «Сильвернано-1» изготовлен в ООО НПК «Наномет» г. Москва;
- концентрат антимикробной добавки на основе солей серебра («Биоформ TRMB0080211-1») разработан и изготовлен в фирме «International Plastic Guide» г. Санкт-Петербург.

Обработку мембраны с нанесенным полигексаметиленгуанидин гидрохлоридом (ПГМГ) для перевода ее в основную форму обрабатывали 5% раствором NaOH с последующей промывкой дистиллированной водой.

Оценка бактерицидных свойств мембран проводилась по способности задерживать рост условно-патогенной микрофлоры, представителем которой выбрана культура *Escherichia coli*, полученная из ФГУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов».

Испытания проводились с использованием фильтрационной установки включающей прибор вакуумного фильтрования ПВФ 35/47 НБ, соединенный с колбой Бунзена.

Рабочий раствор тест-культуры в количестве 50 см<sup>3</sup> фильтровали через каждую испытываемую мембрану и контрольные образцы мембран.

После окончания фильтрования и осушения фильтра отключали вакуум, фильтр осторожно поднимали за край фламбированным пинцетом и переносили его, не переворачивая, на питательную среду (мясопептонный бульон, МПБ), разлитую в чашки Петри, избегая образования пузырьков воздуха между средой и фильтром. Поверхность фильтра с отфильтрованными на ней бактериями должна быть обращена вверх.

Фильтрат высевали на чашку Петри с питательной средой из расчета по 0,1 см<sup>3</sup> на чашку, при 3 повторах.

Посевы инкубировали при температуре 37 °С в течение времени испытания.

Учет результатов оценки бактерицидных свойств мембранных фильтров начинали проводить через 24 часа после посева и продолжали все время испытаний.

Подсчитывали все выросшие на фильтрах колонии. Подсчет производился только на тех чашках, на которых выросло не более 300 изолированных колоний. Подсчитанное количество колоний на каждой чашке суммировали и делили на три. Результат выражали числом колоний образующих единиц (КОЕ) на площади исследуемого образца и заносили в протокол. Если из-за большого роста подсчет колоний на фильтрах невозможен, то в протоколе отмечали: "сплошной рост".

Результаты, полученные после инкубирования мембранных фильтров, интерпретировали следующим образом:

– если рост тест-культуры на испытываемой мембране после фильтрации и инкубирования при 37 °С в течение 5 суток полностью отсутствовал, то данный фильтр считался бактерицидным;

– бактериостатическими считали мембраны, на которых через 5 суток после инкубации в чашках Петри с МПА при 37 °С количество колоний тестовой культуры не превышало 10.

Общую концентрацию микробных клеток в суспензиях бактерий определяли визуально по отраслевому стандарту мутности. Количество живых микробных клеток определяли посредством титрования исследуемых культур на плотных питательных средах и выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ). Последовательные десятикратные разведения каждой пробы (0,5 см<sup>3</sup> исходной бактериальной суспензии смешивали с 4,5 см<sup>3</sup> стерильного физиологического раствора), в объёме 0,1 см<sup>3</sup> высевали на 3 чашки Петри. Через 48 часов инкубации при 37 °С число выросших на чашках колоний подсчитывали на счетчике колоний, эквивалентных числовому значению живых бактерий в исходной суспензии.

Сначала было проведено определение максимальных концентраций *E.coli*, не вызывающих роста на модифицированных мембранах.

Результаты определения максимальных концентраций *E.coli*, не вызывающих прорастания мембранных модифицированных фильтров представлены в табл. 1.

Влияние концентрации *E.coli* на рост бактерий на поверхности  
модифицированных мембран

№ образца	Модификация	Кол-во, КОЕ в 250 мл	Количество колоний на фильтре через 24 часа
2	Поверхностная, наносеребро С = 600 мг/л	448 500	нет роста
		862 500	нет роста
		1 500 000	нет роста
		2 500 000	5 колоний
		5 000 000	15 колоний
		8 625 000	24 колонии
		10 000 000	50 колоний
3	Объемная, наносеребро 1 % от ПА	448 500	нет роста
		862 500	20 колоний
4	Поверхностная 0,8% «Биоформ»	448 500	нет роста
		862 500	нет роста
		1 725 000	нет роста
		2 500 000	нет роста
		3 450 000	1 колония
		5 000 000	10 колоний
		10 000 000	34 колонии

Результаты испытаний показали, что мембранные фильтры, поверхностно-модифицированные препаратами серебра, способны сдерживать рост значительных концентраций бактерий. Так, максимальная концентрация *E.coli* не вызывающая роста бактерий для мембранных фильтров составила:

для фильтра № 2 – 1,5 млн. м.к. или в пересчете на площадь фильтра 90,3 тыс. м.к./см<sup>2</sup>;

№ 4 – 2,5 млн. м.к. или 210,8 тыс. м.к./см<sup>2</sup>.

Для дальнейших исследований мы выбрали концентрацию заражаемых бактерий  $1 \cdot 10^4$  КОЕ/см<sup>3</sup>

## Оценка бактерицидных свойств мембран

Полиамидные мембраны, подвергшиеся различным видам модификации минеральными веществами (препаратами и нанопрепаратами серебра), органическими полимерными соединениями (хитозан и ПГМГ), а также химически модифицированные мембраны были испытаны на бактерицидные свойства.

