

---

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ**

***А.А. Войтеховский, В.А. Ветров, Б.Г. Львов***

*Московский государственный институт электроники и математики,  
Москва, Б. Трехсвятительский пер., д. 1-3/12, стр. 8. E-mail: voitalex@yandex.ru*

Современная тенденция повышения сложности вакуумного оборудования наряду с возрастающими требованиями к качеству и срокам проектирования создает ситуацию, в которой инженеру необходимо быстро производить расчеты на всех этапах проектирования. Одним из способов повышения эффективности труда разработчика является использование систем автоматизированного проектирования, позволяющих сократить сроки проектирования и его стоимость.

Анализ отечественного рынка программных продуктов показал, что на сегодняшний день системы автоматизированного проектирования вакуумных систем (ВС) на нем отсутствуют. Существующие системы, такие как "VacMaster", проводят часть необходимых проектных вакуумных расчетов. Среди зарубежных программных пакетов моделирования работы ВС можно выделить "Vactran" (Professional Engineering Computations, США) [1] и "VacSim Multi" (Softsim Ltd., Великобритания) [2]. Однако они обладают общими недостатками: неудобным графическим интерфейсом создания изображения принципиальной вакуумной схемы, отсутствием поддержки системы отечественных стандартов в области вакуумной техники, ограниченным выбором вакуумного оборудования и узким кругом решаемых задач.

Для повышения эффективности труда проектировщика с учетом указанных недостатков существующих программных продуктов разрабатывается система автоматизированного проектирования вакуумных систем (САПР ВС), позволяющая создавать принципиальную схему ВС, проводить вакуумные расчеты и моделирование ВС.

САПР ВС состоит из трех основных подсистем, взаимодействующих между собой: графической подсистемы, подсистем баз данных и моделирования.

Подсистема баз данных предназначена для создания, хранения и управления набором баз данных (БД) [3]. В процессе работы с системой проектировщик имеет возможность создавать пользовательские БД. При этом организована удобная передача данных между различными БД. Разделение БД на исходные и пользовательские позволяет проектировщику настраивать БД в соответствии со своими предпочтениями. Каждая БД содержит информацию о газах, материалах, применяемых в вакуумной промышленности, и элементной базе ВС.

Подсистема БД, помимо основных действий, присущих любой СУБД, позволяет просматривать статистику, контролировать версию БД, создавать и восстанавливать резервную копию, печатать запрашиваемую информацию.

Графическая подсистема предназначена для создания изображения принципиальной схемы ВС, которая является основой для формирования математической модели функционирования ВС. Построение изображения происходит в экранной форме, включающей в себя рабочее поле и инструментальные панели.

Рабочее поле, снабжено координатной сеткой и линейками, предусмотрено изменение его размеров, масштаба и настройка цветовой гаммы. При выводе на печать рабочее поле дополняется титульным штампом, содержащим информацию о проекте.

Для моделирования работы ВС в разрабатываемой САПР предусматривается подсистема моделирования [4]. Объектом моделирования в ней являются потоки газа. После формирования изображения принципиальной схемы ВС предполагается проведение общей проверки на наличие случайных ошибок составления схемы (отсутствие сопряжения и назначенных параметров элементов ВС) и проверки на совместимость элементов между собой.

Характерной особенностью подсистемы моделирования будет являться использование встроенного набора команд, имитирующих поведение оператора или системы управления вакуумного оборудования (включение насоса, открытие клапанов и т.д.).

Помимо описанных подсистем САПР ВС содержит модули определения газовой нагрузки [5] и преобразования физических единиц. Предполагается расширение номенклатуры модулей.

Создаваемый программный продукт будет востребован предприятиями различного масштаба, деятельность которых связана с проектированием вакуумного оборудования. Разрабатываемая САПР может использоваться в машино- и приборостроении, пищевой и металлургической промышленности, материаловедении, медицине и других сферах, использующих вакуумное оборудование.

## **Литература**

1. Vactran Vacuum Technology Software [Электронный ресурс] / Professional Engineering Computations. – Электрон. дан. – Livermore, CA, USA: Professional Engineering Computations, 2006. – Режим доступа: <http://www.vactran.com>. – Загл. с экрана.
2. Vacsim<sup>TM</sup> & Vacsim Multi<sup>TM</sup> [Электронный ресурс] / Softsim Ltd. – Электрон. дан. – Cambridge, UK: Softsim Ltd., 2005. – Режим доступа: <http://www.softsim.com/tsl/vacsim.asp>. – Загл. с экрана.
3. Войтеховский А.А., Ветров В.А., Львов Б.Г. Информационная вакуумная система // Матер. Второй Российской студ. науч.-тех. конф. "Вакуумная техника и технология". – Казань: КГТУ, 2005. – С. 38.
4. Ветров В.А. Моделирование вакуумных систем // Матер. студ. науч.-тех. конф. МИЭМ. – М.: МИЭМ. – 2004. – С. 458–459.
5. Войтеховский А.А., Ветров В.А. Автоматизированное определение газовой нагрузки при расчете вакуумных систем // Матер. студ. науч.-тех. конф. МИЭМ. – М.: МИЭМ, 2005. – С. 390.

## КРИТЕРИЙ КАТОДНОГО МЕХАНИЗМА ИНИЦИИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ В ВАКУУМЕ

*Е.А. Емельянова, А.А. Емельянов*

*ОрелГТУ, Орел, Наугорское шоссе, 29. E-mail: catherine.emelyanova@gmail.com*

Катодный механизм пробоя в вакууме связан с разрушением эмитирующего микровыступа током и при длительностях импульсов  $t_{\text{и}} > 10^{-6}$  с определяется достижением микронапряженностью  $E$  критического значения  $E_{\text{кр}}$

$$E = E_{\text{кр}} \quad (1)$$

При  $t_{\text{и}} < 10^{-6}$  с величины, входящие в критерий катодного инициирования (1), оказываются функциями времени воздействия

$$E(t_{\text{и}}) = E_{\text{кр}}(t_{\text{и}}). \quad (2)$$

Для оценки катодного механизма следует сопоставить абсолютные значения напряженностей  $E$  и  $E_{\text{кр}}$ , погрешность определения которых ограничивает точность оценки. Точность можно повысить, если при сравнении перейти от абсолютных величин к относительным. Переход к относительным величинам исключает абсолютную ошибку измерений.

Целью исследования является разработка критерия катодного механизма инициирования пробоя, исключающего абсолютную ошибку измерений.

При катодном инициировании в результате какого-либо воздействия на катод меняется не только состояние поверхности, но и электрическая прочность  $E_0$ . Поверхность характеризуется коэффициентом усиления  $\beta$  поля на микроненормоднородностях. В качестве относительных величин, определяющих степень воздействия на катод, можно использовать коэффициенты изменения качества поверхности

$$K_{\beta} = \beta_1 / \beta_2 \quad (3)$$

и электрической прочности

$$K_U = U_2 / U_1, \quad (4)$$

где  $\beta_1$ ,  $U_1$  и  $\beta_2$ ,  $U_2$  – значения коэффициента усиления и напряжения поля, соответственно, до и после воздействия.

Наилучшее качество поверхности и наивысшая электрическая прочность изоляции достигаются при оптимальных режимах, когда длительность импульсов, воздействующих на вакуумный промежуток, равна времени запаздывания пробоя  $t_{\text{и}} = t_3$ . При кондиционировании электродов импульсами  $t_{\text{и}} = t_3$  состояние поверхности определено электрической прочностью [1]

$$\beta = 1,28 \cdot 10^9 E_0^{-0,9} \Big|_{t_{\text{и}}=t_3}. \quad (5)$$

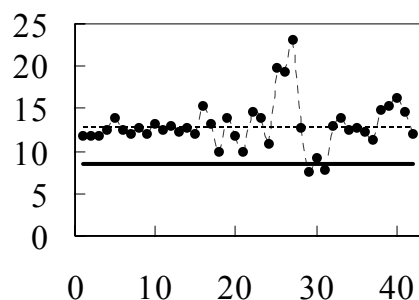
Используя представление микронапряженности электрического поля через усиленную микровыступом макронапряженность

$$E = \beta E_0, \quad (6)$$

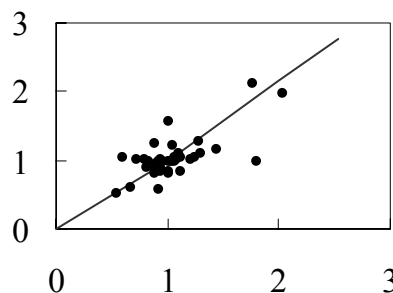
с учетом выражений (3) – (5) можно представить критерий (2) в виде

$$\left. \frac{K_{\beta}}{K_U^{0,9}} \right|_{t_{и}=t_3} = 1 \quad (7)$$

При проверке критерия (7) использованы экспериментальные данные для оптимальных режимов кондиционирования импульсами  $t_{и} = 50$  нс [2].



**Рис. 1.** Изменение микронапряженности электрического поля с числом импульсов.



**Рис. 2.** Зависимость изменений электрической прочности от изменения качества поверхности.

На рис. 1 представлено изменение микронапряженности электрического поля с числом импульсов. Сопоставление среднего  $\overline{\beta E}_0 = 1,31 \cdot 10^{10}$  В/м и критического  $E_{кр} = 8,55 \cdot 10^9$  В/м [1] значений, согласно (2), подтверждает катодный механизм с погрешностью 35%.

На рис. 2 представлено относительное изменение электрической прочности как функция относительного изменения состояния поверхности. Экспериментальные точки удовлетворяют степенной зависимости

$$K_U = K_{\beta}^{1,1} \quad (6)$$

подтверждая катодное инициирование с погрешностью 20%.

Предложен новый критерий катодного инициирования импульсного пробоя в вакууме. Точность оценки по предложенному критерию превысила точность известного критерия на 75%.

## Литература

- 1 Емельянов А.А. Запаздывание пробоя в вакууме // ЖТФ, 2003. т.73, N 8, С.113-119
- 2 Емельянов А.А., Кассиров Г.М. О прогнозировании электрической прочности вакуумного промежутка на импульсном напряжении // Всесоюзный симпозиум по ненакаливаемым катодам. Томск, 1977. – С. 39-40.

## **БЕССПЕКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУУМ-ПЛОТНОЙ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ ВК100-2**

**О.Д. Амелина, С.Б. Нестеров**

ФГУП «НИИВТ им. С.А.Векшинского», Москва, Нагорный проезд, 7.

E-mail: sbnesterov@niivt.ru

Вакуум-плотные керамические материалы непроницаемы для газов при температурах до 1600<sup>0</sup>С и давлениях до 10<sup>-9</sup>–10<sup>-10</sup> мм.рт.ст., пропускают с весьма малым поглощением электромагнитные колебания высоких и сверхвысоких частот, обладают большой механической прочностью и могут работать в условиях высокого вакуума в широком интервале температур. Их важной особенностью является способность образовывать вакуумно-плотные высокотемпературные соединения с металлами.

В производстве керамики ВК100-2 используется технический глинозем, который представляет собой смесь  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -форм  $Al_2O_3$ . Он содержит нежелательные примеси щелочей, губительным образом сказывающиеся на электрофизических свойствах получаемой керамики. Это обстоятельство требует предварительного приготовления спека исходных компонентов для получения минералогически однородного материала, состоящего из термически устойчивой  $\alpha$ -формы  $Al_2O_3$ , уменьшения пористости изделий и количества примесей. Данная операция является дорогой и трудоемкой.

Без проведения предварительного обжига можно использовать глиноземы, которые в своем составе имеют преимущественно  $\alpha$ -форму, например, ГН-1, ГЛМК (легированный 0,25% MgO). В настоящее время производство глинозема марки ГЛМК отечественной промышленностью ограничено, но стабильно выпускается неметаллургический глинозем ГН-1 с массовой долей  $\alpha$ -формы  $Al_2O_3$  не менее 95% и низким содержанием примесей щелочных металлов. Применение этого сырья в производстве вакуум-плотной корундовой керамики ВК100-2 предопределяет переход от традиционной спековой к беспспековой технологии.

Технологический процесс беспспековой технологии керамики ВК100-2 с использованием глинозема ГН-1 без изменения шихтового и фазового составов содержит следующие этапы:

1. Помол глинозема.
2. Смешивание исходных компонентов шихты.
3. Приготовление формовочной массы.
4. Формование изделий.
5. Обжиг изделий.

В качестве минерализатора в керамической шихте содержится оксид магния – MgO в количестве 0,3мас. %.

Предпочтительнее всего для тонкого распределения порошка минерализатора использовать мокрый помол. Добавку вводят в глинозем в виде растворимой соли магния, разлагающейся в процессе спекания материала до MgO. Трудной задачей при этом становится сохранение достигнутого в растворе равномер-

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

ного распределения добавки, так как в процессе сушки она транспортируется на поверхность коржа. В виду этих технологических особенностей в своей работе я осуществила схему смешивания глинозема с добавкой в сухом состоянии. Для получения тонкодисперсного порошка минерализатора реализована золь-гель технология, которая была разработана на кафедре керамики РХТУ имени Д.И.Менделеева. Ее технологический процесс состоит из следующих этапов:

1. Приготовление растворов солей.
2. Приготовление геля (добавление поливинилового спирта к раствору).
3. Гомогенизация.
4. Сушка (получение ксерогеля).
5. Прокаливание ксерогеля (получение тонкодисперсного порошка добавки).

Из растворимых солей уксуснокислого магния и нитрата магния получен порошок  $MgO$ , а из смеси солей хлористого алюминия и нитрата магния синтезирована добавка, предположительно состоящая из  $Al_2O_3$  и алюмомagneзиальной шпинели  $MgAl_2O_4$ , в количестве 1% от массы шихты. Кроме этого, использованы в чистом виде хлористый магний и оксид магния. Для сравнительной характеристики свойств керамического материала, получаемого по традиционной и беспечковой технологии, были отлиты опытные образцы из производственной массы завода «Поликор». Образцы, приготовленные по беспечковой технологии, формовались односторонним прессованием. Обжиг полуфабрикатов проведен в воздушной среде при  $1670^{\circ}C$ ,  $1700^{\circ}C$  и  $1730^{\circ}C$ .

С ростом температуры плотность керамического материала, его линейная огневая усадка и предел прочности закономерно возрастают. Самые плотные образцы получились из производственной массы. При температуре  $1730^{\circ}C$  их плотность составила  $3,87 \text{ г/см}^3$ . Низкие показатели плотности у образцов, приготовленных по беспечковой технологии, предопределились методом их формования. Прессование не может обеспечить высокую плотность керамического материала. Наиболее плотная керамика получилась с добавкой  $MgCl_2$  в качестве минерализатора (при  $1730^{\circ}C$   $\rho=3,82 \text{ г/см}^3$ ). С повышением пористости все прочностные характеристики керамики снижаются. Поэтому  $\sigma_{изг}$  у образцов, приготовленных по спековой технологии, существенно выше, чем  $\sigma_{изг}$  образцов, приготовленных по беспечковой технологии.

Способ формования методом горячего литья под давлением наиболее выгоден для получения полуфабрикатов с высокой плотностью. При использовании этого метода формования в беспечковой технологии можно существенно повысить керамические, электрофизические и прочностные свойства материала ВК100-2. Беспечковая технология является прецизионной технологией по сравнению с традиционными методами производства керамики ВК100-2.

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ ПОВЫШЕНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В АТМОСФЕРУ

А.Г. Чугунов, А.А. Филь, Л.Н. Орликов

ТУСУР, Томск, пр.Ленина, 40. E-mail: ng@muma.tusur.ru

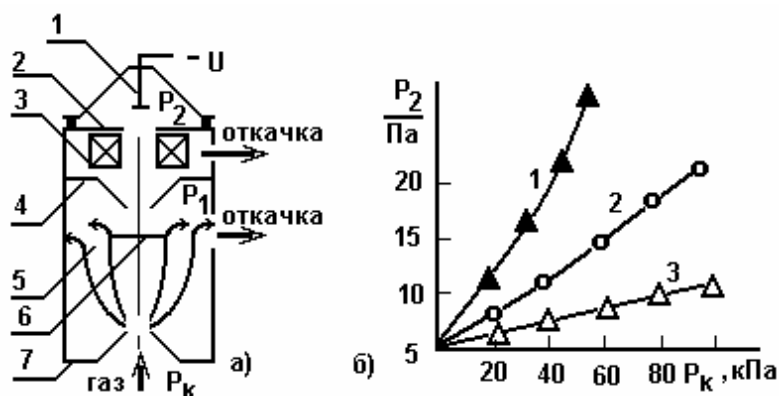
**Аннотация.** Рассматривается повышение эффективности откачки устройства для вывода стационарного электронного пучка с энергией до 100 кэВ в атмосферу с помощью электрического разряда и выводимого пучка.

**Введение.** Электронные пучки в газе с энергией до 100 кэВ применяются для полимеризации, конверсии газов, для возбуждения лазерных сред. Исходя из минимума энергетических затрат пучки выводят через газодинамические окна (ГДО), в виде автономно откачиваемых камер с элементами различной формы вокруг выводных отверстий для реализации газодинамических эффектов, улучшающих перепад давления.

**Суть проблемы.** Применение ГДО требует мощности откачки 5-10 кВт/мм<sup>2</sup> площади отверстия для поддержания вакуума в источнике электронов. Реализация газодинамических эффектов при давлениях менее единиц мм рт ст становится проблематичной в виду разреженности газа. Потери тока при этом составляют ~50% на каждом отверстии. При уменьшении расстояния между элементами потери тока уменьшаются, но струя газа пролетает мимо камеры промежуточной откачки, почти не откачиваясь.

**Метод решения проблемы.** Предлагается использовать газовый разряд в ГДО и сам выводимый пучок для изменения параметров газовой струи. В разряде и в пучке газ нагревается, горячая струя более широкая, в газовом разряде меняются параметры газа.

**Экспериментальные исследования.** Комплекс для вывода пучка представлен на рис.1.



**Рис. 1. а)** комплекс для вывода электронного пучка. 1- катод, 2- анод, 3- магнитные линзы, 4,7- элементы ГДО; 5,6- скачки давления; **б)** зависимость давления в источнике электронов от давления в камере: 1- без пучка, 2- с пучком 20 кВ, 50 мА; 3- пучок с разрядом.

При обеспечении давления в источнике электронов 1-10 Па и подаче на холодный алюминиевый катод 1 высокого напряжения 20-30 кВ в системе возникает высоковольтный тлеющий разряд. Ионы из плазмы разряда бомбардируют алюминиевый катод, из которого выбивают электроны. Электронный пучок током до 100 мА фокусируется в отверстия ГДО диаметром 0,8 мм и выводится в камеру с газом. Газ поступает в ГДО и откачивается насосом НВПР-16, остальной газ откачивается из объема электронного источника насосом НВПР-16. Перепад давления оценивается отношением давления в камере к давлению в источнике электронов.

### **Полученные результаты**

При зажигании разряда в ГДО с элемента 7 вследствие развала струи давление в источнике электронов уменьшается от 10 до 5 Па.

Зажигание локального тлеющего разряда (600В, 400мА), ограниченного сеткой, приводит к отклонению газового потока вследствие термобароэффекта, при котором разность температур вызывает разность давлений. При этом элемент 4 находится в статическом давлении и его форма вообще не влияет на перепад давления через ГДО. Отклонение потока газа позволило сблизить элементы ГДО до 2-3 диаметров выводных отверстий и уменьшить общие потери тока до 30% и повысить загрузку насоса, откачивающего ГДО.

Выводимый пучок может улучшать или ухудшать создаваемый перепад давления. В докладе приводится схема изменения параметров газа в ГДО, согласно которой, поток газа, втекающий в ГДО, ускоряется до сверхзвуковых скоростей и его давление и температура уменьшаются. Перед элементом ГДО (4) поток тормозится, его температура повышается, что ведет к повышению пропускной способности отверстия. Положительное или отрицательное влияние пучка и разряда зависит от протяженности дозвукового и сверхзвукового участков.

Совместное применение тлеющего разряда и выводимого пучка позволяет некоторое время (5 мин) поддерживать вакуум в источнике электронов на уровне 10 -80 Па вообще без откачки источника электронов при выводе пучка в атмосферу через отверстие диаметром 0,8 мм и откачке ГДО насосом НВПР-16.

### **Литература**

1. Орликов Л.Н. Вопросы теории и практики вывода в газ электронных пучков. Томск, ТГУ, 2002, 150 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М. Наука, 1976

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ ВАКУУМНО-ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ**

**О.В. Смирнова, А.В. Гаврилов, В.Ф. Мадякин**

*КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: vacuum-ag@hotmail.ru*

Большинство изготавливаемых столярных изделий предназначается не только для технологических целей, но и для украшения помещений, зданий и



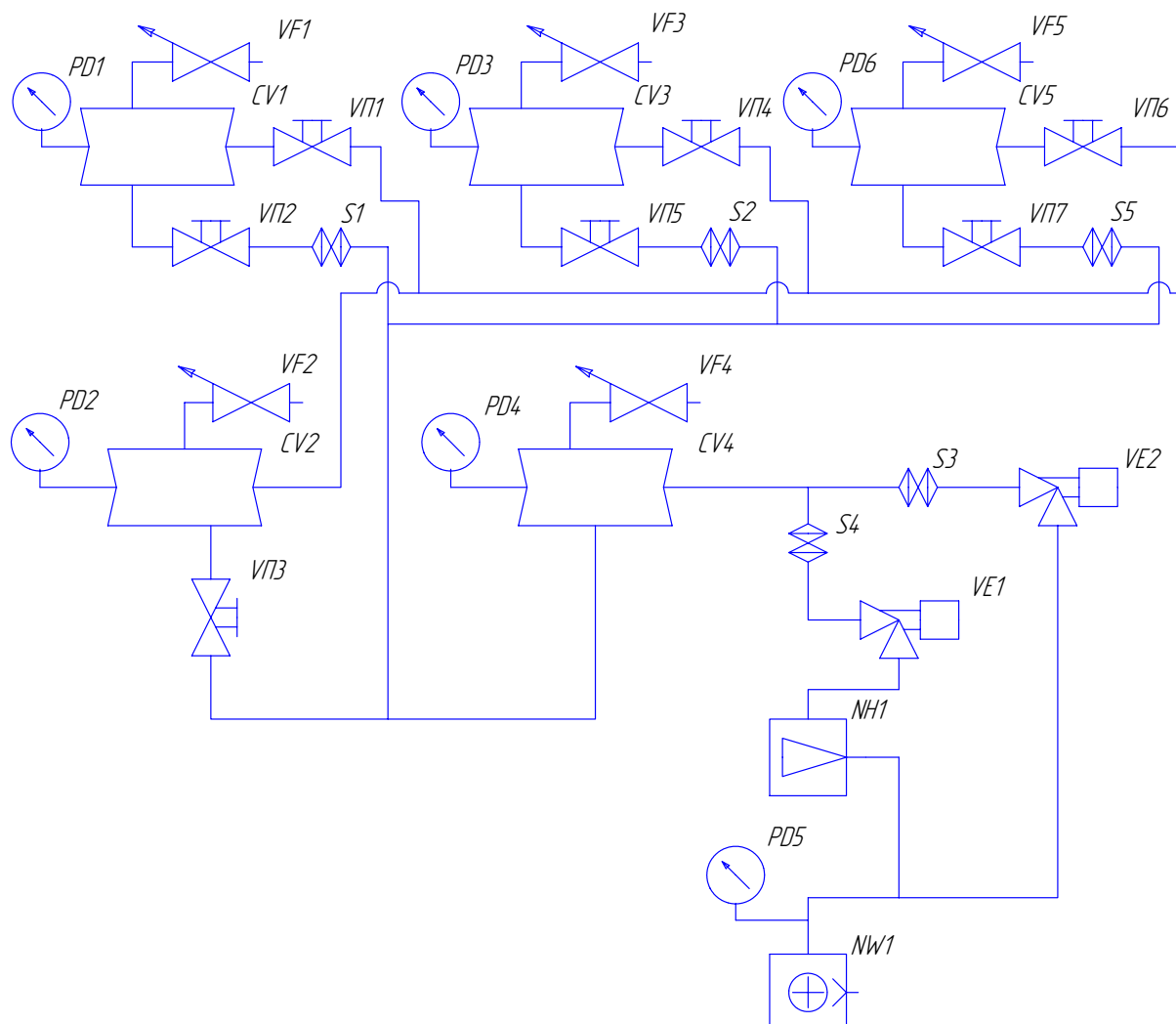
**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

сооружений. Они эксплуатируются в различной обстановке и различных условиях. Длительная сохранность изделий из древесины обеспечивается обработкой.

Обработка древесины лакокрасочными материалами, антисептиками и антипиренами представляет собой совокупность технологических операций по нанесению, сушке и облагораживанию этих покрытий.