Для оценки бактерицидных и бактериостатических свойств через мембраны фильтровали пробы воды объемом  $50 \text{ см}^3$  с концентрацией микробных клеток  $1 \times 10^4 \text{ КОЕ/см}^3$  *E.coli*.

Максимальное время наблюдения составляло 14 суток, развитие, рост и количество микроорганизмов учитывали визуально путем подсчета количества выросших на мембране колоний тест-культуры.

Исследовалась возможность химической модификации мембран из полиамида (ПА) с целью иммобилизации в их структуре веществ, обладающих биоцидными свойствами.

Так как поликапроамид имеет два типа функциональных групп, поэтому посредством их может быть проведено химическое присоединение тех или иных соединений. Это – амидная группа и пентаметиленовая цепочка. Замещение или присоединение по амидной группе гораздо более трудоемко.

Некоторый интерес представляет амидолиз амидной связи с образованием более активных карбоксилатной и аминогруппы.

Нами проведен щелочной гидролиз 1N раствором щелочи монолитных пленок из поликапроамида. Изменения оценивали по ИК-спектрам многократного нарушенного полного внутреннего отражения. В ИК-спектрах пленок после обработки щелочью появляются лишь очень низкой интенсивности полосы, относящиеся к колебаниям карбоксилатной и аминогрупп, и их интенсивность не возрастает во времени. Причиной малой эффективности такого метода химической обработки поликапроамида может быть не только его относительная устойчивость к воздействию растворов щелочей, но и деструкция, вымывание из полимера низкомолекулярных фрагментов.

Пентаметиленовая группа инертна к воздействию большинства химических реагентов. Эффективным способом химической модификации соединений, со-

держащих полиметиленовые цепочки, является прививочная полимеризация, инициируемая ионизирующим излучением (радиационная прививочная полимеризация). Процесс заключается в облучении полимера источником излучения высокой энергии с последующей прививочной полимеризацией соответствующего функционального мономера. В настоящей работе облучение мембраны из поликапроамида проводили на источнике  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$ . В качестве функционального мономера использовали акриловую кислоту. В результате такой радиационно-химической модификации на поверхности мембраны продуцируются цепи полиакриловой кислоты, ковалентно связанные с макромолекулами поликапроамида.

Полиакриловая кислота (ПАК) – слабый биоцид. Однако карбоксильные группы, имеющиеся в ее структуре, могут выполнять функцию «якорных групп», посредством которых возможна иммобилизация тех или иных функциональных групп, в том числе биоцидных.

Нами в качестве соединений биоцидов применялись, во-первых, поверхностно-активные вещества и полимеры, содержащие четвертичные аммониевые группы, и, во-вторых, нитрат серебра.

В соединениях первого типа биоцидными свойствами обладают четвертичные аммониевые группы. Во втором случае – это ионы серебра. Для связывания этих соединений с полиакриловой кислотой последнюю в обоих случаях переводили в  $\text{H}^+$ -форму нейтрализацией карбоксильных групп 1,5 N раствором гидроксида натрия.

В опытах с использованием поли- N,14, K, 1M-диметилдиаллиламмонийхлорид (ДМДААХ), мембрану вымачивали в течение 5 суток в 2,5 растворе этого соединения.

Полученные результаты, представлены в табл. 2 показывают, что:

Мембраны, поверхностно модифицированные наночастицами серебра и препаратом «Биоформ» обладают бактериостатическими свойствами, то есть после фильтрования суспензии тест-культуры, содержащей  $1 \times 10^4$  КОЕ *E.coli*, сдерживают её рост в пределах 7-10 колоний в течение 14 суток.

Мембраны, поверхностно модифицированные ПГМГ с концентрацией 2 – 5%, проявили бактериостатический эффект.



Оценка бактерицидных свойств модифицированных мембран  
(тест-культура *E. coli*, концентрация  $1 \times 10^4$  КОЕ/см<sup>3</sup>)

№ п/п	Модификация	Время наблюдения, сут				
		1	2	5	10	14
		Рост на поверхности фильтра, КОЕ				
1	Исходная ММК-0,2	сплошн	сплошн	сплошн	сплошн	сплошн
2	Поверхностная, наносеребро, 600 мг/л	отсутств	3,3±0,9	4,3±1,2	9,3±1,4	10,3±2,4
3	Поверхностная, «Биоформ», 0,8 % раствор	отсутств	8,7±1,5	10,3±1,3	10,7±1,3	10,7±1,3
4	Объемная, «Биоформ», 0,5% от ПА	0,5±0,2	10,5±0,5	сплошн.	сплошн.	сплошн.
5	Поверхностная, Биоформ/хитозан 0,4%/0,2% раствор	отсутств.	0,5±0,3	0,5±0,3	0,5±0,3	0,5±0,3
6	Объемная, ПГМГ, 5% от ПА	сплошн.	сплошн.	сплошн.	сплошн.	сплошн.
7	Объемная, ПГМГ, 10% от ПА	15,5±6,0	17,0±2,7	20,3±12,6	сплошн.	сплошн.
8	Поверхностная, ПГМГ, 2% раствор	8,0±2,2	10,3±2,4	10,3±2,4	10,3±2,4	10,3±2,4
9	Поверхностная, ПГМГ, 5% раствор	отсутств.	0,5±0,3	0,7±0,4	0,7±0,4	0,7±0,4
10	Химическая при- вивка, ПАК+0,5%AgNO <sub>3</sub>	отсутств.	6,0±2,3	10,0±2,0	12,0±1,8	12,0±1,8
11	Химическая при- вивка, ПАК+ДМДААХ	15,0±2,9	43,0±2,6	43,0±3,2	43,0±3,2	43,0±3,2

Проведенные исследования позволили установить, что метод объемной модификации не позволяет обеспечить достижение бактерицидного или бактериостатического эффекта.

Мембраны, поверхностно модифицированные препаратами серебра, способны сдерживать рост значительных концентраций бактерий. Максимальная концентрация *E.coli* для мембранного фильтра составила:

№ 2 – 1,5 млн. микробных клеток;

№ 3 – 2,5 млн. микробных клеток.

Наилучшими антимикробными свойствами обладали две мембраны:

– поверхностно-модифицированная мембрана раствором смеси хитозана и препаратом «Биоформ»;

- поверхностно-модифицированная мембрана 5 % раствором ПГМГ.

Модифицированные мембраны, сохраняющие бактериостатические свойства в течение 14 суток, могут быть рекомендованы для производства на их основе индивидуальных фильтров, входящих в экипировку служащих МО, МВД и работников МЧС.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор №13.G25.31.0022).

#### *Список использованных источников*

1. Wallhäusser K.H. // Die Pharmazeutische Industrie. 1983. – Vol. 45(5). – P. 527.

2. Simonetti J.A. // J. Environ Sci. 1984. – Vol. 27 (6). – P. 27.

3. Коновалов В.В., Побегай А.А., Бурбан А.Ф., Брык М.Т. // Мембраны. Критические технологии. – 2006. – Т. 32, № 4. – С. 56.

4. Егорова Е.М., Ревина А.А., Ростовщикова Т.Н., Киселева О.И. // Вестник МГУ. – Сер. 2. Химия. – 2001. – Т. 42, № 5. – С. 332.

УДК 66-963

ББК 24.35

**Перспективы совершенствования материалов аэрозольной очистки  
в системах индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания**

Таров А.В., Кузнецова А.А.

*Тамбовский государственный технический университет (Россия, г. Тамбов)*

В настоящее время вопросам теории тонкой фильтрации во всем мире уделяется повышенное внимание. Интерес к совершенствованию фильтрующих материалов непрерывно возрастает в связи с ростом загрязнения атмосферы, ростом вероятности терактов, в связи с увеличением масштаба производства чистого воздуха для нанотехнологических процессов и для очистки воздуха на опасных производствах. Исследуется специфика улавливания частиц с целью выдачи рекомендаций по условиям эксплуатации определенных фильтров в различных ситуациях или с целью разработки новых фильтрующих материалов для заданных условий. Тонкая очистка воздуха и газов оказывается востребованной не только в высоких технологиях, но и во многих технологических процессах, где раньше требования к очистке не были столь велики. Решение традиционных проблем очистки вентиляционных выбросов на АЭС и других подобных предприятиях и приточной вентиляции для чистых комнат и чистых зон в микроэлектронике и медицинских учреждениях, а также защиты органов дыхания связано со стремлением разработать фильтр с наименьшим сопротивлением потоку.

В первом случае эта проблема решается путём развёртки фильтрующего материала в объёме фильтра, например, путём гофрирования, во втором - путём интенсификации процесса пылеулавливания за счёт электростатических эффектов осаждения, которые реализуются в фильтрах Петрянова или в фильтрах из электретных волокон.

В данном сообщении будут рассмотрены основные достижения в решении проблемы сверхтонкого обеспыливания и сформулированы задачи дальнейших исследований.

1. Повышение требований к степени очистки газов от взвешенных частиц при тонкой фильтрации газов.

Проблема сверхтонкого обеспыливания воздуха и газов приобрела важное значение в современной технологии, в науке и медицине в связи с развитием микроэлектроники, производства чистых веществ и лекарств, в связи с повышением требований к охране окружающей среды и к средствам индивидуальной защиты органов дыхания. Несмотря на большое разнообразие фильтрующих материалов, наибольшее распространение для тонкой очистки воздуха от субмикронных аэрозольных частиц получили материалы из ультратонких волокон. Волокнистые фильтрующие материалы оказались наиболее эффективным средством очистки, поскольку при одинаковом сопротивлении потоку эти материалы обладают наибольшей эффективностью улавливания частиц по сравнению со всеми другими типами фильтровальных пористых перегородок [1]. Волокнистые фильтрующие материалы используются для изготовления промышленных фильтров и респираторов. В некоторых случаях для сверхвысокой очистки используются фильтры, изготовленные из тонкослойных пористых мембран с волокнистой структурой.