В настоящее время, наряду с ручными методами отделки, лакокрасочные материалы наносят методами: облива, экструзии, на вальцевых станках, окунанием, пневматическим и безвоздушным распылением, в электрическом поле токов высокого напряжения и др.

При формировании покрытий по древесине, наиболее распространенным остается пневматическое распыление. Благодаря универсальности и простоте метода пневматическими краскораспылителями наносится около 70% покрытий. В тоже время, следует отметить существенные недостатки метода распыления: большие потери лакокрасочных материалов (до 40-55%); значительный расход электроэнергии; загрязнение воздуха в отделочном помещении.



**Рис. 1.** Вакуумная схема экспериментального стенда

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

В этой связи, заслуживает внимания метод окунания. Основными преимуществами этого метода являются высокая производительность труда; экономия лакокрасочных материалов, получение достаточной толщины пленки при однократном нанесении лака или эмали; улучшение санитарного состояния в цехе вследствие сведения потерь лакокрасочных материалов до минимума.

В плане получения качественных покрытий образцов древесины заслуживает внимания использование давления или чередование вакуума и давления.

Кроме того, применение вакуума, вследствие герметичности оборудования еще в большей степени, по сравнению с методом окунания, позволит сократить выделение в атмосферу токсичных паров растворителей.

С учетом вышеизложенного, нами была спроектирована экспериментальная установка для исследования процесса пропитки изделий из древесины с использованием вакуумно-импульсной технологии.

В комплект опытной установки (рис.1) входят четыре сообщающихся сосуда (*CV1*, *CV2*, *CV3*, *CV5*) цилиндрической формы с коническим днищем объемом около 20 л каждая, имеющих рубашку для обогрева, водокольцевой вакуумный насос *BВН-1,5 – NW1* с предвключенным воздухо-воздушным эжектором *NH1* и ресивер *CV4*. В один сосуд помещается образец древесины, закрепленный в металлическую рамку, наклоняющуюся на различные углы, в остальные – подготовленные растворы лакокрасочного материала, антисептика и антипирена с заданной вязкостью, которые перед процессом пропитки подвергаются дегазации через вентили *VP2*, *VP5*, *VP7*.

Необходимое разрежение в сосуде с образцом ( $P_{\text{ост}} \sim 15 \div 20$  мм.рт.ст.) создается либо медленно путем откачивания воздуха с помощью насоса, либо быстро через ресивер.

Образец выдерживается под вакуумом заданное время, после чего посредством шаровых кранов *VP1*, *VP4*, *VP6* открывается сообщение с любым из сосудов, в которых находятся растворы рабочих жидкостей при атмосферном давлении. За счет перепада давления раствор засасывается в сосуд с исходным образцом, где он термостатируется при определенной температуре в течение заданного времени, впитываясь поверхностью древесины. Далее открывается напускной клапан *VF2* и в камере *CV2* происходит резкое повышение давления до атмосферного, в результате чего раствор проникает на большую глубину.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ  
ПОДЛОЖЕК 6H-SiC В ВАКУУМЕ**

***А.И. Алябьева, О.А. Агеев, Д.И. Чередниченко, Е.Ю. Гусев***

*Технологический институт Южного федерального университета,  
Таганрог, пер. Некрасовский, 44. E-mail: ageev@fep.tsure.ru*

В условиях совершенного роста кристаллов внесение дефектов в структуру происходит на этапах механической подготовки подложек. Обеспечение вос-

производимого формирования и стабильности структур нанометрового размера стало ключевой проблемой технологических процессов изготовления элементов ИС современной электроники. Требуется обеспечить низкую шероховатость поверхности подложек, которая должна быть значительно меньше, чем характерные размеры элементов и в пределе являться атомарно-гладкой. Это требование определяет необходимость применения подложек с рельефом поверхности, близким к атомарно-гладкому. Привлекательность использования в качестве материала подложек карбида кремния объясняется высокой физико-механической стабильностью последнего и химической инертностью по отношению к формируемым элементам. Однако особенности физико-механических и физико-химических свойств этих материалов затрудняют получение подложек подобного качества. Проведенный анализ методов обработки показал перспективность использования в качестве технологического инструмента высококонцентрированные потоки заряженных частиц в вакууме приводящих к тепловому воздействию на материал.

В работе исследовалась технология подготовки подложек 6H-SiC методом электронно-лучевой обработки (ЭЛО), основанного на применении сканирующих потоков электронов низких энергий.

Для того чтобы выяснить механизм модификации поверхности карбида кремния, прежде всего, необходимо определить распределение температуры в зоне воздействия луча, формирующееся в результате неупругого торможения электронов в приповерхностной области. Следовательно, анализ процесса ЭЛО может быть произведен на основе решения уравнения теплопроводности.

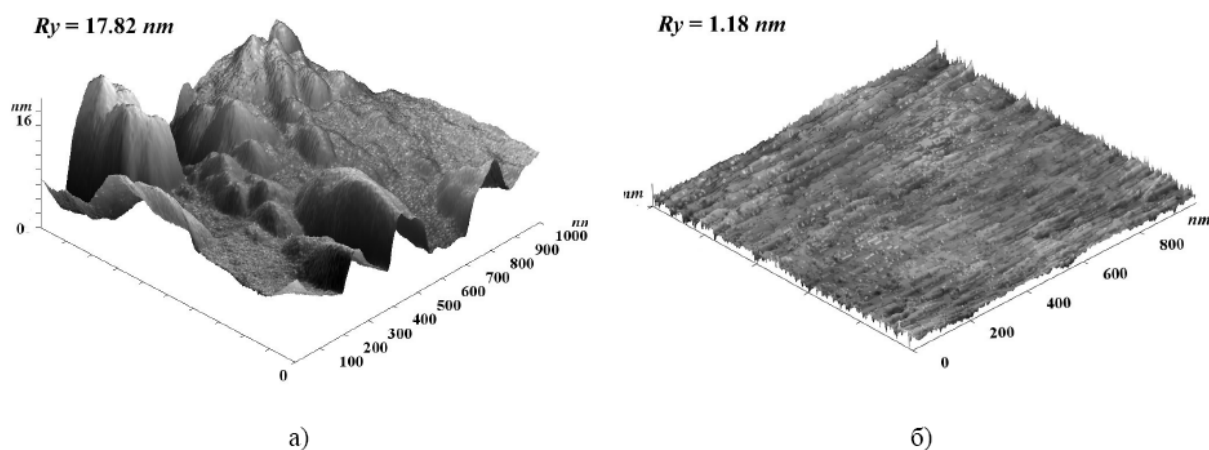
Аналитическое решение задачи формирования зоны расплава на поверхности твердого тела при воздействии подвижного источника тепла, возможно, лишь при некоторой идеализации процесса нагрева. Нагрев считался одномерным, что возможно, когда отношение зоны термического влияния впереди луча к глубине термодиффузии под источником оказывается меньшим единицы. Зона воздействия электронного луча разбивалась на три характерные области: подогрева материала (буферного слоя) до температуры плавления, область формирования расплава, и нахождения в перегретом состоянии. Для избежания генерации больших термонапряжений материал (структура) должна подвергаться предварительному подогреву.

В ходе моделирования процесса ЭЛО расчеты показали, что расплав и поверхность SiC подложки в пределах области занятой жидкой фазой может быть перегретыми до температуры существенно выше точки плавления кремния. Температурный режим в зоне обработки весьма чувствителен к параметрам луча, толщине подложки и скорости сканирования источника электронов.

Экспериментальные исследования проводились на подложках 6H-SiC в соответствии с разработанной технологией ЭЛО на специализированной установке по электронно-лучевой обработке. Морфология поверхности подложек до и после обработки изучалась методом атомной силовой микроскопии (АСМ) с использованием сканирующего зондового микроскопа Solver P47 Pro и многофункционального сверхвысоковакуумного нанотехнологического комплекса

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

НАНОФАБ НТК-5 производства ЗАО «Нанотехнология МДТ» (г. Зеленоград). Экспериментальные исследования показали, что значение среднеквадратической шероховатости поверхности при ЭЛО уменьшилось более чем на порядок и составило единицы ангстрем на площади  $5 \times 5 \text{ мкм}^2$  (рисунок). В теоретических исследованиях также проводилась оценка механических напряжений, формирующихся на различных обработки и оптимизация экспериментальных режимов ЭЛО. Выявлено, что наличие механических напряжений в подложке также стимулирует процессы модификации поверхностного слоя.



**Рисунок.** АСМ-изображения поверхности 6H-SiC (0001̄).  
а) до и б) после ЭЛО  $R_y$  – размах высот.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что подготовка подложек 6H-SiC по разработанной технологии с применением метода ЭЛО позволяет получать морфологию их поверхностей близкую к атомарно-гладкой. Поверхности пригодны для воспроизводимого изготовления стабильных приборов и устройств современной наноразмерной электроники.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КАДМИЕВОГО ПОКРЫТИЯ В ВАКУУМЕ**

**В.Г. Сапожников, О.И. Хоменко, Т.Т. Ереско**

*Сибирский государственный аэрокосмический университет имени М.Ф. Решет-  
нева, Красноярск, просп.им.газеты "Красноярский рабочий", 31*

*E-mail: Waleriahrapunova@sibsau.ru*

В качестве физической защиты от коррозии деталей из высокопрочной стали широкое распространение получило кадмиевое покрытие. Гальваническое кадмирование, обеспечивающее хорошую защиту от коррозии, малоприспособно для ответственных деталей космических аппаратов, самолетов и других изделий, требующее 100 % надёжности.

***Секция 3. Вакуумные установки и технологии***

Вызвано это тем, что высокопрочные стали при гальванической обработке, взаимодействуя с растворами кислоты и щелочей, наводораживаются и становятся хрупкими.

Этот недостаток полностью устраняется применением вакуумных технологий для нанесения кадмия.

В данной работе отражены особенности нанесения кадмиевых покрытий на крепёжные детали из высокопрочных сталей.

Основные требования предъявляемые к покрытию деталей:

- Толщина 15-20 мкм.
- Отсутствие водородной хрупкости
- Покрытие не должно вспучиваться, отслаиваться
- Пористость покрытия, нанесенного в вакууме, должна быть примерно такой же, как при гальваническом покрытии

Технология разработана с учётом возможностей оборудования, имеющегося в наличии на данный момент времени, в частности вакуумных метаталлизационных установок.

В нашем случае выбрана вакуумная установка УВ-1200, в которой произведена модернизация внутренней оснастки для закрепления деталей и испарительной системы.

Технологическая характеристика установки:

- Диаметр камеры 1200 мм
- Длина цилиндрической части камеры – 2000 мм
- Рабочее давление в камере –  $6.5 \cdot 10^{-2}$  Па.
- Диапазон скоростей вращения центрального вала – 0÷40 об/мин.

Исходя из анализа существующих технологий кадмирования, выбран процесс нанесения кадмия через тонкий подслоя олова, позволяющий повысить прочность соединения покрытия и его защитные свойства.

Внекамерная подготовка поверхности проводилась в следующем порядке;

1. промывка в горячей воде;
2. пескоструйная обработка карбидом кремния или корундом;
3. контроль качества пескоструйной обработки всех деталей;
4. промывка в органическом растворителе.

Предварительно подготовленные детали устанавливаются в гнезда барабана, которые вращаются вокруг собственной оси и оси барабана.

Испарения олова и кадмия осуществляется термическими методами из лодочек.

Материал испарителя: сталь 12Х18Н10Т кадмий и молибден для олова.

Технология нанесения покрытия заключается в следующем: барабан с деталями помещаем в рабочую камеру и производим откачку до давления порядка 0,13 Па. Далее включаем нагреватели и доводим температуру деталей до 300°С, с одновременной откачкой камеры до давления примерно  $0,6 \cdot 10^{-2}$  Па. Процесс дегазации длится 35÷40 минут.

Далее отключаем нагреватели и охлаждаем детали до температуры напыления олова.

Режим нанесения олова:

- температура деталей 180 – 200°C;
- температура испарителей 1200 – 1300°C;
- давление в камере  $1,3 \cdot 10^{-2}$  Па;
- время нагревания 10 ÷ 15 мин.

После нанесения подслоя олова отключаем испаритель и охлаждаем детали до температуры нанесения кадмия.

Режим кадмирования:

- температура деталей 100 – 150°C;
- температура испарителей 450 – 500°C;
- остаточное давление  $1,3 \cdot 10^{-2}$  Па;
- время нагревания 40 ÷ 50 минут.

После нанесения кадмия охлаждаем детали до температуры 80 – 100° С, закрываем вакуумный затвор и производим напуск воздуха в камеру.

Качество покрытия определяем визуально на деталях, осуществляя 100 % контроль.

Измерение толщины покрытия производим капельным методом, а адгезию – методом насечек на образцах-свидетелях.

### **Литература**

1. И. Л. Ройх Л. Н. Колтунова С. Н. Федосов Нанесение защитных покрытий в вакууме. Москва, Машиностроение, 1976 г.
2. Вакуумное оборудование тонкопленочной технологии производства изделий электронной техники: Учебник / Н.В. Василенко, Е.Н. Ивашов, Л.К. Ковалев и др.; под ред. Проф. Л.К. Ковалева, Н.В. Василенко: в 2 т. – Красноярск: Кн.изд-во; Сиб. аэрокосм. акад., 1995

## **ГЕРМЕТИЗАЦИЯ КОРПУСОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ОДНОВРЕМЕННЫМ НАПОЛНЕНИЕМ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ШОВНОЙ СВАРКИ**

**О.Б. Антонович, Т.Н. Соколова, В.П. Шумарин**

*СГТУ, г. Саратов, Политехническая, 77. E-mail: pribor-t@mail.ru*

Надежность и долговечность работы специальных СВЧ устройств твердотельной технике зависит от коррозионной стойкости элементов схем, смонтированных внутри корпуса. Для улучшения работы СВЧ устройств предлагается заполнение внутрикорпусного объема инертным газом, с одновременной заваркой корпусов лазерным излучением.

Фильтры предназначены для "очистки" принимаемого сигнала. Существуют 1-, 2- и более частотные фильтры, которые выделяют чистый сигнал или

сигналы из всего принимаемого спектра. По виду частотной характеристики фильтры разделяются на фильтры нижних частот (ФНЧ), фильтры верхних частот (ФВЧ), полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ), полосно-пропускные фильтры (ППФ). Задача оптимального расчета фильтра практически сводится к синтезу и состоит в том, чтобы получить оптимальную схему фильтра, удовлетворяющую заданной частотной характеристике. При расчете фильтров оптимальными частотными характеристиками рабочего затухания являются чебышевская или максимально плоская.

Чебышевская характеристика:

$$a = 10 \lg[1 + h^2 + T_n^2(\omega')], \text{ [дБ]}$$

Максимально плоская характеристика:

$$a = \lg[1 + h^2 (\omega')^{2n}], \text{ [дБ]}$$

Фильтры используются в локационных и навигационных системах.

Конструкция фильтра:

Фильтр состоит из крышки и основания, которые изготавливаются из кобальта. На основании фильтра размещен звукопровод, выполненный из пьезокварца или ниобата лития, с нанесенной на него топологией. Звукопровод соединен с выводами (ножками) при помощи контактной сварки золотыми проводниками.

Для герметизации таких твердотельных приборов, как фильтр используется лазерная шовная импульсная сварка. Ее применение обусловлено высокими требованиями к качеству соединения (шов должен быть вакуумноплотным), конфигурацией фильтра (округлые торцевые поверхности); плюс ко всему размещением на корпусе очень хрупких выводов. Т.е. требуется сварка минимальным механическим воздействием. Лазерная шовная импульсная сварка этим требованиям полностью удовлетворяет.

Требования к вакуумноплотному шву:

Герметичные швы не должны иметь подрезов, выплесков, кратеров, шлемов, трещин, свищей и пор. Сварные герметичные соединения должны сохранять герметичность в процессе их изготовления, эксплуатации и хранения, быть стойкими к воздействию климатических, биологических факторов и к воздействию специальных сред согласно ГОСТ 20.57.406 – 81.

Технологический процесс сварки корпусов фильтров в контролируемой среде состоит из следующих операций:

Уже собранные фильтры поступают на операцию сварка. Фильтр протирают, смоченной в спирте салфеткой из ткани х/б. Сначала сварка производится по трем сторонам в обычной атмосфере. Затем фильтр помещают в вакуумную камеру, где давление,  $p = 10 \text{ Па}$ , обеспечивается насосом марки 2НВР – 5ДМ и производится откачка воздуха изнутри фильтра. Откачка производится в течение

10–15 мин после достижения давления по вакуумметру от 2,66 до 1,33 Па и сопровождается нагревом. После чего подается аргон, которым заполняется все внутреннее пространство прибора. Производится вторичная откачка, с целью удаления остатков воздуха (после нее, как правило, окончательно выводится весь воздух). Затем производится конечная закачка аргона, после чего заваривается оставшаяся сторона фильтра.

В последствии фильтр передается на следующую операцию контроля. Контроль качества герметичности шва производится пузырьковым методом, который состоит в следующем:

Фильтр опускают в дистиллированную воду, температурой 80 °С. По наличию пузырьков газа определяют герметичность.

В процессе разработки технологического процесса лазерной герметизации фильтров были созданы специализированная оснастка для заварки фильтров в пакете, позволяющая производить поворот пакета фильтров при последовательной сварке всех четырех сторон фильтра.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ «ВОДОРОДНОЙ БОЛЕЗНИ» В МАТЕРИАЛЕ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ И РАЗРАБОТКА ВАКУУМНЫХ МЕТОДОВ ИХ УСТРАНЕНИЯ**

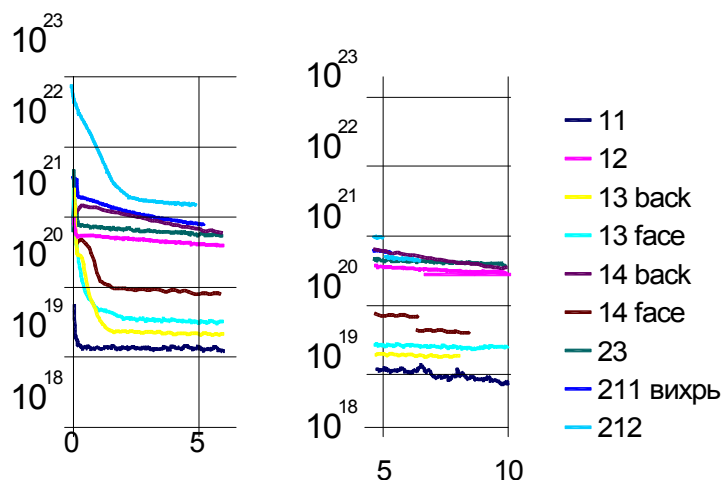
*А.М. Мирзоев, А.М. Мирзоев, Е.А. Деулин*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5. E-mail: jmirzoev@mail.ru*

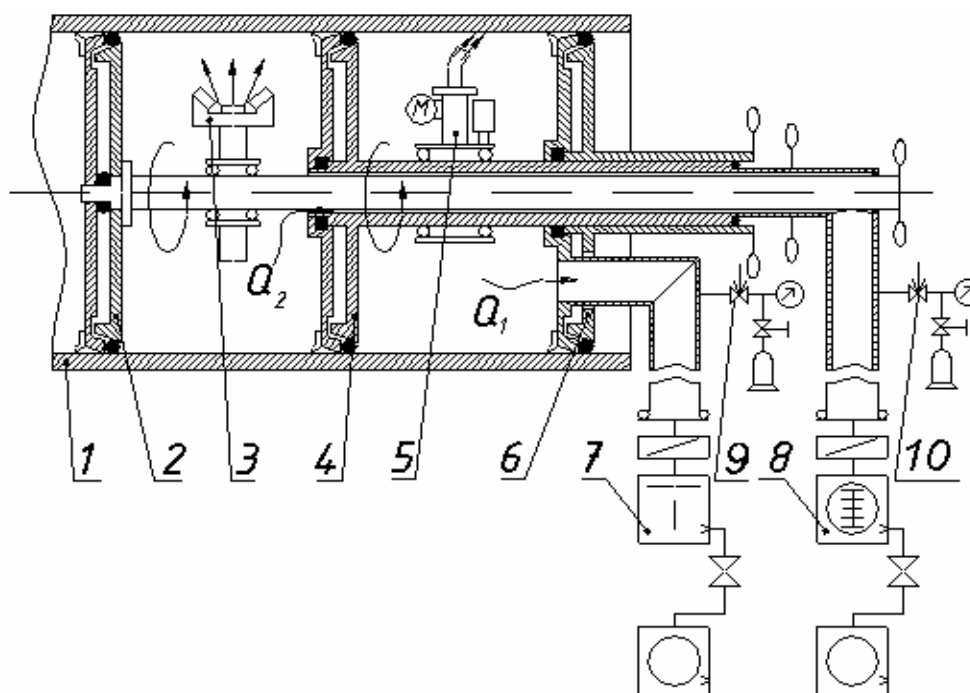
Целью работы является исследование процесса «наводороживания» металлических (в основном стальных) труб магистральных газопроводов в результате проникновения в материал трубы водорода, вызывающего в дальнейшем «коррозионное растрескивание под напряжением» (КРН) стенок трубы и разработка вакуумных методов и технологического оборудования для устранения этого процесса.

Авторами данного исследования впервые было выдвинуто предположение о том, что наводороживание металла трубопровода при течении потока газа внутри трубопровода может происходить по той же схеме, которая имеет место при так называемом «сухом» трении металлических поверхностей друг о друга. Кроме того, авторами была разработана конструкция вакуумного технологического оборудования (рис. 2), позволяющего сократить или полностью устранить процесс «наводороживания» магистральных газопроводов. Для экспериментальной проверки высказанной гипотезы из околосварной зоны трубы магистрального трубопровода, отслужившего 20 лет, был вырезан образец. Околосварная зона была выбрана как потенциально наиболее опасная с позиций «наводороживания».





**Рис. 1.** Диаграммы распределения концентрации водорода  $C_H(x)$ , растворенного в различных (в соответствии с относительной индексацией) образцах. Правая часть диаграмм соответствует концентрации водорода, успевшего продиффундировать сквозь металл трубопровода на глубину  $X=0.005-20$  мм. Цифры и надписи соответствуют индексации «окончательного образца».



**Рис. 2.** Вакуумно-кинематическая схема оснастки для нанесения защитных покрытий на металлических поверхностях магистральных газопроводов: 1-защищаемая труба газопровода, 2-дисковая перегородка-тарель испарительного устройства, 3-магнетронный испаритель, 4- промежуточная дисковая перегородка- тарель, 5-плазменная головка, 6- дисковая перегородка- тарель плазменного устройства, 7-система откачки плазменного объема, 8- система откачки испарительного объема, 9-система напуска рабочих газов в зону очистки, 10-система напуска рабочего газа в зону нанесения покрытия.

Экспериментальная проверка расчетного распределения концентрации водорода по глубине  $X$  производилась на установке вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС) анализа (рис. 1).

Проведенные авторами исследования убедительно показали, что процесс трения газа о стенку трубы вызывает значительное (в десять-триста раз!) увеличение наводороживания металла трубопровода на глубине до 18 мм (!). Приведена конструкция разработанного вакуумного оборудования, позволяющего устранить этот процесс.

### **Литература**

1. Гельд П.В., Рябов Р.А. Водород в металлах и сплавах,- М.: Металлургия, 1974.
2. Арчаков Ю.И. Водородная коррозия стали,- М.: “Металлургия”, 1985.
3. Deulin E.A., Nevshupa R.A.. Deuterium penetration into the bulk of a steel ball of a ball bearing due to it's rotation in vacuum. Applied Surface Science 144 – 145 (1999) 283 – 286.
4. Deulin E.A. Exchange of gases at friction in vacuum// ECASIA '97.- John Wiley & sons, Nov. 1997.- pp. 1170-1175.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

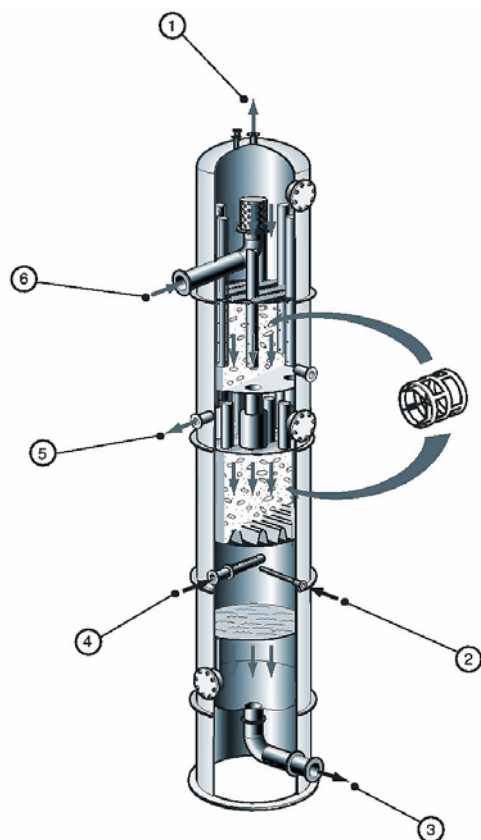
***М.С. Пашкин, И.М. Петрухин, Т.Т. Ереско***

*Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика  
М.Ф. Решетнева, Красноярск, просп.им.газеты "Красноярский рабочий", 31  
e-mail: eresko@sibsau.ru, ivanyoni@mail.ru*

Ныне существует тенденция к развитию экологически чистых источников энергии. Тульским изобретателем Безруковым Ю.С. [1] была предложена «солнечно-вакуумная электростанция» (СВЭ). Данная установка может работать независимо от времени года, суток и погодных условий, преобразуя силу Солнца и ветра в электрическую энергию. По сути, это башня (см. рис. 1) с дефлектором 1 в верхней части для использования энергии ветра и аккумулятор солнечной энергии который размещается в башне. Башня покрывается черным, проводящим тепло покрытием, чтобы использовать энергию Солнца. У сопла генератора в ее ствол встроены аэродинамические устройства для создания вакуума. Они выполнены в виде труб Вентури. Меньшая из труб своим узким сечением соединяется с турбогенератором, который размещен в зале со звукоизоляцией в основании станции.