Высокоэффективные волокнистые фильтрующие материалы представляют собой систему волокон, расположенных преимущественно перпендикулярно к направлению потока. Их пористость составляет 90 – 99 %, а диаметр волокон варьирует от нескольких микрон до сотых долей микрона. Толщина этих фильтров составляет от нескольких миллиметров до нескольких десятков микрометров. Во всех случаях, как для предфильтров, так и для финишных фильтров, характер улавливания аэрозольных частиц принципиально отличается от характера удаления частиц в жидкости. Размер задерживаемых в фильтре аэрозольных частиц значительно меньше, чем расстояние между волокнами. В жидкости отфильтровываются частицы с размером бóльшим, чем это расстояние. Скорость течения газа при тонком обеспыливании обычно менее 5 см/с, что способствует уменьшению перепада давления на фильтре. При этой скорости течения частицы, коснувшиеся волокон, не сдуваются потоком. Мелкие части-

цы субмикронного размера осаждаются на волокна благодаря их броуновскому движению. Более крупные задерживаются вследствие инерционного смещения с линий тока или в результате касания, когда центр частицы движется по линии тока на расстоянии, меньшем её радиуса от поверхности волокна.

Волокнистые фильтры для тонкой очистки воздуха впервые получили широкое распространение при производстве противогазов после первой мировой войны. В нашей стране в качестве фильтров тонкой очистки на протяжении нескольких десятилетий применялись фильтры из микронных полимерных волокон, которые в промышленном масштабе получали путём электростатического распыления растворов полимеров. Это так называемые фильтры ФП (фильтры Петрянова), метод получения которых был разработан И.В. Петряновым, Н.А. Фуксом и Н.Д. Розенблюм в НИФХИ им. Л. Я. Карпова. Благодаря электрическим зарядам на волокнах эти фильтры оказались очень эффективными. Из-за высоких изоляционных свойств используемых полимеров и очень высокой пористости фильтров, и вследствие шероховатости поверхности волокон заряды могут сохраняться очень долго (в сухом помещении – до нескольких лет). Однако при продолжительной эксплуатации фильтров ФП или при попадании на них влаги заряды стекали, и эффективность задержки частиц падала.

С начала 50-х годов для задач тонкой очистки воздуха в атомной промышленности за рубежом начали применять фильтры из чистого стекловолокна. Эти фильтры изготавливались по методу бумажного производства, с малым по массе количеством связующих добавок, поэтому они были пожаробезопасны. Они не теряли своих фильтрующих свойств при попадании на них капельной влаги или масла. В научно-технической литературе фильтры, оснащенные гофрированным стекловолокнистым листовым фильтрующим материалом, получили название «высокоэффективные аэрозольные фильтры», в иностранной литературе они известны под маркой «HEPA filters» (high efficiency particulate air filters).

В 1975 г. в лаборатории НИФХИ им. Л. Я. Карпова Н.А. Фуксом совместно с В.И. Гурьяновым из Института бумаги ЦНИИБУМ и В. Улыбышевым из

Института стекловолокна ВНИИСПВ была разработана технология получения фильтрующих материалов из стеклянных волокон, и выпущены опытно-промышленные партии разных типов высокоэффективных материалов. Они были испытаны в разных условиях, в том числе в одной из вентсистем на Белоярской АЭС, где температура воздуха была 230°С. Штатными фильтрами в этой системе служили фильтры Петрянова, предельно допустимая температура эксплуатации которых не превышает 60° С. Только в 90-х годах для тонкой очистки воздуха в чистых комнатах начали применять высокоэффективные фильтры из стекловолокна, в том числе отечественного производства, а спустя еще 10 лет и в отечественной атомной промышленности. За рубежом уже более 10-ти лет в атомной промышленности применяются высокоэффективные фильтры следующего поколения – тонкослойные металловолокнистые фильтры, поддающиеся регенерации.

Сегодня основной задачей практики фильтрации является не только достижение высокого класса чистоты воздуха любой ценой, но и создание экономических и надёжных систем очистки, т.е. систем с высокой эффективностью улавливания частиц при минимальном перепаде давления и с максимальным сроком службы до заданного предельного перепада давления.

2. Контроль степени очистки газов от взвешенных частиц при тонкой фильтрации газов.

Во всех странах для испытания фильтров используются специальные стенды, оснащенные генераторами частиц и измерительными приборами. Крупнейшая американская фирма TSI, выпускающая приборы для аэрозольных исследований, несколько лет производит стенды для испытания фильтров по монодисперсным частицам. Эти стенды удобны, но и очень дороги. Достоинством этого стенда является одновременное измерение концентрации частиц до фильтра и за фильтром, что позволяет избежать неточности оценки эффективности улавливания из-за нестабильности работы генератора частиц. Второе достоинство стенда – это возможность измерения фракционной эффективности

улавливания частиц, что позволяет определять область максимального проскока частиц – измеренная величина проскока в области максимума при заданной скорости есть характеристика фильтра. В качестве тестовых аэрозолей используются аэрозоли хлористого натрия и диоктилфталата.

Для исследовательских целей они не вполне пригодны, т.е. требуются большие переделки стенда для изучения влияния воздействия различных факторов на процесс осаждения частиц, таких как изменение температуры, давления, влажности, электризации, пульсаций, внешнего поля, гравитации и т.д. Кроме того, часто требуется проведение испытаний по частицам из определенных веществ, свойства которых отличны от свойств хлористого натрия. При этом все частицы или большая их часть заряжены и несут элементарный заряд, влияние которого нежелательно для очень мелких частиц при исследовании влияния молекулярных сил на их улавливание. Поэтому для поиска оптимальных свойств фильтрующих материалов приходится создавать специальные стенды [2].

Для описания эксплуатационных характеристик фильтров и сопоставления результатов измерений эффективности улавливания частиц и гидродинамического сопротивления, испытания фильтров должны проводиться в соответствии с общепринятыми стандартами. Единые требования предъявляются не только к процедуре измерений, но и к тестовым аэрозолям и к приборам для измерения частиц. В соответствии с международной классификацией высокоэффективные фильтры разделяются на следующие классы (табл. 1): HEPA фильтры и ULPA фильтры.

Эффективность фильтров должна оцениваться при той объёмной скорости, для которой они были рассчитаны и сконструированы изготовителем и, соответственно, при этой скорости следует оценивать их сопротивление потоку. Испытания фильтров рекомендуется проводить при  $t = 23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности менее 75 %, причем желательно, чтобы температура и влажность были постоянными во время измерений.

## Классы фильтров

Класс	Эффективность, %	Проскок, %	Локальный проскок, %
HEPA фильтры			
H-10	85	15	-
H-11	95	5	-
H-12	99,5	0,5	2,5
H-13	99,95	0,05	0,25
H-14	99,995	0,005	0,025
ULPA фильтры			
U-15	99,9995	0,0005	0,0025
U-16	99,99995	0,00005	0,00025
U-17	99,999995	0,000005	0,0001

Особые требования предъявляются к материалу частиц тестовых аэрозолей. Во-первых, аэрозольные частицы должны быть капельками из нелетучей жидкости. Давление паров этой жидкости при 20<sup>0</sup> С должно быть не выше 50 мкПа. Показатель преломления жидкости рекомендуется в диапазоне 1,45 ÷ 1,60. В качестве жидкости для получения частиц рекомендуется диэтилгексилсебацат (диэтилгексильный эфир себаценовой кислоты), диоктилфталат (диэтилгексильный эфир фталевой кислоты), парафиновое масло и другие подобные вещества. Общим требованием ко всем тестовым аэрозольям является отсутствие электрических зарядов на частицах. Допускается только равновесный заряд (соответствующий больцмановскому распределению зарядов, приобретаемому частицами в биполярной ионной атмосфере). Обязательным условием при испытании является постоянство концентрации и распределения частиц по размерам в течение всей процедуры измерения. Специфические требования при испытании высокоэффективных фильтров связаны с выбором размера и концентрации частиц. Диапазон концентрации частиц выбирается в зависимости от имеющихся приборов.

3. Применение углеродных нанотрубок при тонкой фильтрации газов с высокой степенью очистки от взвешенных частиц.



Фуллерены и нанотрубки – новый класс замкнутых поверхностных структур углерода, открытых накануне третьего тысячелетия, обладают уникальными физико-химическими характеристиками и представляют большой интерес при разработке новых наноматериалов [3]. Открытие фуллеренов, имеющих сферoidalную форму, в 1996 г. было отмечено Нобелевской премией по химии. Это открытие вызвало большой интерес к исследованию углерода, и вскоре были открыты углеродные нанотрубки (УНТ). УНТ, представляющие собой один или несколько гексагональных графитовых слоев, свернутых в трубку, оказались востребованными в самых разных направлениях нанотехнологии, таких как наноэлектроника, наноэлектромеханика, получение нанокомпозитных сорбционных и каталитических материалов, и т.д. УНТ обладают уникальными эмиссионными характеристиками, уникальными сорбционными свойствами (удельная поверхность более  $2000 \text{ м}^2/\text{г}$ ), высоким значением модуля Юнга (порядка 1 терапаскаля) и т. д. Несмотря на огромное число публикаций, посвященных получению и применению УНТ, вопросы использования УНТ в качестве аэрозольных фильтрующих материалов практически не рассмотрены. Только в 2005 г. были описаны испытания металлических волокнистых фильтров, волокна которых покрыты слоем УНТ, откуда следовало, что эффективность улавливания из потока аэрозольных частиц субмикронного и нанометрового диапазона размеров возрастала во много раз, причем возрастало и сопротивление потоку. Рост сопротивления наблюдался для всех исследуемых образцов, за исключением одного, у которого пространство между металлическими волокнами не перекрывалось длинными УНТ – тонкий слой УНТ на волокнах обеспечивал увеличение задерживающей способности фильтра без резкого увеличения перепада давления на фильтре.

Следует отметить, что получение сплошного тонкого слоя УНТ на поверхности металловолокнистого фильтра представляет самостоятельную задачу. Тонкий слой УНТ превращает грубоволокнистый фильтр, являющийся подложкой, в суперфильтр, пригодный для улавливания аэрозольных наночастиц. Технология получения тонкого слоя УНТ на поверхности фильтра или сетки,

при условии обеспечения его однородности, может конкурировать с другими технологиями изготовления фильтрующих материалов из нановолокон для тонкой очистки газов.