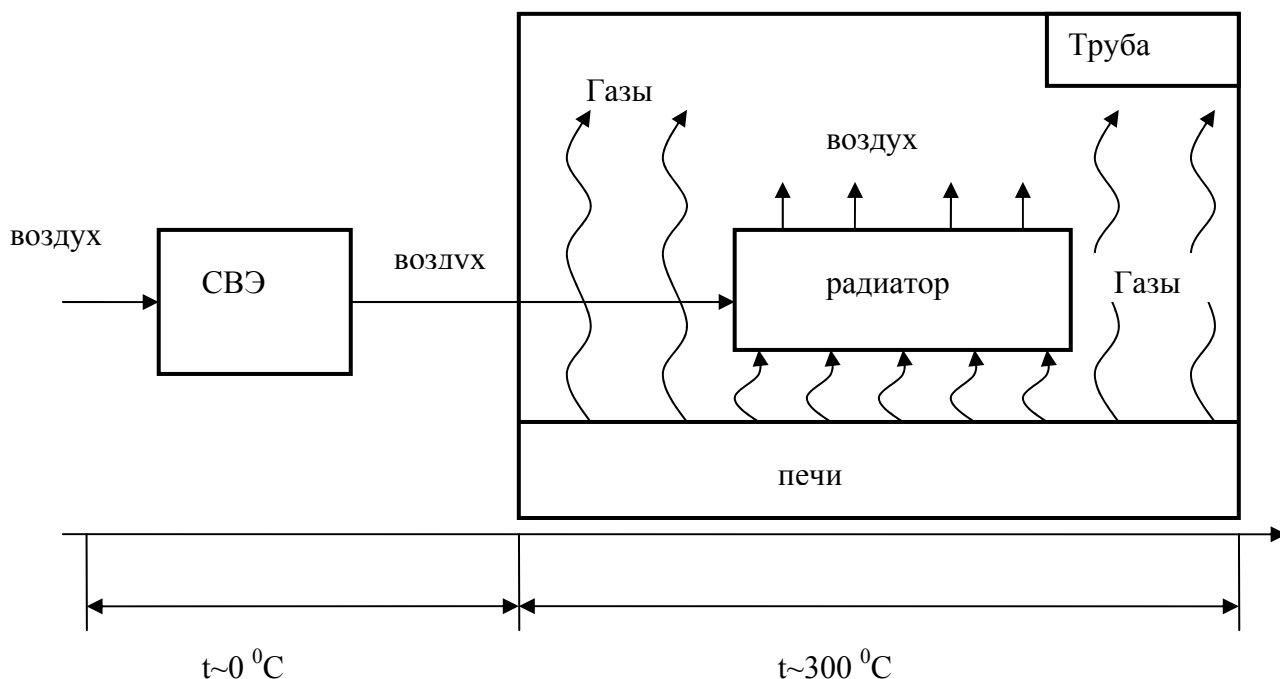
В оригинале устойчивая тяга в трубе создается за счёт теплиц у основания башни. Эффективность разработанной в [1] системы можно повысить. Это может быть достигнуто заменой теплицы более мощным *источником тепловой энергии*

Речь идёт о ТЭЦ. Предлагаемая модернизация заключается в следующем: в качестве подогрева на выходе СВЭ используется среда внутри трубы ТЭЦ. Схема подключения СВЭ к теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) изображена на рис.2. Из схемы заметно, что воздух из СВЭ поступает непосредственно в трубу, за счет которой осуществляется выброс отработанного газа.



Для более эффективного теплообмена между воздухом и газами внутри трубы, с целью создания разрежения применяется теплообменник. В результате образуется тяга, и воздух из атмосферы через дефлектор СВЭ засасывается внутрь трубы ТЭЦ. За счет увеличения скорости потока воздуха внутри башни получается дополнительная к ТЭЦ выработка энергии.

**Рис. 1.** Солнечно-вакуумная электростанция.  
 1 - дренажный клапан; 2 - входной клапан 3 секции; 3 - основной выход к радиатору; 4,5 - дренажные клапаны; 6. - входной патрубок.



**Рис. 2.** Предлагаемая схема модернизации ТЭЦ

Для выработки мощности 350 киловатт башня должна иметь высоту сорок-пятьдесят метров, а на 10 мегаватт — около ста метров [1].

Таким образом, предлагаемая нами конструкция позволяет значительно повысить коэффициент использования продуктов сгорания топлива, а, вместе с этим, и КПД. При этом можно сократить количество электростанций в больших городах, подвергнув их модернизации, что улучшит экологическую обстановку, сократит расход топлива, сэкономит природные ресурсы. Кроме того, для этой системы нет ограничений по метеорологическим показателям, природным зонам и погодным условиям.

### **Литература**

1. Безруков Ю.И. Патент на изобретение от 23 июня 2005 года на основе заявки на изобретение № 2003110242.
2. Стернин Л.Е. Основы газовой динамики, М.: Изд-во МАИ, 1995, 336с.
3. Газодинамика и теплообмен, Сборник 1, под ред проф. И.П. Гинзбурга, Л. ЛГУ, 1968, 464 с.
4. Померанцев А.А. Физические начала тепломассообмена и газовой динамики, М., Энергия, 1997, 248 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА В КАЧЕСТВЕ ПРИРОДНОГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

***Д.М. Гуков, А.В. Часовских, И.В. Молчанова***

*«МАТИ» - Российский государственный технологический университет  
им. К.Э. Циолковского. 121552, г. Москва, ул. Оршанская, 3.*

*e-mail: molchanova-irina@mail.ru*

Необходимость энергосбережения и снижения загрязнения окружающей среды заставляет более рационально использовать традиционные энергоресурсы, а также искать другие, желательно возобновляемые и недорогие источники энергии, к которым в последнее время все чаще относят твердые бытовые отходы (ТБО). Бытовые отходы, образующиеся в значительных количествах, как правило, не находящие применения и загрязняющие окружающую среду, являются возобновляемыми вторичными энергетическими ресурсами.

При разложении бытовых отходов выделяется биогаз, содержащий до 60 % метана, что позволяет его использовать в качестве местного топлива. В среднем при разложении одной тонны твердых бытовых отходов может образоваться 100-200 м<sup>3</sup> биогаза. В зависимости от содержания метана низшая теплота сгорания свалочного биогаза составляет 18-24 МДж/м<sup>3</sup> (примерно половину теплотворной способности природного газа).

Сегодня остро стоит проблема стабилизации концентрации в атмосфере этого газа, одного из основных планетарных источников парникового эффекта. Поэтому утилизация биогаза бытовых отходов приобретает важнейшее значение для снижения антропогенной эмиссии метана.

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

Так как процесс разложения отходов продолжается многие десятки лет, полигон можно рассматривать как стабильный источник биогаза. Эмиссия биогаза с полигона в зависимости от объема свалочных масс может составлять от нескольких десятков л/с (малые полигоны) до нескольких м<sup>3</sup>/с (крупные полигоны). Масштабы и стабильность образования, расположение на урбанизированных территориях и низкая стоимость добычи делают биогаз, получаемый на полигонах ТБО, одним из перспективных источников энергии для местных нужд. Утилизация биогаза на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО) требует инженерного обустройства полигона (создание изолирующего экрана, газовых скважин, газосборной системы и др.). При этом решается основная задача охраны окружающей среды в урбанизированных территориях - обеспечение чистоты атмосферного воздуха и предотвращение загрязнения грунтовых вод.

**Техническая характеристика**

<b>Расход биогаза, куб.м./час</b>	
На входе в комплекс	4250
На выходе из комплекса	2300
<b>Давление, МПа</b>	
На входе в комплекс	0,107
На выходе из комплекса	6,5
<b>Температура газа, град. С, не более</b>	
На входе в комплекс	+35
На выходе из комплекса	+40
<b>Установленная мощность электропотребителей, кВт</b>	1570
<b>Площадь, занимаемая комплексом, га</b>	0,126 (30м*42м)

Сбор биогаза представляет собой высокотехнологическое решение, что следует иметь в виду еще на этапе проектирования полигона ТБО.

Однако в развитых странах ТБО проходит ручную или механическую сортировку, что обеспечивает высокое качество биогаза и высокий его потенциал. В нашей стране получение биогаза из ТБО уделяется недостаточное внимание, несмотря на острую необходимость в электроэнергии и горячей воде. Получение этих продуктов на основе Мини-ТЭЦ в отдельных районах принесло бы значительный экономический эффект.

Анализ комплекса по сбору и подготовки газа с полигонов захоронения ТБО показал, что комплекс предназначен для подготовки газа захоронения твердых бытовых отходов (свалках), его очистки, осушки и подачи потребителю.

Технология подготовки биогаза основана на процессах компримирования, сепарации, абсорбции, адсорбции и десорбции, и обеспечивает его осушку и очистку от диоксида углерода. Подача биогаза осуществляется вакуумным насосом. Подбор оборудования осуществляется на стадии разработки технологии.

По требованию заказчика комплексы изготавливаются различной производительности и могут оснащаться системами очистки биогаза от сероводорода и получения углекислоты из попутного диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ).

На пилотных полигонах ТБО МО был выбран вариант утилизации биогаза в форме производства электроэнергии. Для этого на их территориях были построены системы газодобычи, включающие скважины и газопроводы и компрессорные станции, обеспечивающие подачу газа к мотор-генераторам, находящимся в непосредственной близости от полигонов ТБО. В проекте было использовано компрессорное оборудование, включающее вакуумные насосы для подачи биогаза и установки по производству электроэнергии.

В настоящее время такая установка в г. Мытищи функционирует в опытно-промышленном режиме, вырабатывая 80 кВт/ч электроэнергии. Ее опыт эксплуатации показал, что в российских условиях из  $1 \text{ м}^3$  биогаза может быть произведено 1.3 - 1.5 кВт электроэнергии. Это означает, что при полном использовании запасов биогаза на полигонах, может быть произведено от 260 до 300 кВт электроэнергии в час, что соответствует производству около 2500 МВт электроэнергии в год.

### **ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА МОНОКРИСТАЛЛОВ W(100) И GaAs(110) ПРИ УДАЛЕНИИ СЛОЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОКИСЛА**

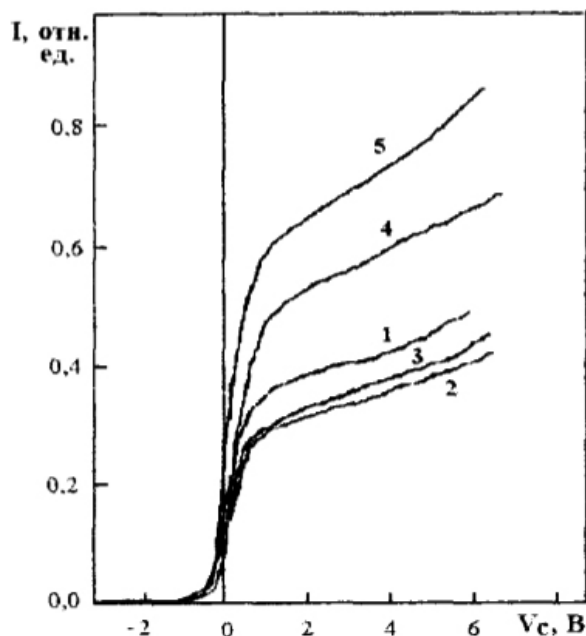
***Р.Л. Кузнецов, Э.Л. Санеев***

*Восточно-Сибирский государственный технологический университет  
Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в. e-mail: sanedu@mail.ru*

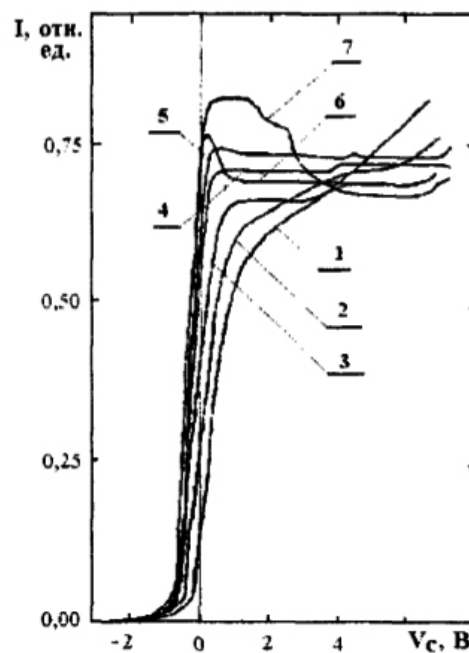
Установлены характерные особенности изменений вольт-амперных характеристик тока медленных моноэнергетических электронов, проходящих из вакуума в монокристаллы W(100) и GaAs(110) при удалении слоя естественного окисла с их поверхности. Показано, что работа выхода уменьшается, а коэффициент прозрачности поверхностного барьера указанных материалов увеличивается с температурой высокотемпературного отжига в условиях высокого вакуума. Отмечены очевидное сходство и существенные различия в изменениях поверхностного потенциала металла и полупроводника в указанном процессе удаления естественного окисла, толщина которого, согласно эллипсометрическим измерениям, составляет величину около  $20 \text{ \AA}$ .

Суть метода заключается в следующем. Коллимированный пучок медленных ( $E_p=0-10 \text{ эВ}$ ) моноэнергетических электронов направляется нормально на поверхность исследуемого образца. При этом часть электронов проходит в образец, а часть отражается от его поверхности и улавливается цилиндром Фарадея. Сумма токов образца и цилиндра Фарадея должна быть постоянной. Строится вольт-амперная характеристика (ВАХ) тока образца от энергии электронов. Затем образец (коллектор) меняется и вновь строится ВАХ. По смещению ВАХ вдоль оси энергий электронов

устанавливается изменение работы выхода образца относительно исходного, обычно называемого эталонным.



**Рис. 3.** ВАХ образцов W(100) при первоначальном прогреве до указанных температур. 1 – 300 К; 2 – 360 К; 3 – 370 К; 4 – 390 К; 5 – 420 К.



**Рис. 4.** Изменения ВАХ при прогреве образцов W(100) до указанных температур. Записи проведены при комнатной температуре. 1 – 300 К; 2 – 450 К; 3 – 470 К; 4 – 500 К; 5 – 520 К; 6 – 550 К; 7 – 590 К.

$E$  - энергия электронов,  $E_F$  - уровни Ферми,  $\phi_e$  - работа выхода эмиттера,  $\phi_s$  - поверхностный потенциал, к.р.п. - контактная разность потенциалов, % - электронное сродство,  $E_c$ ,  $E_g$ ,  $E_v$  - дно зоны проводимости ширина запрещенной зоны, потолок валентной зоны полупроводника, соответственно,  $V_c$  - напряжение смещения.

Целью данной работы является демонстрация эффективности использования метода задерживающего потенциала для регистрации изменения работы выхода и прозрачности поверхностного потенциального барьера твердых тел со степенью покрытия их поверхностей адсорбатом субмонослойного диапазона на примере монокристаллов W(100) и GaAs(110) при поэтапной очистке их поверхностей от естественного окисла.

На рис. 3 представлена типичная серия последовательных изменений ВАХ при очистке поверхности монокристаллов W(100) от адсорбированного газа и естественного окисла. Стационарный вид ВАХ наблюдается через 15-20 минут после установления равновесного значения температуры образцов.

При этом комнатной температуре соответствуют кривые, занимающие промежуточное положение между ВАХ (2) и (3). Согласно масс-спектрометрическим наблюдениям, адсорбат, удаляемый в данном температурном диапазоне, состоит, преимущественно из молекул СО и СО<sub>2</sub>. Вид кривых после прогрева образцов до  $T > 470\text{K}$  приближается к теоретическим. После прогрева монокристаллов W(100) до температур, больших 750K, появляется предсказываемый квантовой механикой максимум в начале ВАХ, обусловленный брэгговским отражением электронов от поверхности. Как следует из представленной записи, адсорбат, удаляемый с поверхности в указанном температурном диапазоне, увеличивает работу выхода монокристаллов W(100) на величину, близкую к 0,4 эВ.

Отмеченные синхронные изменения ВАХ и параметров эллипсометрии свидетельствуют - метод задерживающего потенциала является эффективным способом контроля изменения количеств адсорбированных газов и следов окислов на поверхностях твердых тел, позволяющим контролировать адсорбционно-десорбционные процессы непосредственно в ходе их протекания.

Величина поверхностного потенциала твердых тел  $\varphi_s$  зависит от их температуры и количества адсорбата на их поверхности, на что указывает существование обратимых и необратимых изменений ВАХ с температурой прогрева образцов.

Работа выхода  $\varphi_c$  уменьшается, а коэффициент прозрачности  $D(J,d)$  поверхностного потенциального барьера твердых тел увеличивается пропорционально температуре их прогрева в высоком вакууме, причем значение коэффициента пропорциональности меняется на разных стадиях удаления адсорбата.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ Понижением Давления Парогазовой Среды**

*Д.А. Казанцева, Д.А. Газизова, С.Г. Кондрашева, В.А. Лашков*

*КГТУ, г. Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: lashkov\_dm@kstu.ru*

Анализ технологии получения гексаметилентетрамина на ГУП «Татхим-фармпрепараты» выявил возможность интенсификации процесса и регулирования скорости роста кристаллов за счет кристаллизации понижением давления по определенному закону. При выборе скорости изменения температуры, влияющей на дисперсный состав кристаллической фазы, возникла необходимость в определении кинетических уравнений, описывающих интенсивность зародышеобразования и скорость роста кристаллов в зависимости от пересыщения раствора.

Для определения этих зависимостей были проведены экспериментальные исследования процесса кристаллизации гексаметилентетрамина. В ходе эксперимента продолжительность кристаллизации варьировалась в пределах 60-90 мин. Дисперсный состав полученной кристаллической массы (%) анализировался микроскопическим методом (см. табл.).



**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

Обработкой полученных численных значений была определена величина фактора формы, которая оказалась равной

$$\Phi = 0,8326 - \text{для } 90 \text{ мин}; \Phi = 0,8035 - \text{для } 60 \text{ мин.}$$

Расхождение в полученных значениях можно объяснить явлением полиморфизма, заключающегося в изменении фактора формы кристаллов одного и того же вещества в зависимости от режимных параметров процесса.

Скорость роста кристаллов гексаметилентетрамина в исследованном диапазоне параметров представлена в виде уравнений:

$$\eta(I) = 0,577 \cdot 10^{-9} PR^{0,424} - \text{для } 90 \text{ мин}; \eta(I) = 0,577 \cdot 10^{-9} PR^{0,384} - \text{для } 60 \text{ мин.}$$

Режим процесса кристаллизации	Диапазоны размеров, мм			
	0-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25
Умеренный ( $\tau = 90$ мин)	7,0	37,0	51,0	5,0
Интенсивный ( $\tau = 60$ мин)	16,5	49,5	31,0	3,0

Интенсивность образования центров кристаллизации  $I$ , образующихся в единице объема за единицу времени, определена обработкой данных по дисперсному составу с помощью пакета прикладных программ «Mathematic». В результате получена зависимость, которая описывается с точностью 20% уравнением вида

$$I = 0,026 + 156,53P - 117,99P^2 + 37,75P^3.$$

Методика расчета процесса кристаллизации гексаметилентетрамина использована при усовершенствовании технологической схемы производства препарата кальцекса на ГУП «Татхимфармпрепараты» и «Таттехмедфарм».

**РАЗРАБОТКА ВАКУУМ-СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШИЛКИ  
ДЛЯ ВСПЕНЕННЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИНЕРТНОГО ГАЗА**

**Т.И. Пожидаева, С.В. Шахов**

*ВГТА, Воронеж, пр. Революции, 19. E-mail: mapp@vgta.vrn.ru*

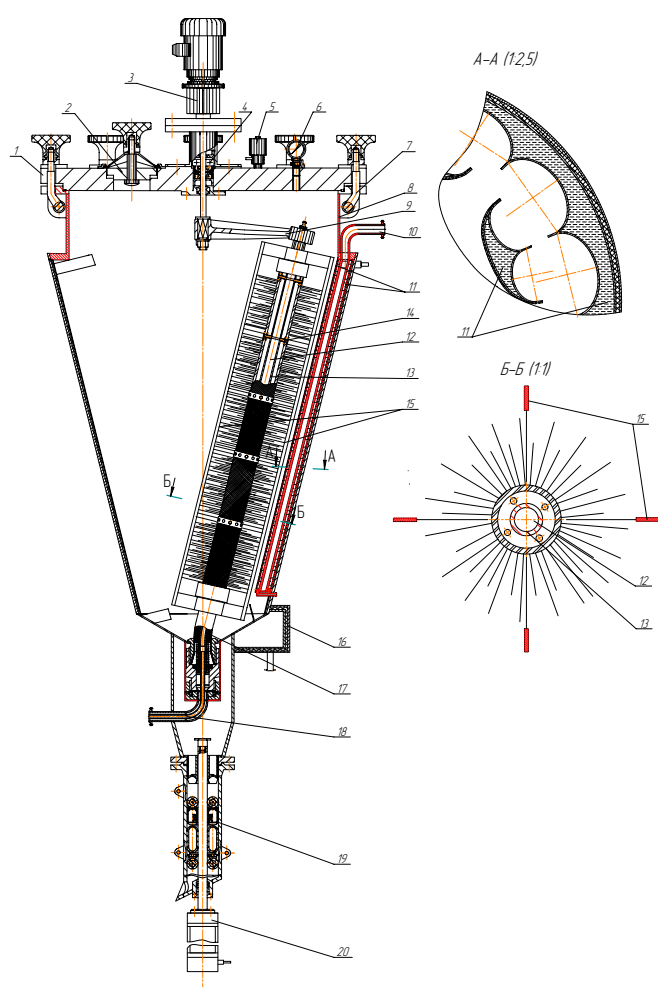
Недостатком известных сушилок является низкая интенсивность процесса сублимации из-за ограниченного энергоподвода ко всем частицам пенного продукта, имеющего развитую структуру и несвоевременного удаления сублимировавших молекул воды из зоны сублимации.

Вакуум-сублимационная сушилка для вспененных продуктов состоит из корпуса 8 с патрубком 10 для отвода воздуха и неконденсирующихся газов, десублиматора 11, устройства 18, состоящего из двух коаксиальных патрубков для подвода продукта и инертного газа. Конструкция и форма поверхности десублиматора 11 при этом выбрана на основе анализа образования слоя сублимата на сферической поверхности традиционных десублиматоров при действии точечного источника, а также на основе полученной картины последовательности заполнения сферической полости десублиматора льдом при полном поглощении молекул воды на

его поверхности и рекомендаций оптимальных профилей десублиматора, обеспечивающих равномерное осаждение паров воды, [Архаров, А.М Криогенные системы: основы теории и расчета [Текст]: Учебник для студентов вузов по специальности «Криогенная техника»/ И.В. Маффенина, Е.И. Микулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988 -464 с.], элемент поверхности, которых с точностью до бесконечно малых величин второго порядка описывается выражением

$$dF = \sqrt{\rho^2 + (d\rho/d\varphi)^2} d\varphi$$

где  $\rho$  - радиус кривизны элемента охлаждающей поверхности десублиматора, м;  
 $\varphi$  - угол отклонения  $\rho$  от нормали к  $dF$ .