Большой прогресс в этом направлении достигнут в последнее десятилетие, когда широкое распространение во всем мире получил электроспиннинговый метод получения нановолокон. Электроспиннинг – электростатическое распыление раствора полимера. Простота данного метода и доступность оборудования способствовали его широкому распространению, а различные добавки в растворы полимеров обеспечили широкие возможности для получения нановолокон из разных материалов. Второе направление совершенствования фильтрующих материалов связано с повышением прочности и стойкости нановолокон к различным воздействиям. Хорошие результаты были получены при сушке тонких пленок. В результате внешнего воздействия тонкая пленка полимера растрескивается с образованием нановолокон, при этом почти сохраняется прочность материала.

Тонкая очистка воздуха осуществляется тонковолокнистыми фильтрами, имеющими большое сопротивление потоку. Для снижения перепада давления на фильтре при заданном расходе воздуха всегда стремятся к тому, чтобы увеличить поверхность фильтрующего материала. Это достигается путем гофрирования фильтрующего материала.

В свою очередь утончение волокон ведет к увеличению улавливания частиц и одновременно к уменьшению сопротивления фильтрующего материала. Это происходит в результате эффекта скольжения газа на ультратонких волокнах. К фильтрующим материалам аэрозольных фильтров предъявляются высокие требования. Основное требование к ним – бездефектность, т.е. отсутствие скрытого и явного брака в виде сквозных отверстий, так называемых «пинколов». К настоящему времени для использования высококачественных фильтрующих материалов из микронных волокон и нановолокон разработаны методы контроля эффективности чистых фильтров и фильтров во время их эксплуатации.

В 2005 г. была показана возможность создания фильтрующего материала с использованием обеих технологий – по электроспиннинговой технологии и сформирован однородный слой нановолокон, на поверхности материала термокаталитическим методом. Слой состоял из редко расположенных иголочек, высота которых равна диаметру волокна. Существенное отличие слоя с иголочками, от всех остальных слоев УНТ на волокнах, состоит в высокой проницаемости. В противоположность волокнам с высокопористым слоем, волокна с плотными слоями УНТ обтекаются как непроницаемые. Следует отметить, что увеличение эффективности улавливания частиц фильтром с волокнами с плотным слоем УНТ связано не с абсолютной очисткой воздуха, протекающего через слой на волокнах, (вклад его ничтожен, так как расход через слой мал), а с шероховатостью поверхности слоя. А при перекрытии пространства между волокнами длинными УНТ эффект от применения УНТ не наблюдается.

Новое направление в решении актуальной проблемы совершенствования фильтрующих материалов связано с управляемым нанесением пористого проницаемого слоя нановолокон на более толстые, субмикронные (микронные) волокна. Нанесение высокопористого слоя УНТ может оказаться наиболее перспективным методом улучшения качества фильтров для существующей промышленной очистки воздуха и газов от взвешенных частиц. Более того, такого рода фильтрующий материал – это единственное средство для улавливания субмикронных частиц, взвешенных в сжатых газах [4].

Таким образом, очевидно, что для очистки газов, как механической, так и каталитической, требуется, чтобы как можно большая часть потока, набегающего на волокно с оболочкой, прошла через оболочку. Высокая степень механической очистки от взвешенных частиц будет достигнута при использовании большого числа слоев волокон, покрытых слоями УНТ. При этом слой этот должен быть максимально пористым, настолько, насколько допускает конструкция фильтра. Расстояние между волокнами должно быть много больше, чем диаметр волокна с оболочкой. В этом случае перепад давления на фильтре при нанесении слоя УНТ на волокна изменится незначительно.

В этом суть и цель разработки – создание высокопористого высокоэффективного фильтра с малым сопротивлением потоку из микроволокон (нановолокон), на поверхности которых нанесен проницаемый слой УНТ, обладающий оптимальной толщиной и проницаемостью для заданных условий эксплуатации. Оптимальные параметры слоя УНТ рассчитываются на основе теории тонкой фильтрации.

#### *Список используемой литературы*

1. Бураков, А.Е. Применение углеродных нанотрубок для повышения эффективности работы волокнистых фильтров сверхтонкого обеспыливания газов / А.Е. Бураков, И.В. Иванова, Е.А. Буракова, А.Г. Ткачев, В.П. Таров // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 649 – 650.
2. Кирш, В.А. Осаждение аэрозольных наночастиц в фильтрах из волокон с пористыми оболочками / В.А. Кирш // Коллоидный журнал. – 2007. – Т. 69, № 5. – С. 655 – 660.
3. Елецкий, А.В. Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе / А.В. Елецкий // УФН. – 2007. – Т. 177, № 3. – С. 233 – 274.
4. Андреев, Г.Б. Материалы, производимые по нанотехнологиям: потенциальный риск при получении и использовании / Г.Б. Андреев, В.М. Минашкин, И.А. Невский, А.В. Путилов // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52, № 5. – С. 32 – 38.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ, СОЗДАНИЯ МАЛО- И БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

<i>Абоносимов Д.О., Костылева М.А.</i> Диффузия солей тяжелых металлов через обратноосмотические мембраны .....	3
<i>Акулиничев А.М.</i> Исследование концентрирования солевых растворов обратным осмосом .....	6
<i>Vabenko E.A.</i> The development of low-and resource-saving technologies .....	9
<i>Бакунин Е.С.</i> Электрохимический синтез – путь снижения экологической нагрузки производства альтакса .....	12
<i>Баркан М.Ш., Маховиков А.Б., Кабанов Е.И.</i> Модернизация системы удаления твердых коммунальных отходов жилых территорий .....	16
<i>Баронин Г.С., Бузник В.М., Юрков Г.Ю., Дьяченко А.Н., Худяков В.В., Завражсин Д.О., Кобзев Д.Е., Мещерякова Ю.В.</i> Эксплуатационные свойства фторполимерных нанокompозитов, полученных из газофазной среды .....	20
<i>Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л., Фролов В.А., Беляев В.П.</i> Модификация битума регенератором резиновой крошки .....	29
<i>Бобылева Ю.А.</i> Выбор сырья для промышленного производства регенеративного продукта на матрице .....	35
<i>Богатырев А.Б., Филатов Д.В., Попов М.С., Меметов Н.Р.</i> Синтез углеродных наноматериалов в аппаратах с виброкипящим слоем катализатора .....	42
<i>Богомолов В.Ю.</i> Основные направления и проблемы использования отходов сырных производств .....	50
<i>Браяловский Г.Б., Дуев С.А.</i> Обезжелезивание и деманганация воды на хемосорбционных и мембранных фильтрующих элементах .....	54

<i>Воробьев Ю.В.</i> Молекулярная механоактивация углеводородных моторных топлив .....	60
<i>Гравин А.А.</i> Технология нанесения наномодифицированных гальванических оксидированных покрытий на алюминиевые теплоотдающие элементы энергетического оборудования для повышения их энергоэффективности .....	64
<i>Давыдова Д.В.</i> Оптический метод измерения концентрации углеродного наноматериала «Таунит» в растворе электролита оловянирования (Sn-Bi) .....	67
<i>Дахин С.В., Дроздов И.Г.</i> Тригенерационная водородная паротурбинная установка .....	70
<i>Дворецкий Д.С., Долгунин В.Н., Зюзина О.В., Муратова Е.И., Нагорнов С.А., Страинов Н.М., Хабарова Е.В.</i> Ресурсосберегающие технологии – основа конкурентоспособности современной пищевой и перерабатывающей промышленности .....	81
<i>Дворецкий С.И., Гладышев Н.Ф., Краснянский М.Н., Таров В.П., Галыгин В.Е.</i> Применение наноструктурированных хемосорбентов для удаления диоксида углерода в обитаемых космических объектах .....	94
<i>Ерохин Г.Н., Коновский В.В.</i> Надежность работы современных зерноуборочных комбайнов .....	101
<i>Ерохин Г.Н., Решетов А.С.</i> Оценка достаточности парка зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии .....	107
<i>Климов А.М., Рудобахта С.П., Нечаев В.М., Тепляков Ю.А.</i> Массоперенос при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов .....	112
<i>Климов Д.В., Кузьмин С.Н., Милованов О.Ю.</i> Гранулирование подстильно-пометной массы птицефабрик как основа устойчивого развития аграрно-промышленного сектора Тамбовской области .....	115
<i>Клинков А.С., Макеев П.В., Шашков И.В., Полушкин Д.Л.</i> Ресурсосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов .....	119

<i>Комбарова П.В., Баронин Г.С., Хабаров С.Н.</i> Энерго- и ресурсосберегающие твердофазные технологии получения изделий из полимеров и нанокompозитов на основе полиамида с предварительной пластификацией заготовки .....	129
<i>Котельникова И.В., Костылева М.А.</i> Исследование кинетических характеристик мембранного разделения растворов, содержащих поверхностно-активные вещества .....	134
<i>Кулаков В.Ю.</i> Технология получения наномодифицированных палладиевых покрытий с повышенной износостойкостью .....	138
<i>Лавренченко А.А., Головашин В.Л., Костылева М.А.</i> Электроультрафильтрационное разделение промышленных растворов биохимических производств .....	141
<i>Лазарев К.С., Ковалев С.В., Казаков В.Г.</i> Электрогиперфильтрационная очистка сточных вод от сульфата анилина .....	144
<i>Майстренко А.В., Майстренко Н.В., Вольщак И.Л.</i> Разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии непрерывного синтеза азопигментов ...	147
<i>Малонга О.Ш.</i> Оптимальное управление по квадратичному критерию процессами энерго- и ресурсосбережения .....	157
<i>Мещерякова Ю.В.</i> Исследование и анализ липидной фракции микроводоросли хлорелла .....	159
<i>Мигалатий Е.В., Насчетникова О.Б., Браяловский Г.Б., Дуев С.А.</i> Локальные установки водоподготовки – опыт разработки, внедрения и эксплуатации .....	164
<i>Мухин Р.Ю.</i> Метод увеличения теплоотдачи к водной среде за счёт добавления в гальваническое покрытие наномодифицированных материалов .....	172
<i>Нагорнов С.А., Малахов К.С., Печагин Е.А.</i> Получение биодизельного топлива при воздействии ферромагнитных частиц на реагенты в аппарате с вращающимся электромагнитным полем .....	175