**Рисунок.** Вакуум-сублимационная сушилка для вспененных продуктов с использованием инертного газа

Внутри корпуса 8 расположена параллельно образующей и с возможностью вращения относительно вертикальной оси сушилки носитель 12 в виде коаксиальных труб, при этом внешняя труба изготовлена из пористого материала, на которой размещена решетка, в узлах которой закреплены ворсинки. Эти ворсинки являются каркасом для пены и в тоже время облегчают проникновение инертного газа внутрь пены. Это происходит потому, что ворсинки служат проводником теплоты для сублимации молекул пены, соприкасающихся с ними, после чего образуется кольцевой канал вокруг ворсинки через который газообразные молекулы воды перемещаются с следующий пузырек пены. При этом ворсинки имеют различную длину, что позволяет обеспечить подвод энергии ко всем слоям пены. Труба приводится во

вращение от привода, состоящего из волнового мотор-редуктора 3, через водило 9, закрепленного на приводном валу. Внизу труба соединена с патрубками подвода продукта и газа посредством армированного упругого трубопровода 17. Пеногенератором является сам носитель 12 и распределители 14, размещенные по длине тру-

бы. Носитель может быть изготовлен из металлокерамики, что позволяет ему с одной стороны обеспечивать прочность конструкции, а с другой беспрепятственно пропускать через свои поры инертный газ, который вспенивает и затем сушит продукт.

Для удаления высохшего продукта с поверхности ерша предусмотрен очиститель 15, а из корпуса с помощью разгрузочного устройства 19.

Для мойки сушилки предусмотрен лаз 2, расположенный в крышке 1. Сама крышка может откидываться, что необходимо для технического обслуживания и ремонта внутренних частей сушилки. Для её плотного прилегания к корпусу имеются стяжные болты 7. Кроме этого на крышке расположены различные приборы визуального измерения 6 (например, манометр) и предохранительные клапаны 5.

Преимущества разрабатываемой конструкции непрерывной сублимационной сушилки для вспененных продуктов и способа заключаются в том, что:

- использование намораживания слоя продукта на носителе типа «ёрш» позволяет обеспечить увеличение производительности сушилки за счет непрерывности процесса сушки, интенсификацию процесса за счет увеличения поверхности тепло- и массопередачи, возможность варьирования параметров монолита вспененного продукта и его площади поверхности, снижение энергозатрат за счет более интенсивного и равномерного распределения теплоты внутри продукта, улучшение качества готового продукта;

- использование инертного газа в качестве энергоносителя позволяет наилучшим образом учитывать свойства продукта и элементов конструкции, что ведет к интенсификации процесса сушки и обеспечивает эффективный энергоподвод к продукту с развитой структурой.

- размещение десублиматора в непосредственной близости от высушиваемого продукта позволяют обеспечить активный локальный отвод паро-газовой смеси из зоны сушки по минимальной траектории движения молекул пара сублимированной влаги.

### **ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА ИЗ СОКА ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ С ПОМОЩЬЮ МАЛОГАБАРИТНОЙ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ**

***К.А. Емельянов, А.А. Емельянов***

*ОрелГТУ, Орел, Наугорское шоссе, 29. E-mail: konstantin.emelyanov@gmail.com*

С помощью малогабаритной вакуумной сушильной установки [1] исследованы температурные режимы выпаривания влаги [2], из которых следует, что удалять влагу из сельскохозяйственного сырья можно, максимально сохраняя биологически активные вещества в сухом продукте.

С целью получения сухого порошка с высоким содержанием аскорбиновой кислоты выполнены исследования низкотемпературного удаления влаги в вакууме из натурального сока черной смородины.

В эксперименте использовано 40 кг черной смородины. После предварительной обработки из ягоды методом сепарирования получено  $G_0 = 13$  кг нату-

рального сока, который был загружен в камеру испарителя. В системе обеспечивалось разрежение  $P = 10 \text{ Па}$  с помощью форвакуумного насоса.

Удаление влаги из сырья включает испарение свободной и связанной влаги. На этапе испарения свободной влаги температура кипения продукта составляла  $32^\circ\text{C}$  и конденсат поступал в приемник с постоянной скоростью. При испарении связанной влаги температуру рабочей жидкости в рубашке камеры испарителя поддерживали на уровне  $50^\circ\text{C}$  путем регулирования подведенной мощности. Точность регулирования составляла  $\pm 5\%$ . В ходе эксперимента измерялась масса влаги  $G_{\text{вл}}$ , содержащейся в соке, и определялась влажность, отнесенная к массе  $G_c$  абсолютно сухого вещества,

$$f^c = G_{\text{вл}} / G_c \quad (1)$$

Содержание сухих веществ в соке смородины составляло  $G_c = 0,167G_0 = 2,17 \text{ кг}$  при начальной влажности  $f_n^c = 5$ .

Кривая сушки сока черной смородины приведена на рис. 1. Из кривой  $f^c(\tau)$  следует, что через время запаздывания  $\tau_3 = 12 \text{ мин}$ , необходимое для испарения, конденсации и движения пара и конденсата, начинается удаление свободной влаги с постоянной скоростью сушки. После достижения первой критической влажности  $f_{\text{кр}1}^c = 2,7$  удаляется связанная влага с падающей скоростью сушки. Достижение второй критической влажности  $f_{\text{кр}2}^c = 1,6$  соответствовало прекращению процесса конденсации.

По окончании конденсации осуществлено перемешивание продукта. Перемешивание сопровождалось дополнительной кратковременной конденсацией, снизившей влажность до  $f_k^c = 1,4$ . Продолжительность процесса сушки составила 3,5 часа.

Кривая скорости сушки, полученная в результате графического дифференцирования кривой сушки приведена на рис. 2.

$$w = df^c / d\tau, \quad (2)$$

Из зависимости  $w(f^c)$  следует, что удаление свободной влаги на этапе изменения влажности от начальной величины  $f_n^c = 5$  до первой критической  $f_{\text{кр}1}^c = 2,7$  происходит с постоянной скоростью  $w = 2,4 \text{ час}^{-1}$ . При  $f^c \leq f_{\text{кр}1}^c$  удаляется связанная влага. Диапазон изменения влажности  $1,6 \leq f^c \leq 2,7$  соответствует этапу равномерно падающей скорости сушки. После достижения второй критической влажности  $f_{\text{кр}2}^c = 1,6$  перемешивание продукта привело к снижению влажности до конечного значения  $f_k^c = 1,4$ .

По окончании вакуумной сушки получена паста черной смородины. Паста досушивалась на атмосфере при температурах не более  $50^\circ\text{C}$  с использованием

перемешивания и измельчения продукта. В результате получен ягодный порошок с содержанием аскорбиновой кислоты 300 мг/100 г. Порошок черной смородины был также получен из пастеризованного сока (80 °С, 20 мин), содержание витамина С в котором оказалось в 6 раз ниже, составив 53 мг/100 г.

Таким образом, при низкотемпературным выпариванием в вакууме получен ягодный порошок с высоким содержанием аскорбиновой кислоты.

### Литература

- [1] Патент RU N 2276314. Устройство для удаления влаги в вакууме / А.А. Емельянов, К.А. Емельянов, Я.А. Морозов. Опубл. 10.05.2006, бюл. N 13.
- [2] Емельянов А.А., Гаранжа И.В., Золотарев А.Г. XIII НТК «Вакуумная наука и техника», Сочи, 2006, С. 304-305.

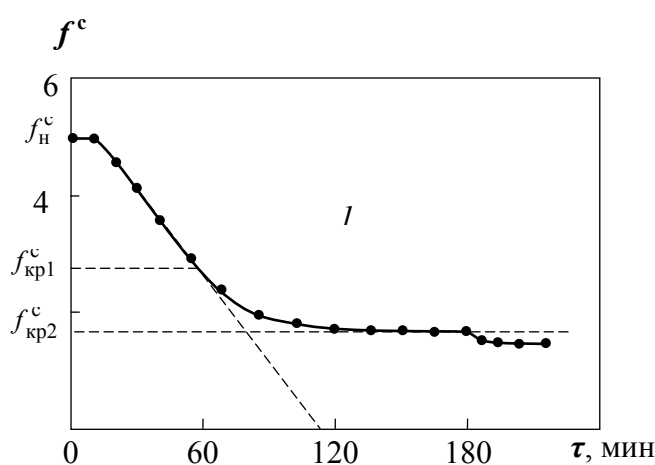


Рис. 1. Кривая сушки

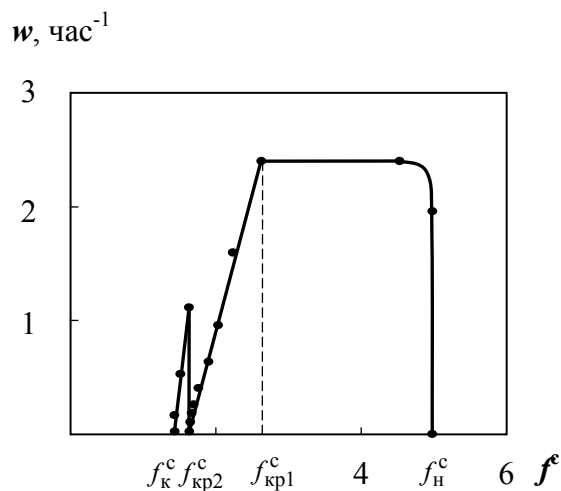


Рис. 2. Кривая скорости сушки

### ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ AVI-ФИЛЬМОВ ДЛЯ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛЬНОСТИ

#### «ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»

**Е.В. Богданов, И.А. Захаров, А.В. Тютина, Е.В. Антипова, С.Н. Коледов А.Р.**

**Д.И. Сагдеев, Хубатхузин А.А., А.Р. Альтапов, \*А.А. Сагдеев**

*КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. \*НХТИ, Нижнекамск,*

*пр. Строителей, 47. E-mail: Sagdееv@kstu.ru*

Развитие и совершенствование методов и средств современной информатики позволило ей уверенно войти в среду образования и научных исследований. Диапазон использования компьютеров в учебном процессе весьма велик - от тестирования студентов, учёта их личностных особенностей до необходимости создания учебных фильмов преподавателями, внедряющими современные информационные технологии в учебный процесс.

Перед нами была поставлена задача разработать технологию создания учебных фильмов с avi-расширением к лабораторным работам «Моделирование

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

вакуумного конденсатора» по дисциплине «Вакуумные технологии. Часть 1», «Установка вакуумно-аммиачной сушки УВС-2М» по дисциплине «Вакуумные установки» и «Адсорбционный вакуумный насос ЦВН 1,5/3» по дисциплине «Криовакуумная техника» для кафедры «Техника и физика низких температур» Нижнекамского химико-технологического института.

Обзор существующих программных средств позволил оценить возможность каждого из них для создания учебных фильмов с расширением avi [1]. Перечислим программные средства, с помощью которых можно создать учебные фильмы:

1. Программа Windows Movie Maker, входящая в последние версии ОС Windows, позволяет из отдельных заранее подготовленных рисунков (изображений) формата BMP и других создать фильм, дополненный видеоэффектами, видеопереходами, заголовками.
2. Программы, позволяющие создавать avi-фильмы из отдельных заранее подготовленных рисунков (формата BMP и других) и при этом производить редактирование рисунков (Atani.rus и Active GIF Creator).
3. Специальные программы, которые выполняют видеозахват всего или части экрана дисплея компьютера («живую» видеозапись – uvScreenCamera, VideoCap, Camtasia Studio).
4. Универсальный пакет Matcad, который в последних версиях позволяет выполнить видеозапись и воспроизведение avi-фильмов.

В нашем случае для компьютерной реализации avi-фильмов была использована программа Camtasia Studio, имеющая мощную утилиту для записи изображения с экрана в видеофайлы различных форматов (AVI, SWF, FLV, MOV, WMV, RM, GIF, CAMV), а также имеет возможность редактирования видео со встроенными Macromedia Flash (SWF) и видео проигрыватели.

Camtasia захватывает действия и звуки в любой части Windows-систем и сохраняет в файл стандарта AVI. На основе любого видео можно скомпилировать исполнительный exe-файл, который будет содержать встроенный проигрыватель. Для сжатия видео имеется «фирменный» кодек TechSmith Screen Capture Codec (TSCC).

Camtasia Studio включает в себя четыре утилиты: Camtasia MenuMaker, Camtasia Player, Camtasia Theater и Camtasia Recorder. Для работы со всеми этими утилитами служит главный интерфейс программы.

Видеофильм к лабораторной работе «Моделирование вакуумного конденсатора» помогает правильно построить технологическую схему процесса и рассчитать с применением моделирующей программы ChemCad [2] вакуум-технологический аппарат, а также, позволяет получить полную картину процесса конденсации с учетом наличия в паре небольших количеств неконденсирующихся газов, что приводит к значительному снижению коэффициента теплоотдачи [3].

Технология создания видеофильмов «Установка вакуумно-аммиачной сушки УВС-2М» по дисциплине «Вакуумные установки» и «Адсорбционный вакуумный насос ЦВН 1,5/3» по дисциплине «Криовакуумная техника» для

кафедры «Техника и физика низких температур» Нижнекамского химико-технологического института включает в себя использование высокоэффективного продукта компании UGS - Solid Edge. Данный продукт компании UGS позволяет создать сборочный чертеж установки и вакуумного насоса с последующей разборкой и сборкой всех сборочных единиц до отдельных деталей.

Создание видов разнесенной сборки было реализовано с использованием специальной рабочей среды. В меню «Приложения» среды «Сборка» была выбрана команда «Разнесенная сборка». Нами была реализована команда «Разнести сборку», которая обеспечила свободу выбора и полный контроль за разнесением деталей, что невозможно при автоматическом разнесении.

Работа выполненная вышеперечисленными студентами второго, третьего и четвертого курсов позволила применить полученные знания по дисциплине «Начертательная геометрия. Инженерная графика» для проектирования и глубокого изучения важных разделов дисциплин специальности «Вакуумная и компрессорная техника физических установок».

### **Литература**

1. Норенков И.П., Зимин А.М. Информационные технологии в образовании. Москва, изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2004.
2. Исследование и проектирование химико-технологических процессов с применением моделирующей программы ChemCad: Учебное пособие / Каз. гос. технол.ун-т; Сост.: Н.Н. Зиятдинов, В.М. Емельянов, Л.А. Смирнова, Т.В. Лаптева. Казань, 2001. – 84 с.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. – 344с.

### **СПОСОБ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ОТКАЧКИ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

**Э.Р. Мухаметзянова, С.И. Саликеев, А.В. Гаврилов**

*КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: vacuum-ag@hotmail.ru*

Вакуумно-импульсный метод сушки древесины основан на многократном чередовании конвективного процесса сушки – нагрева древесины паровоздушным нагретым потоком и вакуумного импульса, который осуществляется за счет быстрого сброса среды из рабочей камеры 1 (рис.1) в ресивер 2. Благодаря этому чередованию обеспечиваются наилучшие, по сравнению с другими способами сушки, условия. Это малые градиенты влажности и температуры по толщине древесины и, следовательно, отсутствие коробления и образования трещин, что и определяет качество конечного продукта – изделий из древесины.

Импульсный сброс давления и дальнейшая откачка камеры осуществляются до давления ~ 20÷50 мм рт.ст., при этом с поверхности и объема древесины выделяется и под действием перепада давлений уносится в ресивер в виде пара и капель большое количество влаги, которая представляет собой раствор канифоли в эмульсии скипидара. В случае попадания конденсата в ресивер он будет ин-

тенсивно испаряться, снижая тем самым эффективность вакууммирования, также возможно попадание канифоли, содержащейся в конденсате, в вакуумный на-

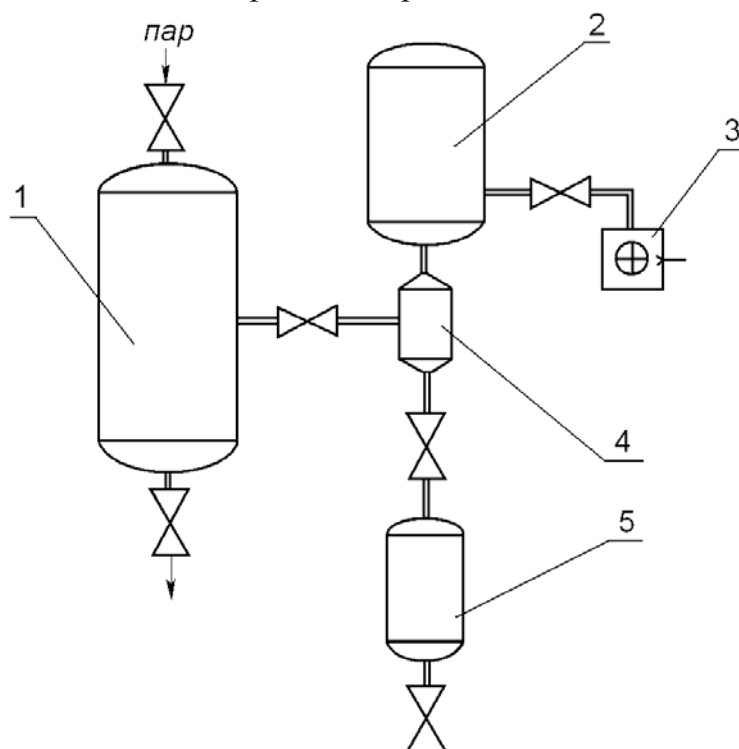


Рис. 1. Схема установки

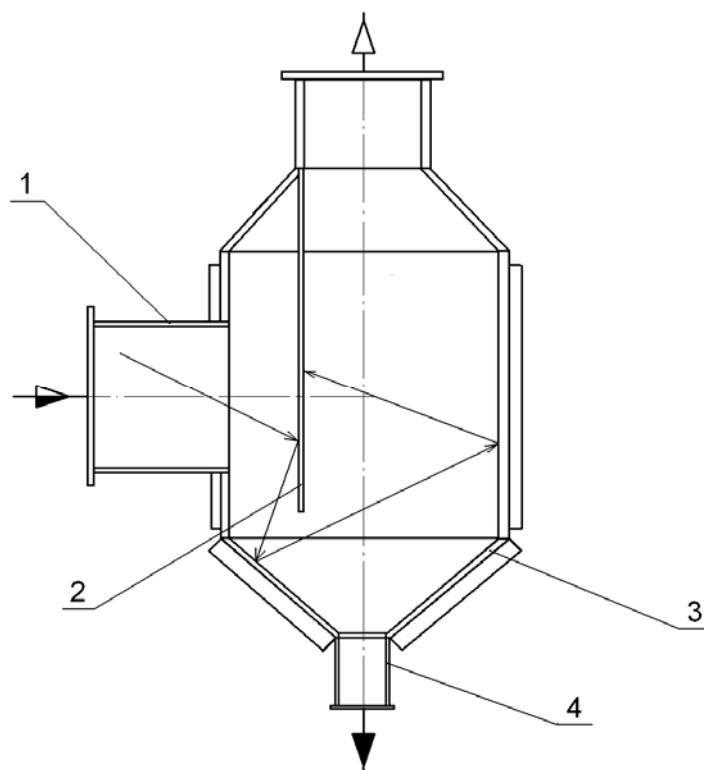


Рис. 2. Каплеотбойник



сос 3, что может привести к его заклиниванию. С целью предотвращения попадания конденсата в ресивер нами предлагается использовать водоохлаждаемый каплеотбойник 4 с вакуумным конденсатосборником 5 для возможности удаления конденсата в процессе вакууммирования. Его работа осуществляется следующим образом: поток паро-водо-воздушной смеси через патрубок 1 (рис. 2) с большой скоростью ударяется в перегородку 2, капельная фаза стекает в конусную часть корпуса 3, поток неоднократно отражается на водоохлаждаемые стенки корпуса, где конденсируется паровая фаза. Далее жидкость самотеком удаляется через патрубок 4 в конденсатосборник.

Применение такой системы взамен использования вакуумного конденсатора позволит значительно уменьшить капитальные затраты при создании вакуумно-импульсных сушильных установок, упростить монтаж и их эксплуатацию.

### ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНО ПОВЫШАЮЩЕГОСЯ ВАКУУМА

Д.А. Газизова, Д.А. Казанцева, С.Г. Кондрашева, В.А. Лашков  
 КГТУ, г. Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: lashkov\_dm@kstu.ru

Для исследования кинетики процесса сушки капиллярно-пористых материалов, кристаллизации и концентрирования растворов, испарительного охлаждения жидкостей, а также самозамораживания материалов в условиях непрерывно повышающегося вакуума создан лабораторный стенд (см. рисунок).

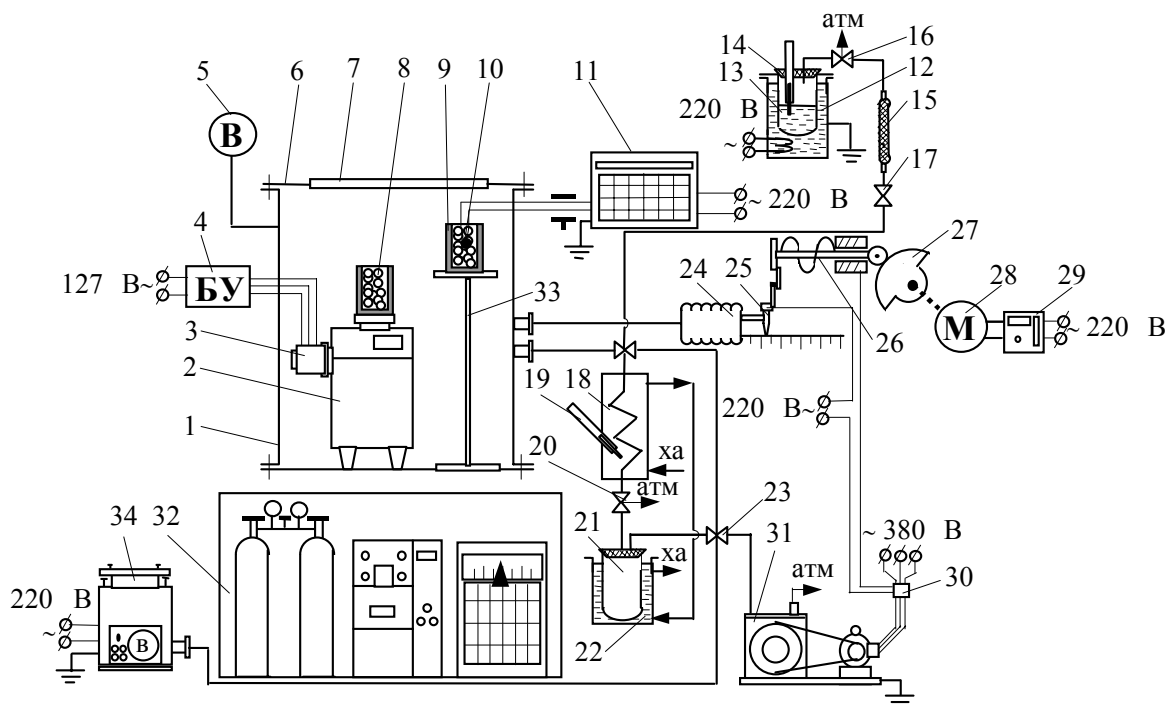


Рисунок. Лабораторный стенд

Лабораторный стенд состоит из вакуумной камеры 1, в крышке 6 которой имеется смотровое окно 7 для наблюдения за показаниями весов. Весы 2 снабжены электромеханическим приводом 3, который через блок дистанционного управления 4 подключен к источнику переменного тока напряжением 127 В. На чашу весов и столик лабораторного штатива 33 установлены бюксы 8 и 9 с исследуемым материалом. Для соблюдения адиабатических условий бюксы выполнены из материала, обладающего малой теплопроводностью, например, пенопласта. Регистрация температуры материала в ходе эксперимента осуществлялась с помощью хромель-копелевой термопары 10, введенной в бюкс 9 и подключенной к электронному потенциометру 11. Камера 1 сообщена с системой вакуумирования, состоящей из конденсатора 10, сборника конденсата 21, снабженного рубашкой 22, и вакуумного насоса 31. Давление в камере контролировалось по показаниям образцового вакуумметра 5, температура хладагента в конденсаторе 18 - по показаниям образцового термометра 19. Досушка материала до постоянной массы осуществлялась на установке определения влагосодержания материалов 34, а качественный анализ конденсата проводился на хроматографе 32.

Для управления режимом снижения влагосодержания использовали регулятор давления, состоящий из пускателя 30, блока питания 29, сильфона 24, контактов 25, ползуна 26, копира 27 и двигателя постоянного тока 28 с редуктором 29. Регулирование скорости понижения давления осуществлялось включением-выключением электродвигателя привода вакуумного насоса при замыкании-размыкании контактов 25, подающих питание на пускатель 30. Задатчиком закона изменения давления во времени в камере 1 служит копир 27, вращающийся с постоянной скоростью.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛУЧЕННЫХ НАНЕСЕНИЕМ ПРОИЗВОДНЫХ ФУЛЕРЕНА [60] НА ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

***Р.А. Нежметдинова, \*Н.С. Овчинникова, В.М. Елинсон***

*«МАТИ» - РГТУ им. К.Э.Циолковского, Москва, ул. Оршанская, 3*

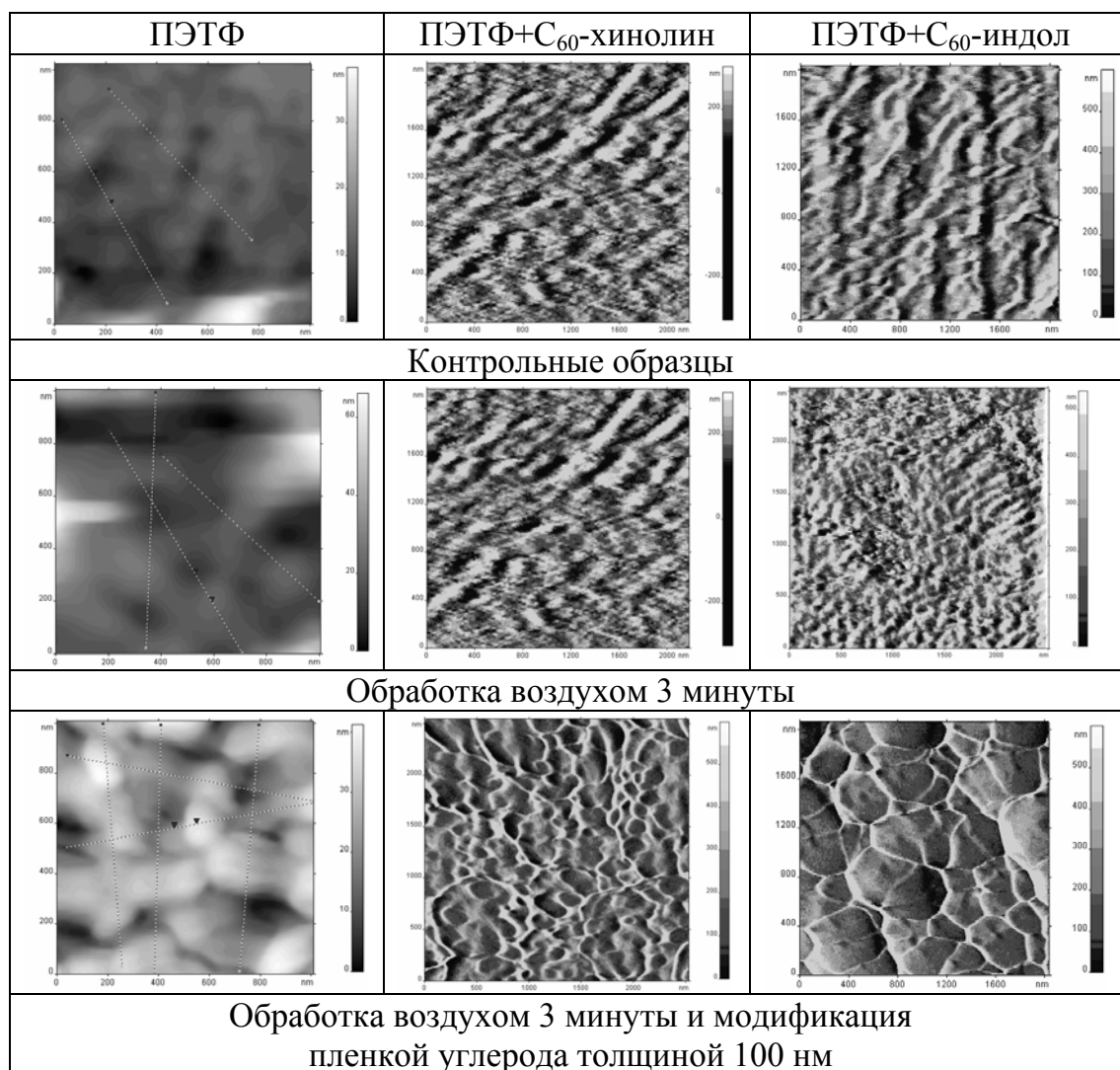
*\*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1, стр.3.*

*E-mail: nra85@list.ru*

Одним из самых обширных классов материалов, используемых в самых различных областях современной науки и техники, являются полимеры. Материалы с наноструктурированной поверхностью (НСП), сформированные на поверхности полимерных материалов методами ионно-плазменной технологии, проявляют антимикробную активность. Модификация НСП полимеров биологи-

чески активными производными фуллерена C<sub>60</sub> позволяет создать новые, неизвестные ранее, полимерные материалы медицинского назначения.

Целью работы являлось исследование топологии поверхности нанокompозитных материалов, полученных на основе наноструктурированной поверхности.



**Рис. 1.** Топологии поверхностей образцов

В качестве исходного материала был выбран полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – полимер, широко используемый в медицине и биотехнологии, обеспечивающий большой диапазон свойств при модифицировании образованных поверхностей. Формирование рельефа на поверхности ПЭТФ производили ионно-плазменными методами (обработка потоками ионов химически активной воздушной смеси при пониженном давлении). Модифицирование полученных НСП проводили нанесением углеводородных пленок с толщиной 10-100 нм и нанесением органических производных фуллерена (N-метилфуллеро-пирролидины с фрагментами индола, хинолина).

Для исследования топологии поверхности образцов применялся сканирующий зондовый микроскоп «ФемтоСкан». Исследования проводили в режиме атомно-силовой микроскопии.

Обработка ПЭТФ ионами воздушной смеси приводит к образованию на его поверхности тонкого модифицированного слоя с нарушенной структурой, содержащего окисленно-деструктурированные области, что приводит к увеличению удельной поверхности исходного материала, т.е. поверхность исходного материала становится более шероховатой. Нанесение углеводородных покрытий на ПЭТФ в первый момент времени приводит к выравниванию поверхности. С ростом толщины пленки высота неровностей начинает увеличиваться. Различия значений среднеквадратической шероховатости поверхностей ( $R_q$ ) образцов, модифицированных производными фуллерена, связано, вероятнее всего, с природой гетероциклического заместителя в составе фуллеренового модификатора. Это отражается на топологии поверхности. Осаждение на поверхности неравномерное, агрегация частиц в случае индольного производного более выражена, чем для хинолинового (конгломераты более “узкие и высокие”). Вследствие чего  $R_q$  в случае хинолинового производного выше. Ход зависимостей значения  $R_q$  при нанесении хинолинового и индольного производных повторяют друг друга.

Анализ параметров микрорельефа поверхности показал, что среднеквадратичная шероховатость, изменение удельной поверхности, характеристики микронеровностей, и другие параметры существенно изменяются при обработке поверхности ионно-плазменными методами, нанесении углеводородных пленок различной толщины и состава органических производных фуллерена [60]. Использование органических производных фуллеренов в качестве нового класса биологически активных соединений и их применение является принципиально новым и перспективным направлением в данной области.

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ, ОБРАБОТАННЫХ В ВАКУУМЕ И ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ**

***С.Ю. Спирин, В.М. Елинсон***

*«МАТИ» - Российский государственный технологический университет*

*им. К.Э. Циолковского, Москва, ул. Оршанская, 3*

*E-mail: vm\_e@mail.ru, spirin\_syu@zelnet.ru*

Современное развитие общества постоянно требует создания новых материалов и улучшению свойств уже имеющихся. В настоящее время полимеры являются одним из самых перспективных и обширных классов материалов, используемых в различных областях науки, промышленности и народного хозяйства. Поэтому качественное улучшение их механических, физико-химических и медико-биологических свойств – весьма актуальная задача. Одним из направлений, связанными с модификацией полимерных материалов, является воздейст-

вие на их поверхность различных газовых разрядов атмосферного и пониженного давления.

В настоящее время вакуумные ионно-плазменные методы обработки поверхности различных материалов широко используются в мировой практике. Основным недостатком этих методов, с позиции экономической эффективности, является необходимость создания пониженного давления, вплоть до  $\sim 10^{-6}$  Тор. Средства получения и поддержания вакуума составляют значительную часть стоимости современного производства, требуют существенных расходов на их эксплуатацию и значительной части производственных площадей. Поэтому данные обстоятельства обусловили возникновение интереса к ионно-плазменным методам обработки материалов при атмосферном давлении.

Весьма перспективным является использование обработки поверхности полимеров при атмосферном давлении продуктами плазмохимических реакций стабильно воспроизводимого производительного газового разряда.

В работе в качестве полярных диэлектрических подложек использовался полиэтилентерефталат (ПЭТФ) и трековые мембраны (диаметр пор 0,2 мкм) на его основе, а в качестве неполярных диэлектрических подложек – политетрафторэтилен. Выбор данных материалов определялся как их широким использованием, так и возможностью обеспечения большого диапазона свойств при модифицировании поверхности.

Обработка поверхности при атмосферном давлении проводилась воздушной плазмой импульсного искрового газового разряда атмосферного давления. Обработка при пониженном давлении проводилась направленными потоками частиц активных и инертных газов, при использовании ионного источника ИИ-4-0,15.

Исследования топографии модифицированных поверхностей проводилось как при помощи электронной микроскопии, так и сканирующей зондовой микроскопии, которая позволяет измерять не только профиль поверхности, но и локальные силы трения, величину адгезии, упругие и вязкие свойства поверхности с субнанометровым пространственным разрешением. Полярный и дисперсионный компонент поверхностной энергии рассчитывался по результатам измерения краевого угла смачивания.

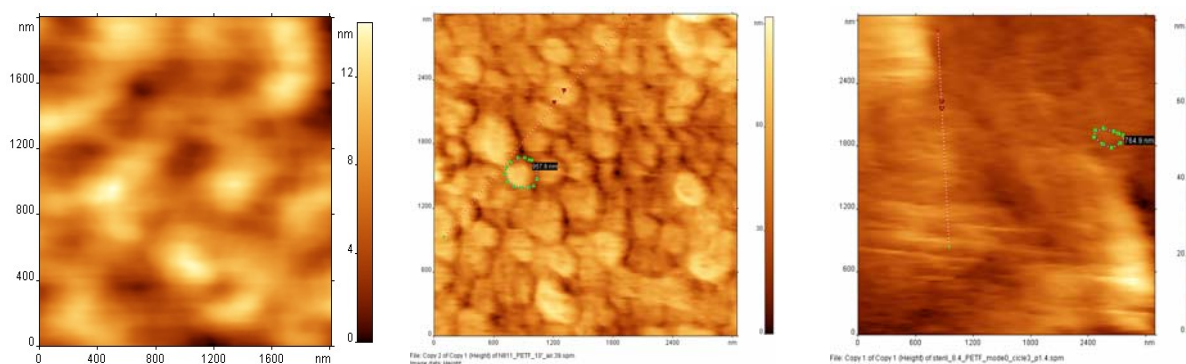
Плазменная обработка при пониженном и атмосферном давлениях, как правило, приводит к улучшению адгезионных свойств полимеров. Это связано как с очисткой поверхности от различных загрязнений, так и с образованием гидрофильных групп различной химической природы. Состав, структура и свойства таких полярных групп зависят от природы полимера, свойств плазмы и природы плазмообразующего газа.

Использование в качестве рабочего газа воздуха приводит к образованию на поверхности полимера кислородсодержащих полярных групп (карбонильных, гидроксильных,...) и к заметному уменьшению свободной поверхностной энергии полимерных материалов, т.е. к гидрофилизации поверхности полимера.

Обработка в вакууме и при атмосферном давлении имеют отличия по параметрам частиц в плазме (температура плазмы в вакууме гораздо выше), энер-

гетическим затратам (мощность ионного источника на порядок выше источника искрового разряда атмосферного давления), временными рамками (создание разреженной среды требует времени).

На рис. 1 показан пример топологии поверхности ПЭТФ в вакууме и при атмосферном давлении.



**Рис. 1.**

Контрольный  
Образец

Вакуум,  
воздушная смесь, время  
обработки 10 мин, дав-  
ление  $10^{-1}$  Па

Атмосферное давление, ис-  
кровой разряд, воздушная  
смесь с одновременным УФ  
облучением (60мин)

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что для создания более развитого микрорельефа поверхности целесообразней использовать ионно-плазменные процессы при пониженном давлении. Для очистки поверхности, в том числе и микробиологической очистки, с сохранением микрорельефа в его практически первоначальном состоянии, целесообразней использовать газовый разряд атмосферного давления.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСШТЕНГЕЛЬНОЙ ОТКАЧКИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

**Н.Ю. Веселов, Р.В. Соловьёв, В.И. Воронин**

*СГТУ, г. Саратов, ул. Политехническая, 77. E-mail: [ems@sstu.ru](mailto:ems@sstu.ru)*

Долговечность и надежность важнейших объектов промышленности во многом зависит от качества и надежности ЭВП.

Неуклонное повышение качества и технологического уровня всех выпускаемых электровакуумных приборов, наряду с дальнейшим увеличением масштабов производства, является важной задачей электронной промышленности.

При обработке ЭВП на откачном посту решается задача не только получения вакуума в нем, но и условий, способствующих поддержанию вакуума, неизменности свойств поверхностей электродов в процессе эксплуатации прибора. Основной задачей откачки является удаление газов из объема лампы, как сво-

бодных, так и растворенных в деталях и оболочке. Для этого необходим длительный прогрев оболочки и деталей прибора при высокой температуре и непрерывной откачке. Наличие максимально низкого давления в объеме прибора при его обезгаживании и в момент герметизации позволяет снизить величину остаточного давления газов в приборе. Одним из основных условий при разработке технологии камерной откачки ЭВП является обеспечение наибольшей эффективной скорости откачки, при которой достигается наиболее низкое давление во внутренней полости прибора при откачке и наилучшее обезгаживание его внутренней арматуры.

Выбор расстояния между частями прибора при откачке влияет не только на величину эффективной скорости откачки прибора и степень взаимного влияния электродов, но и на конструктивные особенности технологического оборудования.

Целью работы является определение оптимальных условий камерной откачки ЭВП с разнесением частей, обеспечивающих наиболее низкое давление в приборе во время камерной откачки и эксплуатации, способствующих наиболее полному устранению отрицательного взаимного влияния электродов, а также позволяющих снизить стоимость и повысить эффективность технологического оборудования.

#### **Программа исследований**

Для решения этой задачи необходимо решить следующие вопросы:

1. Исследовать влияние разнесения частей прибора при камерной откачке на изменение давления в приборе при откачке и его параметры:

а) определить оптимальную величину зазора между разнесенными частями, позволяющую получить наиболее низкое давление в приборе во время обработки на откачном посту;

б) определить оптимальное расстояние между разнесенными частями, способствующее наиболее полному устранению отрицательного взаимного влияния электродов и улучшению электрических параметров приборов.

2. Разработать рекомендации по оптимизации технологии камерной откачки электровакуумных приборов и требования к технологическому оборудованию.

Модель технологического процесса откачки электровакуумного прибора может быть представлена в виде системы уравнений:

$$\frac{dG_0}{dt} = \alpha_0 e^{-\beta_0 t} + \frac{S_K + F_3}{S_K \cdot F_3} \cdot P_{пред.к}$$
$$\frac{dG_1}{dt} = \alpha_0 e^{-\beta_1 t} + q_{нат} + S_K \cdot P_{пред.к}$$

Анализ решений данной системы уравнений показывает, что давление в приборе (в камере оно определяется параметрами откачной системы) зависит от материала его деталей и температуры их обезгаживания, объемов камеры и прибора, проводимости вакуумпровода на участке “насос- камера”, проводимости

зазора между частями прибора, быстроты откачки насоса и предельного давления в камере:

$$P_{np.} = f(F_3, \alpha_i, \beta_i, V_0, V_1, U, S_H, P_K)$$

Это соотношение показывает, что процесс камерной откачки ЭВП является сложным и зависит от нескольких составляющих. При его анализе следует рассматривать влияние на параметры прибора не одного из этих факторов, а их совокупности.

Полученная в процессе исследования и теоретического расчёта, зависимость дает возможность определить оптимальное расстояние между частями прибора, при котором обеспечивается наиболее низкое (при прочих равных условиях) давление в приборе.

Исходя из того, что величина эффективной скорости откачки прибора зависит от расстояния между частями прибора была разработана методика оптимизации технологии камерной откачки электровакуумных приборов с точки зрения выбора оптимального расстояния между частями прибора при откачке.

Производилась экспериментальная проверка полученных теоретических данных. Для этой цели была разработана экспериментальная установка, в камере которой откачивались макеты диодов.

Экспериментально установлена зависимость величины разнесения частей прибора при откачке на его вакуумные и электрические параметры.

## ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ НАСЫЩЕНИЯ

**Р.О. Кондратенко, С.Б. Нестеров**

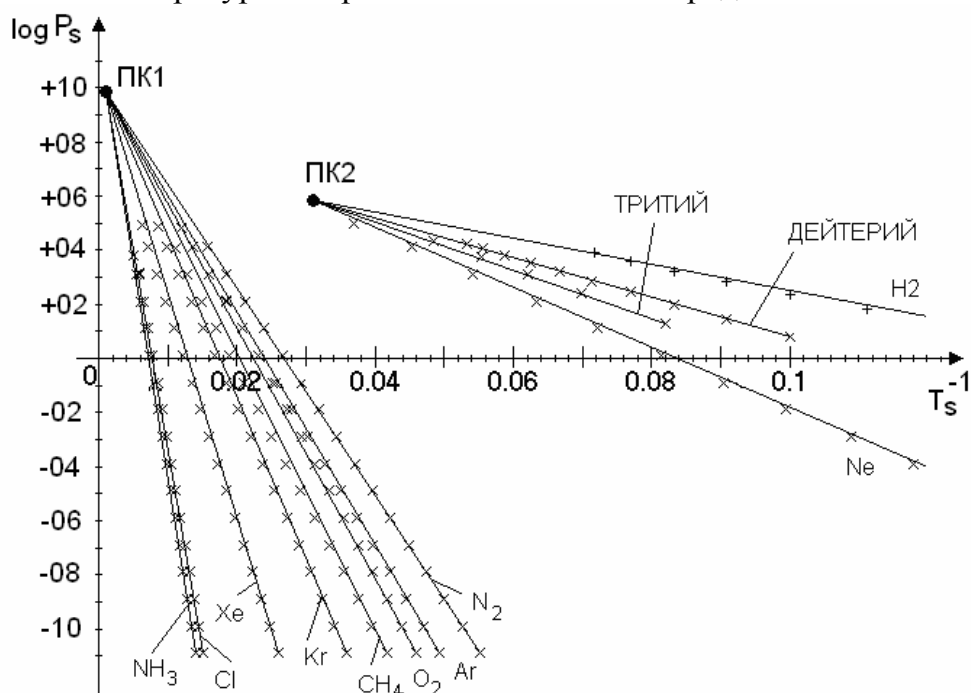
*МЭИ (ТУ), Москва, ул. Красноказарменная, 14. E-mail: Rim19@mail.ru*

При расчетах, проектировании и эксплуатации криовакуумных насосов часто важно знать зависимость давления насыщенных паров вещества над твердой фазой от температуры. Обычно в этом случае используют либо табличные значения из справочников либо уравнения связывающие значения давления насыщения  $P_s$ , Па и температуры насыщения  $T_s$ , К. В данной работе представлен простой и быстрый способ определения давления насыщения по температуре без применения ЭВМ и справочников, что вполне актуально при проверке работоспособности насосов, оценке изменения давления насыщения в системе, при расчетах сложных высоковакуумных систем.

Зависимость  $\log P_s$  от  $1/T_s$  наводит на мысль о том, что для групп газов ( $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $Ar$ ,  $O_2$ ,  $Kr$ ,  $He$ ,  $CH_4$ ,  $Cl$ ) и ( $Ne$ ,  $T$ ,  $D$ ,  $H_2$ ) можно найти общие точки пересечения (рис.1). Эти точки мы называем полюсами конденсации. Полюс первой группы имеет координаты  $\log P_{пк1} = 9.845$ ;  $1/T_{пк1} = 0.001$ . Полюс второй группы имеет координаты  $\log P_{пк2} = 5.845$ ;  $1/T_{пк2} = 0.03$ . Линия насыщения вещества в координатах  $\log P_s(1/T_s)$  представляет собой прямую линию, проходящую через полюс конденсации. Для построения этой прямой достаточно взять еще одну точку на линии насыщения. В табл.1 представлены значения полюсов



конденсации и вспомогательных точек. Погрешность определения давления насыщения по температуре не превышает половины порядка.



**Рис. 1.** Кривые насыщения в координатах  $\log P_s(T_s^{-1})$ ;  $P_s$  – давление (Па);  $T_s$  – температура (К); ПК1 – точка пересечения кривых насыщения для первой группы газов ( $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $Ar$ ,  $O_2$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ ,  $CH_4$ ,  $Cl$ ); ПК2 – точка пересечения кривых насыщения для второй группы газов ( $Ne$ ,  $T$ ,  $D$ ,  $H_2$ ).

**Таблица 1.** Данные для построения линий насыщения веществ.

Первая группа		
Координаты полюса конденсации: $\log P_{ПК1} = 9.845$ ; $1/T_{ПК1} = 0.001$		
Координаты второй точки:		
газ	$\log P$	$1/T$
$N_2$	-10	0,0526
$NH_3$	-10	0,0135
$Ar$	-10	0,0469
$O_2$	-10	0,0439
$Kr$	-10	0,0340
$Xe$	-10	0,0247
$CH_4$	-10	0,0395
$Cl$	-10	0,0145
Вторая группа		
Координаты полюса конденсации $\log P_{ПК2} = 5.845$ ; $1/T_{ПК2} = 0.03$		
Координаты второй точки:		
газ	$\log P$	$1/T$
$Ne$	-10	0,1727
$T$	1,3	0,0820
$D$	0,8	0,1000
$H_2$	-7	0,2941

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ И КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ  
ВАКУУМНЫХ КАРБОНИТРИДТИТАНОВЫХ  
ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ**

**Л. В. Кадаева, Л. Г. Гурвич, Н.А. Смоланов**

МГУ им. Н.П.Огарева, Саранск, Большевистская, 68.

*E-mail: smolanovna@yandex.ru*

В последние годы выявлена перспективность использования в качестве упрочняющих износостойких покрытий окислов, карбидов, нитридов.

Получение указанных покрытий реализуется газотермическим, детонационным и электрофизическим методами, в частности вакуумным ионно-плазменным методом.

Нитридные покрытия, обладающие высокой твердостью, износостойкостью, коррозионной устойчивостью, используются в машиностроении для поверхностного упрочнения деталей машин и механизмов.

Несмотря на широкое применение нитрида титана в различных областях, до конца остается не изученным вопрос о коррозионной стойкости покрытия в зависимости от его толщины и чередующихся слоев карбида и нитрида.

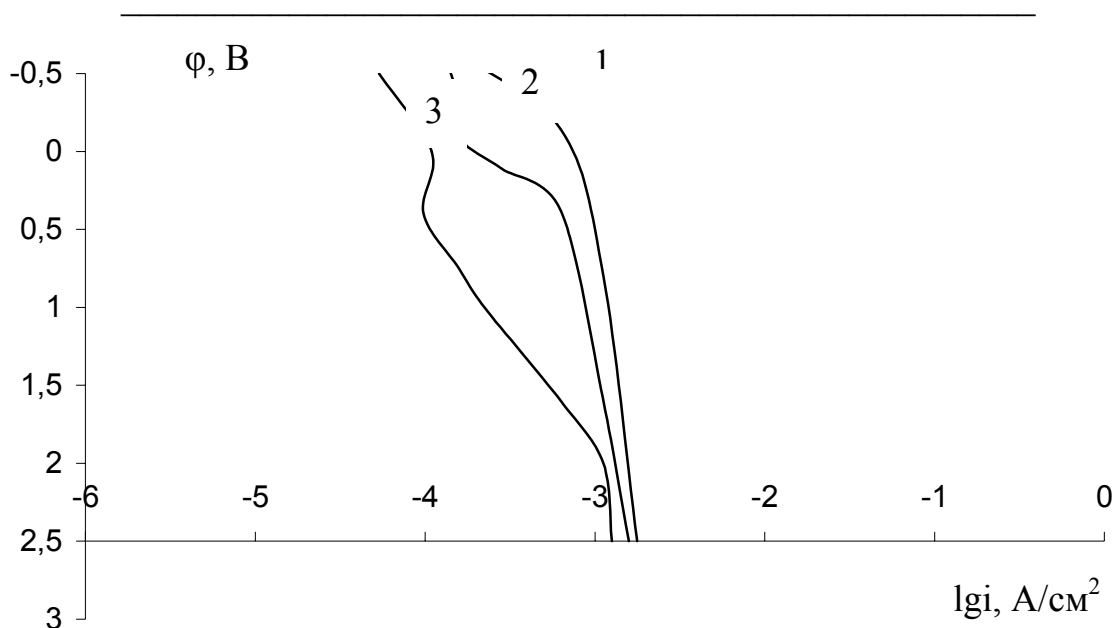
Целью работы является исследование коррозионной стойкой стали 08X18H10T в различных агрессивных средах и исследование защитных свойств TiN (Ti-C)–покрытий, осажденных на подложку стали 08X18H10T в среде азота и ацетилена. Электрохимические исследования проводились на потенциостате ПИ-50-1 с регистрацией сигналов «потенциал-ток».