<i>Nikolopoulos N., Grammelis P., Agraniotis M., Isemin R., Kuzmin S., Milovanov O., Mikhalev A.</i> Two-stage model of the reactor for straw low temperature pyrolysis .....	183
<i>Николюкин М.М., Соколов М.В., Клинков А.С.</i> Получение длинномерных заготовок из резиновой крошки .....	193
<i>Очнева А., Толстун А.</i> Исследование взаимодействия дрожжей <i>Saccharomyces cerevisiae</i> с углеродными наноматериалами .....	200
<i>Пахомов А.Н., Банин Р.Ю., Елисеева И.Г., Черных Е.А.</i> Формирование, развитие и характер структур наблюдаемых при сушке на подложке капель жидких дисперсных продуктов .....	203
<i>Пахомова Ю.В., Слюняева С.Ю., Тришакова Т.А., Сахарова Е.М.</i> Экспериментальные исследования свойств жидкой послеспиртовой барды .....	211
<i>Поляков Б.Е.</i> Разработка конструкции экспериментальной установки для получения высококачественных смесей сыпучих материалов .....	215
<i>Промтов М.А., Степанов А.Ю., Алешин А.В., Ионов Г.В.</i> Кавитационные технологии дезинфекции и очистки жидкостей .....	219
<i>Пыльнева Ю.И.</i> Современное состояние исследования методов и добавок, используемых для повышения антифрикционных свойств армированных композиционных материалов .....	228
<i>Романова Е.В., Колюх А.Н.</i> Энергосберегающая сушильная установка с тепловым насосом .....	231
<i>Ряшенцева И.А., Попова С.А.</i> Высокоэффективные органоминеральные материалы для поддержания заданной влажности воздуха .....	233
<i>Саятина В.</i> Исследование влияния углеродных наноматериалов на реологические свойства водно-дисперсионной краски .....	238
<i>Симагин Д.Н.</i> Метод нанесения наномодифицированных цинковых гальванических покрытий для защиты металлов от коррозии .....	241



<i>Слепов Д.С., Ткачев А.Г., Слепов С.К., Ткачев М.А., Меметов Н.Р.</i> Использование углеродных наноструктурных материалов как компонентов смесевых антидетонационных присадок .....	244
<i>Стегачева Ю.Н., Козачек А.В.</i> Технологии производства резин и образующиеся отходы .....	250
<i>Стегачева Ю.Н., Козачек А.В.</i> Классификация способов переработки резиновых отходов .....	258
<i>Сэрээтэрням Ц.</i> Доочистка сточных вод КОО «Предприятие Эрдэнэт» (Монголия) с целью повторного использования .....	268
<i>Татаринцева О.С., Орлова Н.В., Пятакова Н., Суслина А.</i> Влияние скорости охлаждения на качественные характеристики сульфаминовой кислоты .....	271
<i>Терещенко М.А., Мозговой И.Н.</i> Энергосберегающие высокоэффективные аппараты пульсирующего горения .....	276
<i>Uvarova O.A.</i> Application of the concept of ecologically conscious leadership in the management of industrial enterprises .....	282
<i>Усман Ф.Д., Соколов М.В.</i> Система прогнозирования акустическим методом износа инструмента при различных токарных обработках детали .....	285
<i>Фидаров В.Х.</i> Анализ погрешностей обработки на токарно-копировальном станке, оснащенный следящей системой с электромагнитными муфтами .....	292
<i>Хохлов И.Н.</i> Использование водорода, как добавка к основному углеводородному топливу в ДВС .....	301
<i>Шаповал О.А.</i> Методика проектирования вибропневмофлотатора .....	305

## **СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

<i>Безбородов П.Н.</i> Решения и технические регламенты таможенного союза ЕврАзЭС в регулировании оборота и импорта генетически модифицированной продукции .....	313
--	-----

<i>Железинская Н.В.</i> Медико-социальное значение ревматоидного артрита: актуальные проблемы .....	326
<i>Зейферт Д.В., Овсянникова И.В., Бибакова О.В.</i> Перспективы оценки токсического эффекта комплексного применения фармпрепаратов методом фитотестирования .....	337
<i>Kakiwa R.</i> Noise and vibration pollution on the natural resources .....	346
<i>Плотников М.Ю.</i> Система регенерации воздуха для герметичных обитаемых объектов .....	353
<i>Попов И., Попова М.</i> Пути снижения токсичности выбросов от автотранспорта на примере диоксида азота .....	358
<i>Тарасов А.В., Федотов Ю.А., Лепешин С.А., Панов Ю.Т., Тверской В.А., Васютинская А.В.</i> Разработка способа модификации микрофильтрационных полиамидных мембран с целью придания им бактерицидных свойств .....	362
<i>Таров А.В., Кузнецова А.А.</i> Перспективы совершенствования материалов аэрозольной очистки в системах индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания .....	371



Научное издание

**Международная  
научно-практическая конференция**

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ  
ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ  
ЭКОНОМИКИ, ПРИРОДЫ И  
ОБЩЕСТВА**

Сборник докладов

**Том 4**

Подписано к печати 28.05.2013.

Формат 60 × 84/16. 22,55 усл. печ. л. Тираж 82 экз. Заказ № 272

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии  
Издательско-полиграфического центра ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112 «А»