Были проведены гравиметрические исследования образцов стали без покрытия в 3%-ом растворе NaCl, в растворах 0,1 н Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0,1 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с pH=5,5 и в растворах 0,1 н NaCl и 0,1 н HCl с pH=5,5.

Коррозионных испытания показали, что скорость коррозии в кислых растворах в 2 раза меньше, чем в 3%-ом растворе NaCl. Присутствие сульфат ионов, также как и хлорид ионов, способствует образованию гидратированных продуктов реакции. В растворе сульфата натрия защитный слой образуется быстрее, чем в хлориде натрия. Этим можно объяснить более быстрое уменьшение скорости коррозии в растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с pH=5,5.

Электрохимическому исследованию подвергалась сталь 08X18H10T без покрытия и с TiN-покрытиями толщиной 2мкм и 4мкм в 3%-ом растворе NaCl.

Потенциодинамические кривые в 3%-ом растворе NaCl представлены в качестве примера на рис. 1. На поляризационных кривых обнаруживаются области активного растворения, области активно-пассивного состояния и зоны пассивного состояния. Стационарный потенциал во всех случаях лежит в отрицательной области потенциалов. При смещении потенциала в положительную область интенсивность токов растворения падает, намечается тенденция к их стабилизации, система переходит в малоактивное состояние, близкое к пассивному. Наименьшие токи растворения, наибольшая коррозионная стойкость, у стали 08X18H10T с TiN-покрытием (h=4мкм), поэтому ее можно считать наиболее коррозионностойкой в 3%-ом растворе NaCl.



**Рис. 1.** Анодные поляризационные кривые в 3%-ом растворе NaCl.  
1- сталь 08X18H10T  
2- сталь 08X18H10T с TiN-покрытием ( $h=2$  мкм)  
3- сталь 10T с TiN-покрытием ( $h=4$  мкм)

### Выводы

Выявлена зависимость скорости коррозии от толщины покрытия и кислотности среды. Характер разрушения имеет вид питтингов.

Установлено закономерное расположение анодных поляризационных кривых на координатной плоскости  $\varphi = f(\lg i)$  в зависимости от толщины Ti-N-покрытия. В области малых токов располагаются АПК стали 08X18H10T с Ti-N-покрытием ( $h=4$  мкм).

### ОПЫТ ПО ПЕРЕВОДУ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР НА БЕСШТЕНГЕЛЬНУЮ ОТКАЧКУ

**А.С. Мясников, В.И. Воронин**

СГТУ, Саратов, ул. Политехническая, 77. E-mail: [ems@sstu.ru](mailto:ems@sstu.ru)

Одним из направлений повышения эффективности производства вакуумных дугогасительных камер (ВДК) является совмещение технологических операций пайки всех деталей изделия с его откачкой. При такой технологии, получившей наименование однозаходной, отпадает необходимость откачки ВДК через штенгель, обычно используемый в производстве электровакуумных приборов.

Однако переход к однозаходной технологии связан с решением ряда технических проблем, к числу которых относится обеспечение при пайке требуемых конструктивных параметров с высокой точностью. Это, в свою очередь,

предполагает существенную переработку конструкции отдельных узлов и деталей и разработку весьма сложной технологической оснастки с наличием механизмов перемещения и давления, которые будут занимать значительный объем вакуумной камеры откачного поста. С учетом того, что эффективность производства достигается при одновременной пайке и откачке максимально возможного количества изделий, последнее обуславливает необходимость создания специального дорогостоящего откачного оборудования.

В связи с изложенным представляется целесообразным поэтапный переход к однозаходной технологии производства ВДК, первым этапом которого является внедрение бесштенгельной откачки при минимальном изменении конструкции с использованием существующего откачного оборудования. На этом этапе может быть не только проработан один из основных вопросов - совмещение операций пайки и откачки, но и проведена оценка влияния на работоспособность изделия снижения качества контроля за газовыделением из откачиваемого изделия, свойственного бесштенгельной откачке. Кроме того, только внедрение бесштенгельной откачки при минимальном изменении конструкции ВДК позволит получить экономический эффект, поскольку при такой технологии увеличивается скорость откачки на два порядка (с 0,5 л/с при откачке через штенгель до 50 л/с). В результате достигается сокращение цикла откачки за счет ускорения подъема температуры при термической обработке изделия [1,2].

Ниже приводятся результаты работ по переходу к бесштенгельной откачке ВДК типа КДВА5-10-20/1600 с использованием откачного оборудования, на базе которого осуществляется серийный выпуск ВДК данного типа.

При изготовлении ВДК типа КДВА5-10-20/1600 с откачкой через штенгель в камеру откачного поста загружается 6 изделий. Их откачка осуществляется от общего штенгеля через «гребенку». Количество одновременно откачиваемых изделий ограничивается «пропускной способностью» «штенгельной» системы. При бесштенгельной откачке данное ограничение отсутствует. Однако возникает другое, связанное с обеспечением однородного нагрева внутри вакуумной камеры откачного поста для одновременной пайки большого числа изделий. При этом полагается, что ограничений по «откачной способности» самого изделия нет.

Экспериментальная часть работы проводилась с использованием камеры вакуумной печи ИО.057.0030 при откачке диффузионным вакуумным насосом. Зона нагрева камеры, в которой создавался вакуум  $10^{-4}$  Па, позволяла разместить 15 изделий (3 ряда, по 5 изделий в ряду). При этом исключалась экранировка их друг другом.

С целью размещения в камере откачного поста максимального количества изделий откачное отверстие перенесено в центр фланца узла неподвижного контакта. Место размещения отверстия на фланце выбрано с учетом наличия на нем гнезд для крепления ВДК в аппаратуре. Во втулке, выполняющей функцию штока контакта, делаются откачные отверстия. Герметизация ВДК после термической обработки в камере проводится с помощью заглушки, выполненной в виде диска с вырезами. Кольцо припоя гофрировано. При таком решении способа герметизации отпадает необходимость использования сложной оснастки. Ее заменяет груз, располагаемый на заглушке. Геометрические параметры отверстий во фланце и втулке, гофр кольца припоя и вырезки

на заглушке позволили существенно увеличить скорость откачки ВДК по сравнению со скоростью при штенгельной откачке, что позволяет сократить время термической обработки, а, следовательно, и время общего цикла откачки.

По технологии бесштенгельной откачки было проведено две партии ВДК. В первой партии для пайки применялся припой ПСр-72 с температурой плавления 780°С, который использовался при пайке отдельных узлов. Был получен отрицательный результат по причине нарушения выполненных ранее соединений и разрушения аргонодуговых швов соединения сильфона в узле подвижного контакта. Данный результат можно было прогнозировать, поскольку в частности сильфон из нержавеющей стали после аргонодуговой сварки допускает лишь кратковременный нагрев до температуры 550-600°С.

Положительный результат был получен во второй партии, в которой использовался припой ПСр МиН с температурой плавления 680°С. ВДК этой партии прошли весь объем сдаточных испытаний, в том числе по давлению остаточных газов. Однако окончательное решение следует принимать после проведения ресурсных испытаний. Кроме того, для снижения критичности к режиму пайки при бесштенгельной откачке следует перевести выполнение вакуумного соединения сильфона с аргонодуговой сварки на пайку припоем ПСр72. Тем не менее очевиден экономический эффект, получаемый при переходе на бесштенгельную откачку, поскольку он даже при использовании существующего оборудования обеспечивает уменьшение времени откачки, приведенного к одному изделию с 4,24 часа до 1 часа.

### **Литература**

1. Жолобов СП. Изучение бесштенгельной откачки металло-керамических приборов / С.П.Жолобов, В.Д.Саратовкин. Электронная техника. Сер.5. Приемноусилительные лампы. №1. 1966. С. 65.
2. Печатников М.Н. Бесштенгельная откачка генераторных и модуляторных приборов средней мощности / М.Н.Печатников, Г.А.Востров. Электронная техника. Сер. 16. Генераторные, модуляторные и рентгеновские приборы. №1. 1970. С. 45.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ В ПОСТКРИЗИСНЫЙ ПЕРИОД НА ПРИМЕРЕ ФГУП «НИИ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ ИМ. С.А. ВЕКШИНСКОГО»**

***В.Р. Акчурин, \*Н.И. Оксанич***

*Всероссийская академия внешней торговли, Москва, ул. Пудовкина, д. 4а*

*\*ФГУП «НИИВТ им. С.А. Векшинского», Москва, Нагорный проезд, 7.*

*E-mail: loin@inbox.ru*

К началу 90-х годов в СССР сложилась целая научно-производственная система по разработке и внедрению вакуумных технологий и производству вакуумной техники, включающая в себя более 40 заводов-изготовителей, центром которой стал «НИИВТ им. С.А. Векшинского», ставшим мощным уникальным межот-

***Секция 3. Вакуумные установки и технологии***

раслевым научно-производственным комплексом (НИИ + экспериментальный завод) с численностью персонала более 4000 человек.

Немаловажную роль в этом сыграл ярко выраженный межотраслевой характер вакуумной промышленности, охватывающий многие отрасли, от микроэлектроники до космической аппаратуры. Вакуумная техника была востребована в атомной промышленности, ракетостроении, электронной, электротехнической и других отраслях.

Кризис 90-х годов нанес сильный удар вакуумной промышленности, и главными причинами приостановки всей научно-производственной системы по разработке и внедрению вакуумных технологий и производству вакуумной техники в России стали остановка бюджетного финансирования и сведение к минимуму госзаказов.

За последние 15 лет на фоне интенсивного развития вакуумной науки, техники и технологий в США, Европе и Японии, отставание отечественных производителей вакуумной техники сказывалось все сильнее. В результате, это привело к массовому переходу в нашей стране на применение зарубежной вакуумной техники.

Многие российские предприятия в условиях сильной конкуренции были вынуждены сократить объемы производства, или вовсе перепрофилировать его. Особенно это коснулось таких значимых для отрасли заводов как «Кварц» (г.Калининград), «Ромб» и «Элемаш» (г.Саратов), «НИТИ» (г.Рязань) и другие. Из 40 профильных предприятий сохранили свое существование только 3 завода. Преобразованный в ФГУП, «НИИВТ им. С.А. Векшинского» потерял свои лидирующие позиции, как на мировом, так и на национальном рынке.

К проблеме финансирования в отрасли в целом, и в «НИИВТ им. С.А. Векшинского» добавились еще две: потеря научно-кадрового потенциала и производственных мощностей. Во многом это явилось следствием тяжелого финансового состояния: при отсутствии государственных заказов было законсервировано оборудование, которое затем, с течением времени, стало морально устаревать. Человеческие ресурсы также были потеряны, здесь имели место и переход на другие, непрофильные специальности, и «утечка мозгов» за границу.

В результате возник дисбаланс в производственной структуре предприятия – недостаточность квалифицированных кадров, устаревание оборудования, отсутствие маркетинговых служб для изучения рынка и сбыта товаров.

Для решения всех этих проблем и оптимизации научно-производственной структуры предприятий вакуумной промышленности необходимо создавать государственные программы на федеральном уровне, а на уровне предприятий производить реструктуризацию, разрабатывать стратегию восстановления и развития.

Такая стратегия восстановления научного потенциала, начавшаяся с создания 12 новых подразделений, закупки и монтажа новейшего оборудования, была сформирована во ФГУП «НИИВТ им. С.А. Векшинского». Проблема комплекта-

ции штата необходимыми сотрудниками решается, в частности, системой подготовки высококвалифицированных специалистов в области вакуумной техники<sup>1</sup>.

В результате реструктуризации «НИИВТ им. С.А. Векшинского» и оптимизации имеющейся ресурсной базы объем реализации продукции увеличился более чем в 4 раза, численность персонала возросла в 1,5 раза, прирост оборотных активов за неполный год составил 25,2%<sup>2</sup>.

За 2006 года деловая активность предприятия повысилась, об этом свидетельствуют как увеличение показателей оборачиваемости оборотных средств, так и показателей рентабельности. В результате повысилась производительность труда и фондоотдача, происходит устранение дисбаланса в производственной структуре.

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВАКУУМНЫЕ БЫТОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**В.В. Вязовский, А.В. Райко, В.П. Шумарин**

*СГТУ, Саратов, Политехническая, 77. e-mail: [ems@sstu.ru](mailto:ems@sstu.ru)*

Переработка и длительное хранение сельскохозяйственной продукции с максимально возможным сохранением биологически активных компонентов сырья является актуальной задачей. Наиболее прогрессивными, гигиеничными и безопасными способами переработки, упаковки и хранения пищевых продуктов в настоящее время является вакуумная, вакуумно-сублимационная ультразвуковая (УЗ) и сверхвысокочастотная (СВЧ).

Недостатками известных способов получения масла из сливок является механическое разрушение и деформация жировых шариков при удалении белковой оболочки и остатков органических примесей. В данной работе обсуждаются варианты разработки бытовых устройств, для переработки молочной продукции.

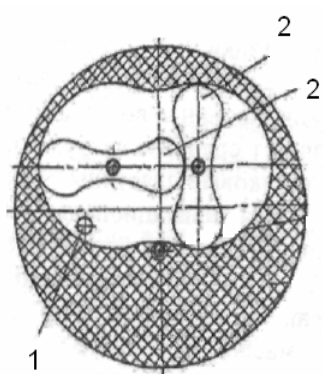


Рис. 1

Разработано устройство для взбивания масла [1]. Задача разработки - уменьшение времени приготовления масла и снижение энергозатрат с одновременным повышением качества готового продукта.

Устройство работает следующим образом. Емкость заполняется сливками, плотно закрывается крышкой. При включении электродвигателя сливки получают вращательное движение вокруг

<sup>1</sup> См. Нестеров С.Б. Система подготовки специалистов в области физики вакуума, вакуумной техники и технологии. Материалы Второй российской студенческой конференции «Вакуумная техника и технология». Казань, 2005 г.

<sup>2</sup> По данным финансовой отчетности «НИИВТ им. С.А. Векшинского» за 2003-2006 гг.

геометрической оси емкости и встречное возвратно-поступательное движение за счет пропеллерного устройства мешалок и дополнительно взаимодействуют с неподвижными билами. Постоянная откачка паров двухроторным вакуумным насосом (рис. 1), также приводимым во вращение валом электродвигателя через отверстие 1, создает разрежение в ёмкости в пределах 0,1...0,5 атмосферы. Поскольку при сбивании масла требуется удалить белковые оболочки с жировых шариков, то это производится одновременным сочетанием трех способов: ударом, сдвигом шариков относительно друг друга под давлением и кавитацией. Наименее желательным является удар, поскольку при этом разрушаются и сами жировые шарики, что ухудшает сортность масла. Постоянное разрежение, создаваемое в емкости вакуумным насосом, резко усиливает кавитационные процессы, способствующие более быстрому и качественному удалению белковых оболочек с жировых шариков с их минимальными повреждениями, что повышает качество готового продукта.

Следует отметить, что вакуум, создаваемый в ёмкости при работе устройства позволяет эффективно удалять из зоны механоактивации продукты разложения белковой оболочки и влаги, а величина вакуума определяется геометрическими размерами двухроторного вакуумного насоса, скоростью его вращения, зависящей от параметров электродвигателя и передаточного отношения зубчатых колес, а также размеров емкости и для каждого конкретного случая должно быть рассчитано соответствующим образом. Расчёты насоса уже проведены, краткая их методика изложена ниже.

Разрежение в ёмкости нужно получить порядка 0,1...0,5 атмосферы, следовательно, сначала определяется быстрота действия насоса. Мощность привода лучше брать со стандартного мотора, используемого в отечественных устройствах для изготовления масла, но при необходимости она рассчитывается по формуле  $N = u / (2 \cdot \pi \cdot R)$ . Далее вычисляют геометрические размеры роторов 2, в зависимости от их профиля. Материал роторов и корпуса делают из сплава Al1 (ГОСТ 2685-75).

Разработан еще один способ и устройство для получения масла [2]. Способ заключается в том, что механоактивацию сбивания масла совмещают с синхронным и синфазным воздействием ультразвуковыми (УЗ) и сверхвысокочастотными (СВЧ) колебаниями. Сущность устройства для получения масла из сливок заключается в том, что лопасти выполняют из набора пластин полупроводникового материала, способного под электрическим напряжением к генерированию УЗ и СВЧ колебаний (диод Ганна). При этом на лопасти устанавливают экран так, чтобы во время работы устройства относительно оси их вращения создавался максимальный крутящий момент. Кроме этого, часть вакуум-провода располагают на крышке бачка коаксиально стержней с возможностью совместного с лопастями движения, что позволяет эффективно удалять из зоны механоактивации продукты разложения белковой оболочки и влаги, отказаться от автономного механического привода вращения лопастей, а многофакторную механоактивацию проводить от одного источника. Это позволяет повысить качество продукта и расширить технологические возможности способа.



Испытание по получению масла из сливок на предложенных устройствах по указанному способу показало низкие энергозатраты, высокое качество масла. Примером широких технологических возможностей предлагаемого способа и устройства является то, что их можно использовать для приготовления водотопливных смесей для дизельных двигателей.

Основным преимуществом заявленного способа и устройства является многофакторная синхронная и синфазная активация, механическое, УЗ и СВЧ воздействие на обрабатываемый объект, причем воздействие осуществляется в микрообъемах; если проводить обработку биологических объектов в макромасштабе мощными УЗ и СВЧ колебаниями, возможны изменения их свойств.

### **Литература**

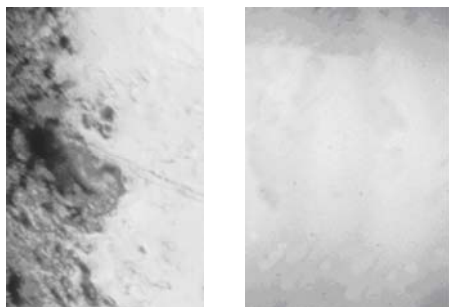
1. Шумарин В.П., Скрипкин А.А. Устройство для сбивания масла. Патент на изобретение №2128908, 1994г.
2. Шумарин В.П., Скрипкин А.А., Коблов А.И., Денисов А.А. Способ и устройство для получения масла. Патент на изобретение №2134515, 1997 г.

## **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ПОЛИРОВКА САПФИРА**

**Е.В. Луговой, С.П. Авдеев**

*Технологический институт Южного федерального университета  
Таганрог, пер. Некрасовский, 44. E-mail: avdeev@tsure.ru*

В докладе проведен анализ методов полировки поверхности подложек, выявлены их достоинства и недостатки. Основным недостатком проанализированных методов является то, что с их помощью невозможно полностью удалить нарушенный поверхностный слой. Этот нарушенный слой может влиять на структуру, морфологию, генерацию дефектов в слоях получаемых на поверхности подложки, и, как следствие, на характеристики устройства /1/. В связи с представленной проблемой подготовки поверхности нами предложен способ полировки поверхности сапфира электронным лучом.



а) б)

**Рис. 1.** Лейкосапфировая  
пластина

Сущность метода электронно лучевой полировки заключается в следующем: при взаимодействии электронного луча с веществом кинетическая энергия электронов превращается в другие виды энергии. Это позволяет использовать электронный луч в технологических процессах в качестве инструмента, который воздействует на обрабатываемый материал. Электронный луч локально повышает температуру области до фазового перехода твердое тело – расплав /2/. После появления расплава, что соответствует температуре плавления сапфира, образуется жидкая ванна материала, в которой за счет гравитаци-

онных сил и сил поверхностного натяжения происходит модификация поверхности в сторону атомарно – гладкости. Развитие процесса полировки будет определяться нестационарными процессами, происходящими в жидкой фазе, зависеть от кинетических свойств вязкости течения жидкости. Монокристалл сапфира имеет температуру плавления 2323 К, коэффициент температуропроводности очень высок, теплоемкость  $0,181 - 0,187 \text{ Кал}/(\text{г} \cdot \text{К})/2/$ . При этом расплав сапфира имеет низкую вязкость, следовательно, процесс обработки сапфира электронным лучом должен производиться с высокими энергиями электронного луча и скоростями обработки.

Объектом исследования параметров поверхностного слоя являлась лейко-сапфировая пластина размером  $50 \times 10 \times 60 \text{ мм}$ , обработанная по методу обычной шлифовки и полировки и по методу электронно – лучевой полировки (ЭЛП) (рис. 1а,б). На рис. 1а пластина обработана по методу шлифовки и полировки (слева) и методом ЭЛП (справа). Можно наблюдать, что шероховатость поверхности в области пластины, обработанной шлифовкой и полировкой больше, чем шероховатость области, обработанной ЭЛП. На рис. 1б представлена область пластины, обработанная методом ЭЛП.

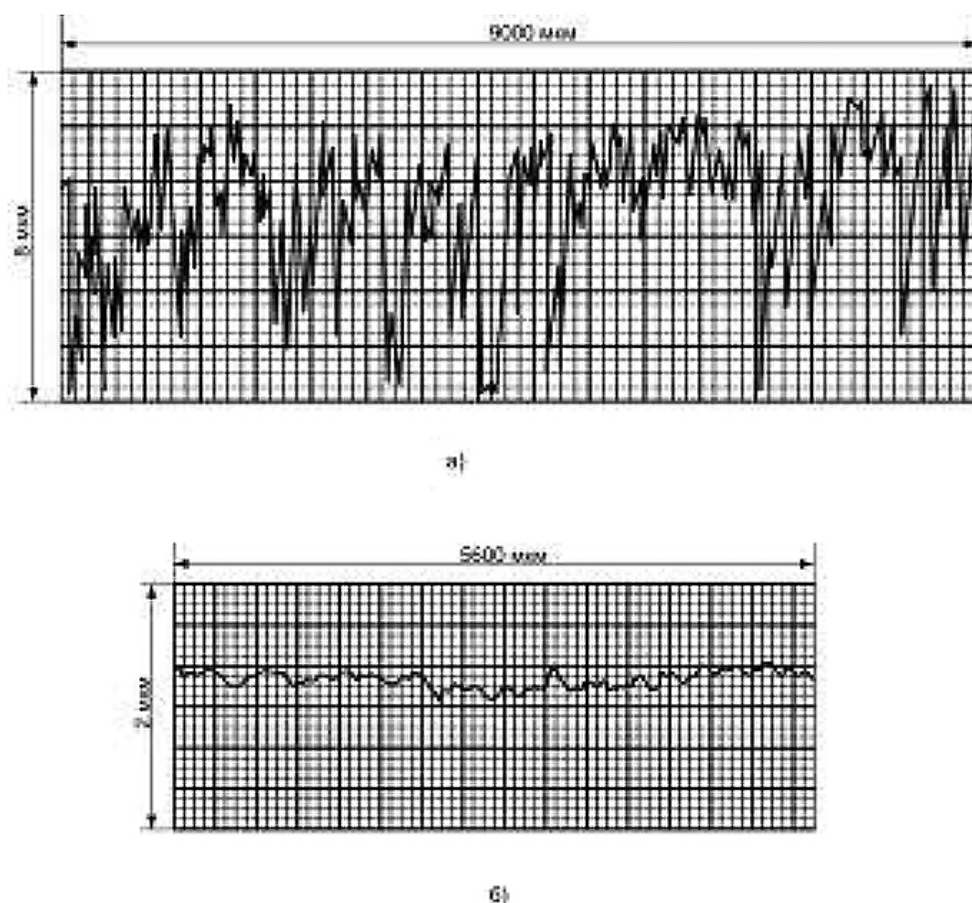


Рис. 2. Профилограмма поверхности лейкосапфировой пластины до электронно-лучевой полировки (а) и после (б).

Исследование структуры поверхности до и после ЭЛП проводилось измерением микронеровностей профилографией; оптических параметров поверхности – эллипсометрией. Шероховатость лейкосапфировой пластины до ЭЛП составляла 4,14 мкм, после ЭЛП 0,07 мкм. Результаты показывают, что шероховатость поверхности после ЭЛП уменьшилась в 4-5 раз.

Как видно из профилограммы (рис. 2) высота неровностей до ЭЛП была порядка 8 мкм, после обработки высота была уже десятки нанометров, что говорит о том, что технологию электронно-лучевой полировки можно эффективно применять для получения поверхностей без нарушенного слоя.

Нами были проведены эксперименты по отработке режимов ЭЛП сапфира, в результате которых была получена оплавленная электронным лучом поверхность сапфировой пластины без нарушенного слоя.

Анализ поверхности показал, что шероховатость пластины уменьшилась до десятков нанометров. Следовательно, с помощью технологии ЭЛП поверхности сапфира можно получать предельно гладкие бездефектные поверхности подложек с однородной морфологией для микро- и нанoeлектроники.

### **Литература**

1. Козлов Ю.Ф., Зотов В.В. Структуры кремния на сапфире: технология, свойства, методы контроля, применение. Учебное пособие – М.: МИЭТ, 2004г.
2. Авдеев С.П., Дудко Г.В. Электронно-лучевая обработка МКП. // Тез. док. Региональной НТК “Обработка материалов высококонцентрированными источниками энергии” - Пенза, ППИ, 1991, с.18-20.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА КЕРАМИЧЕСКУЮ ПЛИТКУ**

**А.Р. Бикмуллин, В.А. Глинкин**

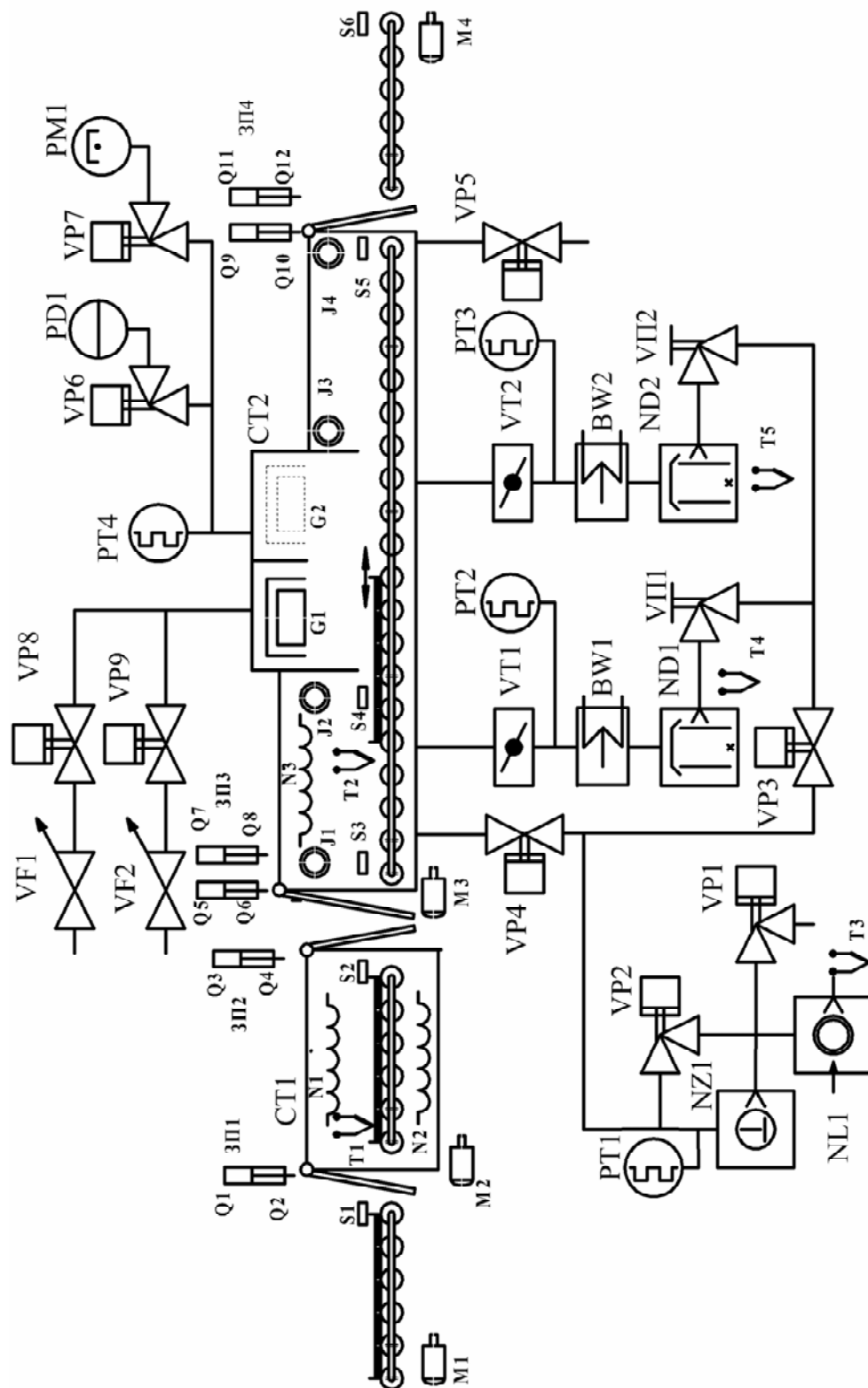
*КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: vacuum@kstu.ru*

Нанесение декоративных покрытий на различные изделия широко применяется в современной промышленности. Используется два технологических подхода. Первый – нанесение трехслойного покрытия лак-металл-лак, второй нанесение соединений металлов типа нитридов и оксидов.

Для нанесения декоративного покрытия на керамическую плитку выбран второй подход. Планируется возможность нанесения титана и нитрида титана. Эти покрытия обладают высокой износостойкостью и влагостойкостью. В качестве источника для нанесения выбран дуговой испаритель, обеспечивающий необходимую адгезию к поверхности керамики, и не очень требовательный к параметрам процесса нанесения.

Используя имеющийся опыт определено, что перед загрузкой в вакуумную камеру плитку необходимо прогреть до температуры 180 °С для удаления из поверхностного слоя воды. Причем должны быть созданы условия ее удаления прежде всего с задней, не покрытой эмалью стороны. После удаления воды

плитка сразу должна попадать в вакуумную камеру, при этом желательно под-  
 держание ее температуры не ниже  $150^{\circ}\text{C}$ .



**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

Для нанесения покрытия разработана схема установки, показанная на рисунке. Камера прогрева и камера нанесения покрытия размещается в линию. В камере имеется дополнительный нагреватель обеспечивающий поддержание температуры плитки во время осаждения. Плитка размещается на специальных сетчатых поддонах. Поддон перемещается в камере напыления с помощью роликового транспортера проходя мимо дугового испарителя. Для нанесения нитрида титана в камеру напускается азот и обеспечивается процесс реактивного осаждения.

Для напуска газов используются регуляторы расхода типа РРГ-10. Для контроля давления при реактивном процессе применяется емкостный деформационный преобразователь фирмы Pfeiffer.

Система откачки состоит из двух диффузионных насосов НВДМ 400, насоса ДВН-150 и насоса АВЗ-90.

Клапаны и затворы планируется использовать с пневмоприводом.

Система контроля и управлением процессом планируется с использованием контроллера.

Планируемое время цикла 30 минут. Поверхность плитки покрываемая за один цикл 600x1200мм.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  
ОСАЖДЕНИЯ НИТРИДА ТИТАНА ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ  
ИОНАМИ РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГИЙ**

**О.Ф. Четвертакова, Н.А. Смоланов**

*E-mail: smolanovna@yandex.ru*

Целью работы являлось исследование коэффициента осаждения нитрида титана при получении тонких плёнок методом конденсации с ионной бомбардировкой.

На установке ННВ 6.6И4 производилось нанесение покрытия нитрида титана на образцы стали 12Х18Н10Т известной массы.

После нанесения покрытия образцы взвешивались на аналитических весах. Коэффициент осаждения определялся по формуле:

$$S = \frac{N_{Ti}}{N_{ОБЩ}} \quad (2.1)$$

где  $N_{Ti}$  - число молекул титана на образце,  $N_{ОБЩ}$  - общее число молекул. Эти величины можно вычислить:

$$N_{Ti} = \frac{\Delta M \cdot N_A}{m_{Ti}} \quad (2.2)$$

где  $\Delta M$  - прирост массы подложки,  $\Delta m_{Ti}$  -48г/моль,  $N_A$  – число Авогадро.

$$N_{\text{общ}} = \frac{J_i \cdot \Delta t}{Z_e} \quad (2.3)$$

где  $J_i$  – ионный ток,  $\Delta t$  – время нанесения покрытия,  $Z_e$  – заряд.

В итоге получаем:

$$S = \frac{\Delta M \cdot N_A \cdot Z_e}{m_{Ti} \cdot J_i \cdot \Delta t} \quad (2.4)$$

Расчет проводился в предположении, что ионный ток и его распределение по образцам (расстояние от катода 42–46 см) было равномерным (разброс не более 10%). Заряд ионов изменялся в интервале (1–2)e (e – заряд электрона) в соответствии с потенциалом подложки и парциальным давлением реакционного газа (азота) в камере.

Показано, что в области малых значений энергии ионов преобладают процессы конденсации, коэффициент распыления изменяется от 0,03 до 0,12 атом/ион. При энергии ~1 кэВ процессы осаждения и распыления уравниваются. Свыше 1 кэВ преобладают процессы распыления материала подложки.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ВАКУУМНОЙ СУШКИ-ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

**Н.Р. Галяветдинов, Р.Р. Сафин, Л.Р. Юнусов, Р.М. Иманаев**  
КГТУ, Казань, К.Маркса, 68

Качество изделий из древесины в значительной степени зависит от технологии проведения сушки. Процесс сушки является одной из самых энергоемких операций в деревообрабатывающей промышленности, значительно увеличивающей себестоимость продукции, вследствие высокой продолжительности процесса и больших потерь в окружающую среду. Применение вакуумных технологий позволяет сократить продолжительность и использовать пониженные температуры при сушке.

С целью рационализации режима сушки, экономии энергоресурсов и улучшения качества высушиваемой пилопродукции на кафедре переработки древесных материалов была создана экспериментальная установка автоклавной сушки-пропитки древесины.

Установка, представленная на рис. 1, содержит герметичную камеру 1, которая получает тепловую энергию от электрических нагревательных элементов 2. С нижней стороны крышки 3 установлен тензометрический датчик 4, для определения текущей плотности древесины, при изменении которой в процессе сушки-пропитки изменяется подъемная сила, действующая на штабель пиломатериалов 5, погруженный в гидрофобную жидкость; при этом текущая плотность определяется по выражению

$$\rho = \frac{V \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g - F_{\text{ар}}}{g \cdot V}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{ар}}$  – суммарная архимедова сила, которой штабель действует на тензометрические датчики, Н;  $V$  – объем древесины в камере,  $\text{м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность гидрофобной жидкости,  $\text{кг/м}^3$ .

Температура жидкости регистрируется с помощью погруженной в него термопары 6 и контролируется при помощи электронного терморегулятора 7. Объем закачанной в камеру жидкости измеряется с помощью счетчика 8. Внутренняя полость камеры 1 сообщается с линией вакуумирования, состоящей из конденсатора 9 и вакуум-насоса 10, а также с емкостью для хранения гидрофобной жидкости 11, которая находится ниже камеры сушки 1. В конденсаторе горячая паровоздушная смесь охлаждается, в результате чего выделяющаяся влага стекает в нижнюю часть конденсатора 9, и далее удаляется.

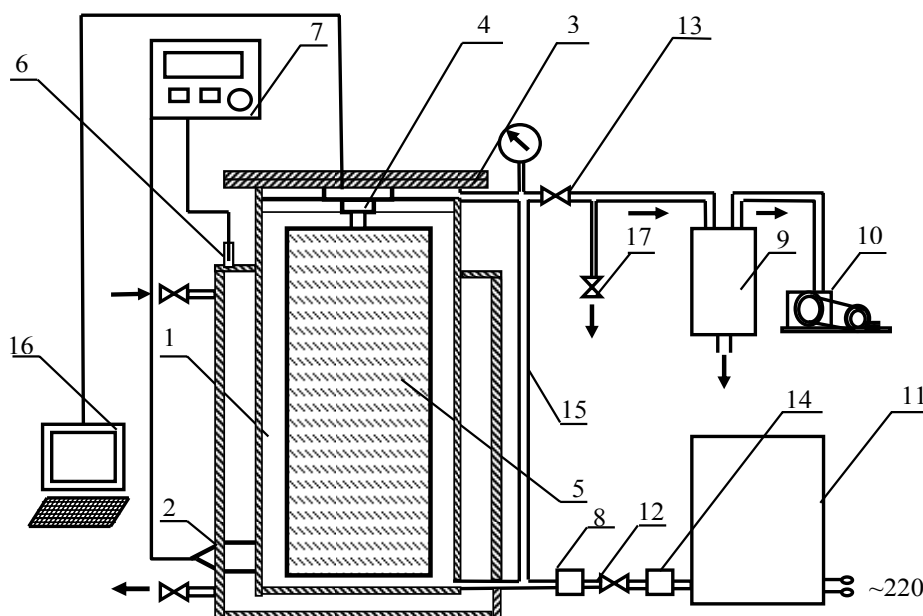


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Процесс сушки-пропитки происходит следующим образом. Штабель пиломатериалов 5 помещают в камеру 1, после герметизации которой с помощью крышки 3 включается вакуум-насос 10. Затем начинается создание вакуума в аппарате и заполнение его предварительно нагретой гидрофобной жидкостью определенного объема, определяемого по счетчику жидкости 8, установленного на трубопроводе, соединяющем рабочую камеру 1 с дополнительной емкостью 11. Заполнение рабочей емкости гидрофобной жидкостью происходит путем создания в рабочей камере вакуума, предварительно открыв вентили 12, 13 за счет чего жидкость из дополнительной емкости 11 с помощью насоса 14 перетекает в рабочую камеру 1. Суммарный объем жидкости с погруженной в нее древесиной определяют по заранее отградуированной мерной трубке 15. Давление в камере откачивается до максимально возможного разрежения, определяемого

техническими характеристиками вакуум-насоса 10. Далее следует выдержка штабеля при заданных условиях. В процессе сушки влажной древесины ее плотность снижается, в результате чего возрастает подъемная сила, действующая на штабель 5. Последний, в свою очередь, оказывает давление на тензометрический датчик 4, сигнал от которого поступает в ЭВМ 16 для записи и дальнейшей обработки. Регистрируя изменение результирующей силы, возможно определение изменения средней плотности исследуемого образца в процессе сушки-пропитки по формуле (1). Объем древесины в камере определяют по разнице показания объема жидкости мерной трубки 15 и показаниями объема жидкости закачанного через счетчик 8:

$$V = V_{\text{м.т.}} - V_{\text{п.с.}}, \quad (2)$$

где  $V$  - объем древесины в камере;  $V_{\text{м.т.}}$  - объем жидкости по показаниям мерной трубки;  $V_{\text{п.с.}}$  - объем жидкости прошедшей через счетчик жидкости.

После достижения древесиной заданной плотности осуществляют разгерметизацию камеры, открыв вентиль 17. Далее открытием вентиля 12 сливают пропиточную жидкость в емкость 11. Затем, открыв крышку 3, извлекают штабель 1.

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ КАМЕР ДЛЯ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ**

***В.И. Романова, Р.Р. Сафин, З.Р. Мустафин, Д.А. Мухаметзянова***

*КГТУ, Казань, ул. К.Маркса, 68. E-mail: cfaby@mail.ru*

В последние годы ведутся активные споры о целесообразности внедрения в производство вакуумных сушильных камер. Противники этой идеи мотивируют свои доводы дороговизной вакуумных установок при малом объеме их разовой загрузки, поэтому проведенный технико-экономический анализ был выполнен в сравнении с получившими наиболее широкое распространение на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности конвективными камерами периодического действия. Продолжительность процесса сушки в таких камерах в зависимости от различных факторов составляет 7–15 суток, для дорогих лиственных пород древесины продолжительность достигает 50 суток, в то время как современные рыночные условия диктуют необходимость максимально быстрого реагирования на все изменения конъюнктуры.

В результате технико-экономического анализа ставилась цель выявления наиболее рациональных областей использования вакуумных технологий сушки пиломатериалов и возможные пути снижения себестоимости сушильного оборудования.

Анализ таблицы 1 показывает, что при заданной годовой производительности эффективность вакуумных технологий достигается лишь при сушке дуба, вследствие значительного снижения энергозатрат по сравнению с традиционными



**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

ми конвективными технологиями. При сушке мягких пород древесины (сосны и березы) подобное не наблюдается, в связи с чем был проведен анализ эффективности капитальных вложений при оказании услуг по сушке сосновых и березовых пиломатериалов с помощью конвективных и вакуумных камер с различным объемом разовой загрузки, представленных на рынке сушильной техники.

**Таблица 1.**

**Сравнительная таблица энергозатрат на процесс сушки**

Наименование показателей	Ед. изм.	Конвективная сушилка			Вакуумная камера		
		сосна	береза	дуб	сосна	береза	дуб
1. Годовая производительность	м <sup>3</sup> /г	1000	1000	100	1000	1000	100
2. Требуемый объем разовой загрузки	м <sup>3</sup>	30	40	13	7,5	10	2,5
3. Себестоимость машино-часа	руб.	63	85	30	65	86	12
4. Энергозатраты сушки 1м <sup>3</sup>	руб.	520	683	2 214	514	690	980

Средняя стоимость сушильного оборудования в зависимости от объема загрузки была определена по прайс-листам ведущих отечественных и некоторых зарубежных производителей ("Термотех", "Вакуум плюс", "ВИТ-Агро", "НПО ВИСП", "Sateko", "Vanichek", "Brunner Hildebrand"). Для определения планируемой годовой прибыли от оказания услуг по сушке пиломатериалов была условно принята фиксированная цена в размере 500 руб/м<sup>3</sup> высушенной древесины.

Анализ показал снижение срока окупаемости капитальных вложений при приобретении сушильной камеры с большим объемом загрузки. Однако применительно к вакуумным камерам с объемом загрузки более 50 м<sup>3</sup> наблюдается резкий ценовой скачок, обусловленный наличием на рынке только зарубежных производителей; отечественные камеры с подобным объемом загрузки на рынке не представлены.

В тоже время следует отметить, что срок окупаемости вакуумных камер при сушке только мягких пород древесины составляет не более 3 лет, при сушке ценных твердолиственных пород данный показатель может быть сокращен до полугода, что является удовлетворительным условием внедрения новой техники в производство.

В результате проведенного технико-экономического анализа можно утверждать, что внедрение вакуумных сушильных камер является наиболее целесообразным при специализации предприятия на ценных твердолиственных породах древесины, где помимо производительности требуется хорошее качество высушиваемых пиломатериалов. При многотонажной сушке мягких хвойных пород с годовой производительностью по условному пиломатериалу более 6000 м<sup>3</sup>, ввиду отсутствия на рынке сушильной техники более дешевых (по сравне-

нию с зарубежными) отечественных вакуумных камер, рекомендуется использование конвективных сушилок. При отсутствии четкой специализации предприятия на какой-либо продукции, что наиболее часто встречается на предприятиях малых форм собственности, работающих на заказ, рациональным является использование вакуумных сушилок, позволяющих максимально быстро выполнить заказ практически из любого вида пиломатериалов.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫХ ЛАКОВ**

***Р.Р. Хасаншин, В.А. Гликин***

*КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: vacuum@kstu.ru*

Технология нанесения декоративных покрытий типа лак-металл-лак широко используется в современной промышленности. Однако до последнего времени использование порошковых лаков в этой технологии не давало желаемых результатов. Главным препятствием была большая шагреня поверхность отвержденной пленки порошкового покрытия, что мешало получению зеркального покрытия.

В процессе нашей работы было получено покрытие обеспечивающее требуемый внешний вид, с глянцевым грунтовым слоем. Получены образцы с покрытием под «хром» и золотистые. Получены оптимальные параметры режима нанесения покрытий.

Проанализированы возможные методы устранения возможного брака, как по причине грунтового, так и защитного слоя.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОТЯЖЕННОГО ПЛАНАРНОГО ДУГОВОГО ИСПАРИТЕЛЯ**

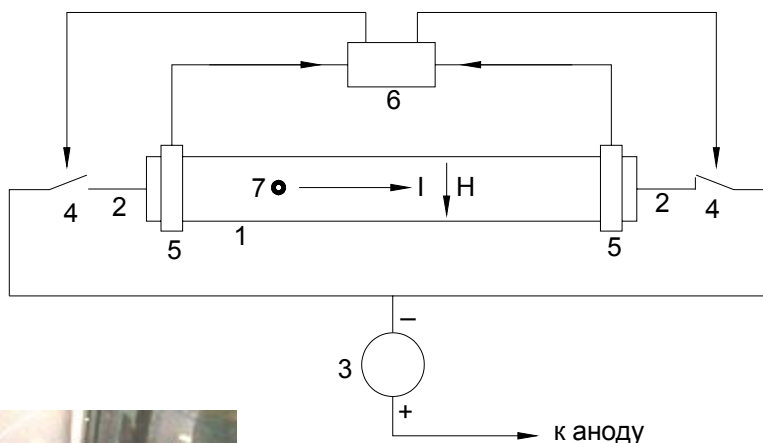
***Р.Я. Шафиков, В.А. Гликин***

*КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: vacuum@kstu.ru*

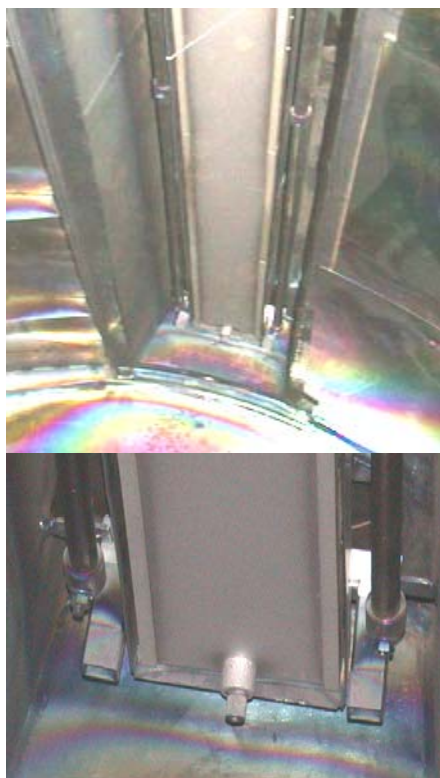
В последнее десятилетие получили развитие протяженные планарные дуговые испарители с управляемым перемещением катодного пятна – рис. 1: 1 – катод; 2 – токоподводы катода; 3 – источник питания; 4 – быстродействующие ключи; 5 – датчик конечного положения КП; 6 – управляющий блок; 7 – катодное пятно [1].

Подобное устройство (рис. 2) было использовано для нанесения слоя оксикарбида титана в многослойном покрытии на солнечные панели. В таком покрытии особую роль играет равномерность покрытия по длине изделия. Титановый катод имеет длину 2,8м. Осаждение проводилось при напуске в камеру CO<sub>2</sub>. Одним из слоев покрытия был слой SiO<sub>x</sub>, осаждаемый в плазме тлеющего разряда. Для крепления изделий использовался барабан, электрически изолированный

от анода. Дуговой испаритель размещался в специальном кармане цилиндрической камеры.



**Рис. 1.**



**Рис. 2.**

В этих условиях проявился эффект исчезающего анода, постепенно усиливающийся от цикла к циклу и искажающий распределение толщины покрытия по длине изделия (недопустимо более 1%). Для обеспечения равномерности в конструкцию камеры был добавлен дополнительный анод, охлаждаемый водой, установлена система газораспределения. В дальнейшем на дополнительный анод из медной трубки были припаяны тонкие пластины из стали, которые обеспечили не запыляемый анод.

Проведенные работы позволили выработать конструктивные решения, которые должны обеспечить равномерность нанесения покрытий в установках с протяженными дуговыми испарителями. Выявлено незначительное влияние конструкции системы напуска газа на равномерность нанесения

покрытия.

### Литература

1. Андреев А.А., Саблев Л.П., Шулаев В.М., Григорьев С.Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – 236 с.

## НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТ УЗИ-ДАТЧИКОВ

**В.А. Гаврилова, Н.Ф. Кашипов**

КГТУ, Казань, ул.К.Маркса, 68. E-mail: vika1985@list.ru

В настоящее время в медицине для диагностики различных заболеваний получили широкое применение ультразвуковые аппараты и комплексы. Главной составной их частью является УЗИ - датчик, важнейшим элементом которого является пьезоэлектрический преобразователь (пластина, колебания которой сначала генерируют, а затем фиксирует отраженный ультразвук). От свойств этого преобразователя зависит на какой глубине в теле пациента можно будет рассмотреть объект, какого размера и с какой четкостью. При прочих равных условиях возможности аппарата для медицинской УЗИ - диагностики определяются свойствами материала.

Однако большую проблему составляет выход из строя УЗИ - датчиков, связанная с истиранием поверхностного слоя пьезоэлемента.

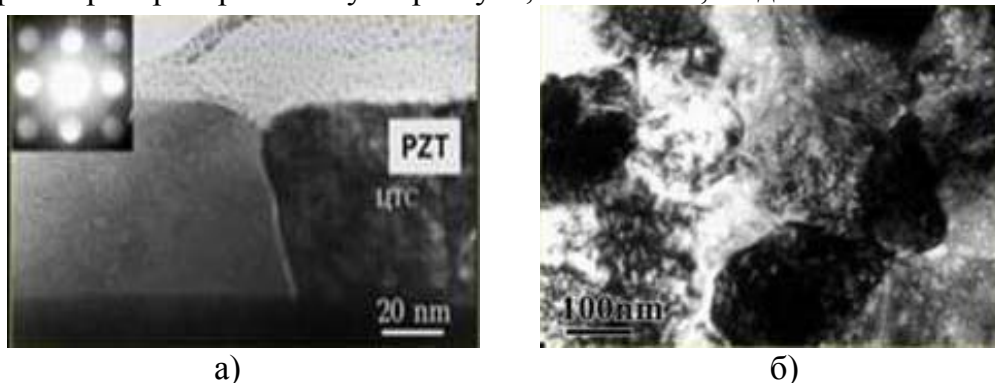
Традиционно современные пьезоэлектрические преобразователи для УЗИ - диагностики делают из керамики типа цирконат-титанат свинца (ЦТС) [1].

Поверхность пьезоэлемента, соприкасающуюся с телом пациента защищают несколькими способами: нанесением металлов и сплавов, либо нанесением эпоксидно-полиэфирных материалов.

Толщина защитного слоя не должна превышать четверти длины волны, чтобы соответствовать требованиям к пропусканию, частичному отражению и поглощению ультразвуковых волн, используемых в преобразователе. Скорость распространения ультразвука рассчитывается по формуле:

$$C = f * \lambda,$$

где  $C$  - скорость распространения ультразвука,  $f$  – частота,  $\lambda$  - длина волны.



**Рис. 1.** Структура пленки ЦТС, полученной с 10% мол.избытка  $\text{PbO}$ :  
а) столбчатые зерна (поперечное сечение), б) вид сверху.

Усредненная скорость распространения ультразвука в тканях человека составляет 1540 м/с – на эту скорость рассчитано большинство ультразвуковых диагностических приборов. Наименьшая рабочая частота датчика равна  $2 \cdot 10^6$  Гц. Подставляя в известную нам формулу, получаем:

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

---

$$\lambda = c/f = 1540 \text{ м/с} : 2 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

И четверть длины волны составляет  $0,167 \cdot 10^3 \text{ м}$ .

Аналогично рассчитывается необходимая нам величина и для датчиков, имеющих большее значение частоты.

Эпоксидно-полиэфирные материалы наносят на детали распылением в электростатическом поле, которое является наиболее удобным и обеспечивает лучший контроль толщины покрытия. Оно основывается на сообщении частицам сухого порошка электрического заряда. Зарядка осуществляется коронным разрядом.

Нанесение металлов и сплавов на пьезокерамику осуществляется плазменно-вакуумным способом. Для напыления традиционно применяют легкоплавкие и среднеплавкие металлы, содержащие серебро, медь, палладий и др., но это не всегда обеспечивает требуемые эксплуатационные свойства УЗИ - датчиков. Поэтому наибольший интерес представляет нанесение самого ЦТС. Однако возникают сложности, связанные с необходимостью получать кристаллическую структуру напыленного металла. Для этого применяется нагрев ЦТС до температуры примерно  $943^\circ\text{C}$  в процессе напыления.

**Литература**

1. Жигалина О.М. Электронная микроскопия элементов сегнетоэлектрических ЗУ на основе многослойных структур Si-SiO<sub>2</sub>-Ti-Pt-ЦТС / О.М Жигалина., П.В Бурмистрова., А.Л. Васильев, В.В. Роддатис, К.А. Воротилов, А.С. Сигов М.: Микроэлектроника, 2001. Т.30. С. 205-217.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК Al И V НА СИТАЛОВОЙ  
ПОДЛОЖКЕ**

**Р.Д. Исхаков, Е.Ф. Чичарин, П.И. Бударин**

*КГТУ, Казань, ул.К.Маркса, 68. E-mail: vacuum@kstu.ru*

Интенсивное развитие методов испарения и конденсации в вакууме за последние 20 лет обусловлено универсальностью технологии, высокой производительностью процесса нанесения покрытий и создания тонких пленок.

Особенное внимание уделяется процессу формирования тонких пленок, так как они нашли широкое применение в производстве интегральных микросхем. Качество изготовления которых связано с жестко контролируемыми параметрами пленки, такими как: удельное сопротивление, толщина, адгезия.

В работе представлены результаты магнетронного распыления Al и V на ситаловые подложки, размерами (60×48×0,6)мм и влияние следующих параметров технологического процесса:

- сила тока на мишени от 4,5 до 6А
- давление в рабочей камере от  $5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$  до  $6,4 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$
- температура в рабочей камере 180-280°C

- времени распыления от 20 до 30 мин.

Следует отметить, что полученные значения являлись средними из общего числа значений свойств напыленных за один цикл пленок. За один технологический цикл было напылено 3-5 подложек. В основном, исследования проводились для алюминиевых пленок. Адгезионный слой ванадия исследовали менее подробно.

Для алюминиевой пленки удельное сопротивление ограничено значением  $0,21 \text{ Ом/см}^2$  и толщиной 1 мкм. Измерение удельного электрического сопротивления проводились на приборе ИУС-3.

Проведенные исследования показали, что интенсивное распыление способствует образованию более толстой пленки, обладающей более низким сопротивлением.

Необходимое удельное сопротивление  $0,21 \text{ Ом/см}^2$  для Al и V получили при силе тока 6А и напряжении 500В (рис. 1).

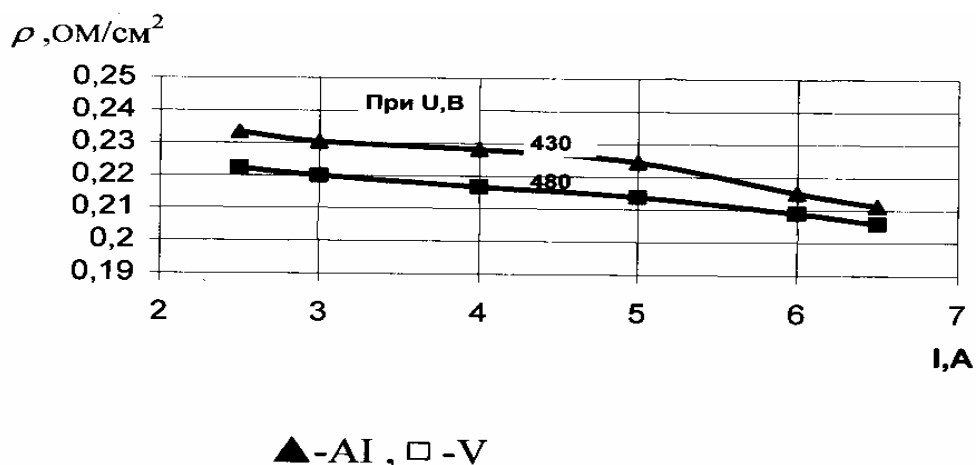


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления от силы тока на мишени

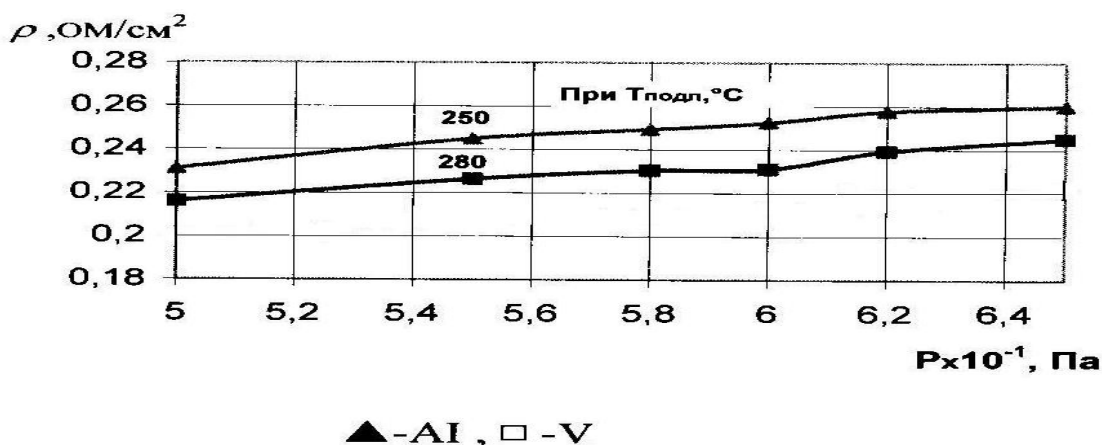
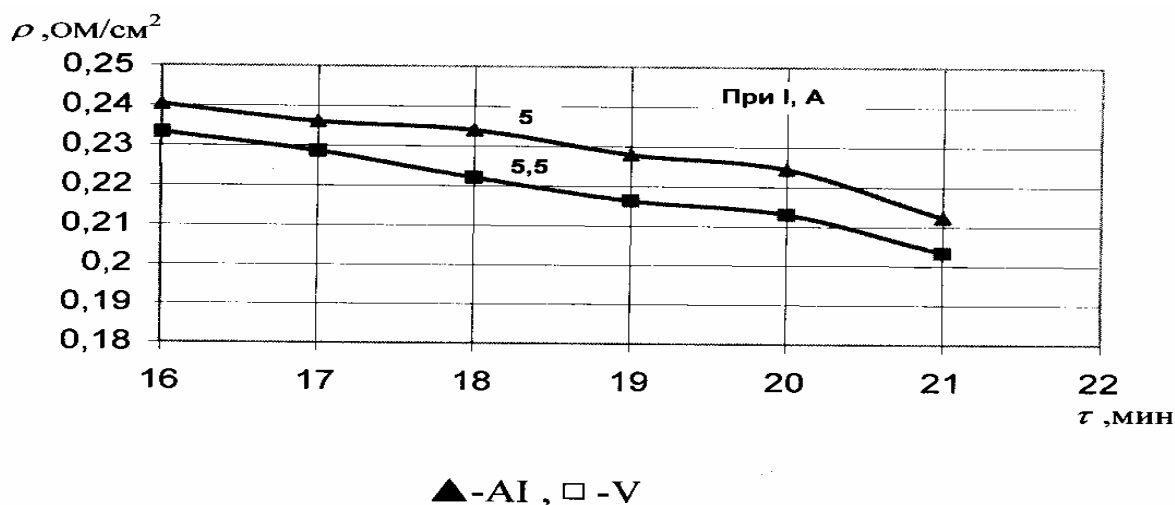


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления от давления в камере



**Рис. 3.** Зависимость удельного электрического сопротивления от времени распыления

Удельное электрическое сопротивление значительно зависит от давления в рабочей камере. При уменьшении давления в рабочей камере до  $5 \cdot 10^{-1}$  Па сопротивление снизилось до 0,23 Ом/см<sup>2</sup>. При этом увеличение температуры подложки вело к уменьшению удельного сопротивления. В итоге, снижение температуры и увеличение давления способствовало существенному возрастанию удельного сопротивления.

Увеличение времени распыления способствует уменьшению поверхностного удельного электрического сопротивления. Для алюминиевой пленки очень низкое сопротивление нежелательно и ограничено 0,21 Ом/см<sup>2</sup>. Эта величина достигается за 20 минут.

Аналогичные измерения были проведены по исследованию влияния вышеприведенных параметров на адгезию и толщину пленки Al и V.

## ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**С.С. Стенин, В.М. Елинсон**

«МАТИ» - Российский государственный технологический университет  
 им. К.Э. Циолковского, Москва, ул. Оршанская, 3  
 E-mail: [vm\\_e@mail.ru](mailto:vm_e@mail.ru), [zdobi@rambler.ru](mailto:zdobi@rambler.ru)

В последнее время наблюдается растущий интерес к антимикробным полимерным материалам, особенно в медицинской, пищевой и парфюмерной промышленности. Использованию этих продуктов способствуют многочисленные исследования, подтверждающие, что предметы, которые ежедневно находятся в пользовании, могут являться источником инфицирования.

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

В этой связи чрезвычайно важным является эффект приобретения анти-микробных свойств полимерами с наноструктурированной поверхностью (НСП). Новым подходом к созданию НСП является использование методов ионно-плазменной технологии. Указанный подход включает ионно-плазменную обработку поверхности ионами химически-инертных и активных газов и последующее ионно-плазменное формирование покрытий на основе углеродсодержащих пленок. Такой подход к созданию антимикробных нанобиоматериалов может быть использован в технологии изготовления полимерных контейнеров для хранения контактных линз, катетеров, зондов для искусственного питания, упаковочных материалов для пищевой и парфюмерной промышленности и др. [1]

В настоящей работе представлены результаты исследования процессов ионно-плазменного формирования НСП на синтетических полимерных материалах, в частности полиэтилентерефталате (ПЭТФ), и хитозане, природном биodeградируемом полимере с молекулярной массой 500 кДа, имеющем степень деацетилирования (78%), их поверхностных характеристик и возможности управления ими. НСП формировались обработкой исходной поверхности потоками ионов химически активных и инертных газов (воздушная смесь) и модифицированием сформированного рельефа путем нанесения пленок углерода толщиной 5-120 нм из направленных ионно-плазменных потоков паров углеводородов.

Исследование биосовместимости полимеров со сформированными на них НСП поверхностями показали, что после ионно-плазменных методов обработки значения для биосовместимости материалов удовлетворяют критическим значениям. Это дает основания сказать о том, что на их поверхности не происходит такого явления как дисперсия пленки и отсутствует слишком большая разница межфазных напряжений. В таблице 1 приведены критические значения поверхностного натяжения и его полярного и дисперсионного компонентов для образцов хитозана:

**Таблица 1.** Поверхностное натяжение и значения его полярного и дисперсионного компонентов для хитозана до и после плазменной обработки.

№ образца	Условия обработки	$\sigma^p$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\sigma^d$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\sigma_s$ , мДж/м <sup>2</sup>
1	обработка ВЧ (13,56 МГц), t=5 мин	44,2±2	18,4±3	62,6±3
2	обработка ПЛАЗМА 600Т, t=7 мин	33,1±2	15,8±3	48,9±3
3	обработка ВЧ (13,56 МГц), t=7 мин	38,0±2	23±3	61,0±3
4	контроль	29,5±3	27,5±5	56,6±5

Апликационным методом исследована антимикробная активность наноструктурированных полимерных материалов и пищевого хитозана в отношении



грамположительного (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213) и грамотрицательных (*Escherichia coli* ATCC 54383 и *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) микроорганизмов, а также грибов вида *Candida albicans* (клинический идентифицированный штамм).

Ионно-плазменная обработка поверхности хитозана привела к увеличению антимикробной активности в отношении *Staphylococcus aureus* в 3 раза.

Наименование исследуемого субстрата	Использованные тест-штаммы			
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Candida albicans</i>
ПЭТФ контроль	Снижение титра в 2 раза	Нет снижения титра	Нет снижения титра	Нет снижения титра
ПЭТФ Возд. 5'	Снижение титра в 4 раза	Снижение титра в 3 раза	Снижение титра в 4 раза	Снижение титра в 5 раза
ПЭТФ Возд. 5' $\alpha$ -С:Н 5'	Снижение титра в 4 раза	Снижение титра в 4 раза	Снижение титра в 3 раза	Снижение титра в 6 раза

**Таблица 2.** Исследование антимикробной активности аппликационный метод)

Таким образом, исследования синтетических и природных полимерных материалов до и после обработки, показали существенное влияние ионно-плазменной обработки на эффективность формирования микрорельефа поверхности. Полученные результаты демонстрируют существенное влияние НСП на их биологическую активность, в частности на антимикробные свойства.

### **Литература**

1. В.М. Елинсон, В.В. Слепцов, А.Н. Лямин, В.В. Потрясай. Ионно-плазменные методы формирования наноструктурированных поверхностей для целей медицины и биотехнологии. // Вакуумная наука и техника: Материалы XI научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Судак, 2004.

### **РЕГИСТРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ**

*А.Р. Галяутдинов, А.Г. Лучкин, Г.С. Лучкин*

*ГОУ ВПО КГТУ, Казань, ул. К. Маркса, 68. E-mail: toureech@mail.ru*

Современная вакуумная техника и технология позволяет создавать покрытия с заданными характеристиками. В магнетронных распылительных системах, изменяя параметры технологического процесса, такие как: напряжение на катоде, давление и состав рабочего газа, индукцию магнитного поля, можно наносить покрытия с различной плотностью, адгезией, микроструктурой [1]. Регистрация технологических параметров в процессе нанесения функциональных покрытий позволяет улучшить технологию и повысить качество наносимых покрытий.

**Секция 3. Вакуумные установки и технологии**

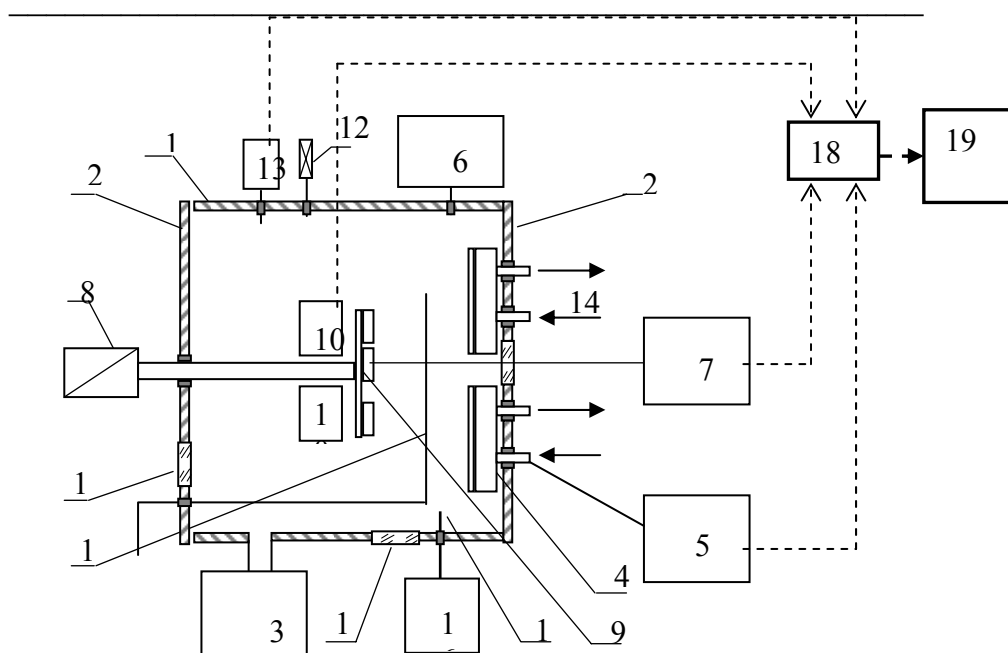
Целью работы является автоматизация процесса регистрации параметров контрольно-измерительного оборудования вакуумной установки в процессе нанесения покрытий.

Нанесение функциональных покрытий осуществляется методом магнетронного распыления на вакуумной установке УВН-70А-2. Схема установки приведена на рисунке. Камера имеет две боковые дверцы, на внутренней поверхности одной из которых закреплены два магнетрона. Для получения покрытий с требуемыми характеристиками разработаны и установлены: система нагрева подложек и поддержания заданной температуры; устройство подачи и регулировки расхода рабочего газа; система фотометрического контроля толщины напыляемых покрытий. Основными рабочими параметрами при нанесении покрытий являются: напряжение на электродах, величина разрядного тока, температура подложки, толщина покрытий и величина давления плазмообразующего газа.

Для контроля технологических параметров напыления функциональных покрытий в вакууме нами был использован модуль ввода аналоговый измерительный МВА 8, который предназначен для построения автоматических систем контроля и регулирования производственных технологических процессов в различных областях промышленности. Данный модуль ввода был подключен к измерительному оборудованию вакуумной установки УВН-70А-2.

Сигналы с датчиков, измеряющих физические параметры объектов, поступают в прибор в результате последовательного опроса датчиков. Полученные сигналы преобразуются в цифровые значения. В процессе обработки сигналов осуществляется их фильтрация от помех и коррекция показаний в соответствии с заданными параметрами. Опрос датчиков и обработка их сигналов осуществляется последовательно по замкнутому циклу. Для каждого входа задается период опроса в интервале от 0,3 до 30 с. Для корректного вычисления параметров, контролируемых термоэлектрическими преобразователями, предусмотрена автоматическая коррекция показаний прибора на основе показаний датчика контроля, расположенного внутри прибора. При работе с активными преобразователями выходным сигналом, которых является напряжение или ток, в приборе предусмотрена возможность масштабирования шкалы измерения. Использование масштабирующих значений позволяет отображать контролируемые физические параметры непосредственно в единицах их измерения. Полученные в результате измерений и отфильтрованные значения физических величин корректируются прибором в соответствии с предварительно заданными параметрами. Полученные результаты записываются на компьютер и затем осуществляется их обработка.

Таким образом, осуществлена автоматизация процесса регистрации параметров контрольно-измерительного оборудования вакуумной установки. Многоканальная регистрация сигналов оборудования, контролирующего процесс нанесения функциональных покрытий, позволяет улучшить технологию нанесения и повысить качество получаемых покрытий.



**Рисунок.** Функциональная схема экспериментальной установки. 1 - вакуумная камера; 2 - боковые крышки; 3 - система вакуумной откачки; 4 - магнетроны; 5 - источник питания; 6 - система газоснабжения; 7 - система фотометрического контроля толщины; 8 - система вращения подложек; 9 - обрабатываемые детали; 10 - нагреватели; 11 - смотровые окна; 12 - клапан напуска воздуха; 13 - манометрический датчик; 14 - штуцера подачи охлаждающей воды; 15 - заслонка; 16 - высоковольтный блок ионной очистки; 17 - высоковольтный электрод ионной очистки; 18 – модуль ввода МВА 8; 19 – персональный компьютер.

### Литература

1. Галяутдинов А.Р., Кашапов Н.Ф. Вторая российская студенческая научно-техническая конференция «Вакуумная техника и технология» Казань, апрель 12-14, 2005г., с. 108.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИОННО-ВАКУУМНОГО КОМПЛЕКСА

**Д. И. Ибрафиллов, Р.С. Файрузов, С.М. Портнов, Р.К. Фардиев,  
В. В. Звездин, \*Р.Р. Зиганишин**

*КГИЭА (ИНЭКА), Набережные Челны, пр. Мира, 68/19. \*ООО НПЦ «АЛВАК»,  
Казань, пр. Ямашева, 36. E-mail: kampi@kampi.ru*

Поверхностное обогащение стальных деталей и инструментов с помощью азота - эффективный метод увеличения их твердости, износостойкости и способности нести циклические нагрузки. Кроме того, азотированные машинные части приобретают повышенную коррозионную устойчивость во влажной атмосфере и других средах слабой агрессивностью. Не на последнем месте - их способность сохранять высокую твердость и износостойкость при высоких рабочих температурах. Основное технологическое преимущество азотирования – низкая температура процесса (450-600°С), что является причиной незначительных объемных изменений и деформаций обрабатываемых деталей и инструментов.

Ионное азотирование проводится в условиях аномального сильноточного тлеющего разряда. Разряд нагревает обрабатываемые детали, включенные в электрическую сеть чаще всего в качестве катода, до температуры азотирования и активизирует в термохимическом отношении газообразную азотосодержащую насыщающую среду.

Высокоэнергетические процессы позволяют решать многие технологические задачи, однако эффективность использования в машиностроении концентрированных потоков энергии (КПЭ) сдерживается отсутствием баз данных взаимосвязи оптимальных значений параметров технологического комплекса (ТК) с требуемым качеством технологического процесса (ТП). Все это требует проведения множества экспериментальных исследований и повышение потребления энергоресурсов и времени. Поэтому моделирование процессов взаимодействия КПЭ с различными материалами по ограниченному числу экспериментальных данных является актуальной задачей с точки зрения энергосберегающей политики.

В данной работе решается задача поиска требуемых параметров ТК на основе моделирования известных экспериментальных зависимостей от заданных показателей качества ТП с минимизацией затрат при выполнении энергоемких научно-исследовательских работ методом параметрической оптимизации.

Метод решения заключается в математической обработке ограниченного числа полученных экспериментальных зависимостей показателей качества ТП от параметров ТК и создании модели. Данная модель определяет требуемые значения параметров ТК для достижения заданных значений показателей качества ТП.

При получении требуемой микротвердости ( $H_m$ ) на фиксированной глубине с заданными параметрами были экспериментально получены различные ее значения. Эти параметры изменяются при повторных экспериментах заранее непредсказуемым образом. То есть, невозможно определить какое конкретное значение будет иметь микротвердость при определенных параметрах ТК. Однако можно определить вероятность попадания измеренного значения микротвердости в заданную область допустимых значений. Предполагая, что закон распределения исследуемой совокупности данных является нормальным, можно с заданной погрешностью рассчитать параметры ТП. В работе показано, что при фиксированной доверительной вероятности  $p = 0,95$  с точностью  $\epsilon_{\text{доп}} = 0,5$ , предполагается проведение не менее 20 измерений, что требует затрат электрической энергии более 50 кВт/час.

### **Заключение**

Основным достоинством реализованного подхода к проведению научных исследований с применением методов моделирования процессов КПЭ ведет к снижению электропотребления на примере ионно-плазменного ТК до 40%.

### **Литература**

1. "Азотирование и карбонитрирование" М.: Металлургия, 1990/ под ред. Шухардина С.В.